



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**

**ПРАКТИКУМ**  
**по одноименному курсу**  
**для студентов всех специальностей**  
**дневной формы обучения**

Гомель 2006

УДК 614.876(075.8)  
ББК 68.9+68.518я73  
3-40

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 17 от 20.06.2005 г.)*

Автор-составитель: *Н. С. Крючек, Л. А. Чунихин*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Физика»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *И. И. Злотников*

**Защита** населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : практикум по одноим. курсу для студентов всех специальностей днев. формы обучения / авт.-сост.: Н. С. Крючек, Л. А. Чунихин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 49 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 985-420-460-X.

В практикуме предлагаются комплексные задачи по оценке обстановки при различных видах чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.  
Для студентов всех специальностей дневной формы обучения.

**УДК 614.876(075.8)  
ББК 68.9+68.518я73**

ISBN 985-420-460-X

© Крючек Н. С., Чунихин Л. А.,  
составление, 2006  
© Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2006

## ВВЕДЕНИЕ

*Защита населения в чрезвычайных ситуациях* (ЧС) – это система общегосударственных мероприятий, проводимых в мирное и военное время в целях защиты населения и территорий в ЧС, в случаях военных действий и обеспечения устойчивой работы экономики и систем жизнеобеспечения.

Впервые проблема гражданской защиты (обороны) возникла во время первой мировой войны 1914–1918 гг., когда в военных целях стали использовать авиацию, способную наносить удары в тылу противника и поражать мирное население. В этой же войне было впервые применено химическое оружие, ставшее впоследствии оружием массового уничтожения. В период между первой и второй мировыми войнами система гражданской обороны (ГО) базировалась, в основном, на защите населения от воздушных налетов и обстрелов артиллерией дальнего действия. После военного применения ядерного оружия против японских городов, а также накопление и возможность использования химического и бактериологического оружия массового уничтожения система ГО превратилась в общегосударственную важнейшую систему защиты населения с использованием:

а) дорогостоящих капитальных сооружений – убежищ, противорадиационных укрытий;

б) большого количества средств индивидуальной защиты – противогазов, респираторов, защитных костюмов, приборов химической и дозиметрической разведки, медицинских средств;

в) специальных формирований – военизированных и невоенизированных, которые должны проводить спасательные работы.

В СССР система гражданской обороны менялась вследствие возникновения новых угроз и опасностей для гражданского населения, разработки, производства и накопления оружия массового уничтожения, совершенствования сил и средств для обеспечения защиты населения.

Этапы развития системы ГО в нашей стране:

1928 г. – образование государственной системы противовоздушной обороны (ПВО СССР);

1932 г. – образование системы местной противовоздушной обороны (МПВО) для защиты гражданского населения, которая была основана на деятельности обученных добровольцев из гражданского населения;

1961 г. – образование системы ГО СССР, базирующейся на воинских формированиях.

Ликвидация последствий аварии на ЧАЭС указала на недостаточную эффективность существующей системы ГО, поэтому и в советских республиках, сначала в России, затем в Республике Беларусь и в Украине, были разделены функции защиты населения в ЧС мирного и военного времени.

1993 г. – образование в РБ Государственной системы по ЧС (ГСЧС), организованной из органов власти, Министерства по чрезвычайным ситуациям и системы ГО.

С середины XX века в мире появились новые вызовы и угрозы, требующие пересмотра концепции гражданской защиты – это региональные межэтнические, межрелигиозные конфликты, протекающие длительное время и затрагивающие интересы народов, масштабные техногенные катастрофы и стихийные бедствия, и, наконец, глобальный терроризм. Терроризм стал главным вызовом XXI века, причем он является межнациональным, самодостаточным, коварным в своей неуязвимости. Террористы могут безответственно использовать оружие массового уничтожения: химическое, бактериологическое и даже ядерное.

Республика Беларусь является мирной страной. Ее географическое положение в центре Европы – основная роль как транспортного узла между Востоком и Западом, в том числе и для миграционных потоков – вызывает возможность возникновения ЧС, связанных с транспортом, в том числе и нелегальным, требует бдительности и дисциплины от населения и высокого профессионализма и готовности персонала гражданской защиты.

Основные способы защиты населения РБ в ЧС: эвакуация (отселение), использование защитных сооружений и средств индивидуальной защиты, медицинская и социальная помощь.

Для предупреждения и ликвидации последствий ЧС природного, техногенного, социального и экономического характера проводится оценка обстановки методом прогнозирования и разведки, основанная на данных мониторинга. *Прогнозирование* – это система предупредительных мероприятий, проводимых специальными службами на потенциально опасных объектах и на территориях с повышенной опасностью стихийных бедствий.

Химическая, радиационная, биологическая, экологическая и другие виды разведки проводятся после возникновения ЧС с целью наибо-

лее полной и точной оценки обстановки и последующих уточнений оценки.

Особое внимание уделяется развитию системы прогнозирования, которая в настоящее время использует новейшие средства получения и обработки информации. Прогнозирование сводится к принятию задач по оценке обстановки и ее развитию в динамике. В данном практическом пособии приводятся примеры решения задач и оценки обстановки в наиболее распространенных ЧС природного и техногенного характера: при наводнениях, при авариях на пожаро- и взрывоопасных объектах и при радиационных авариях. Рассматриваются вопросы оценки инженерной защиты рабочих и служащих объектов, членов их семей в месте постоянной дислокации и в загородной зоне.

В комплексной задаче 4.1 приводится пример оценки радиационной обстановки, сопоставление значений ее параметров с нормативными величинами и перечень мероприятий по обеспечению радиационной безопасности для конкретного варианта.

## **1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ АВАРИЯХ НА ОБЪЕКТАХ СО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ**

Очаги поражения на предприятиях со взрыво- и пожароопасной технологией образуются вследствие истечения газообразных или сжиженных углеводородных продуктов, при перемешивании которых с воздухом образуются взрыво- и пожароопасные смеси. Наиболее опасны смеси с воздухом таких углеводородных газов, как метан, пропан, бутан, этилен, пропилен, бутилен. Взрыв и возгорание этих газов наступает при определенном содержании газа в воздухе. Например, взрыв пропана возможен при содержании в 1 м<sup>3</sup> воздуха 21 л газа, а возгорание – при 95 л.

При взрыве газозвушной смеси (ГВС) образуется очаг взрыва с ударной волной, вызывающей разрушение зданий, сооружений и оборудования.

В очаге взрыва ГВС выделяют три круговые зоны:

I – зона детонационной волны (бризантного действия);

II – зона действия продуктов взрыва;

III – зона действия воздушной ударной волны.

Зоны очага взрыва ГВС показаны на рис. 1.1.

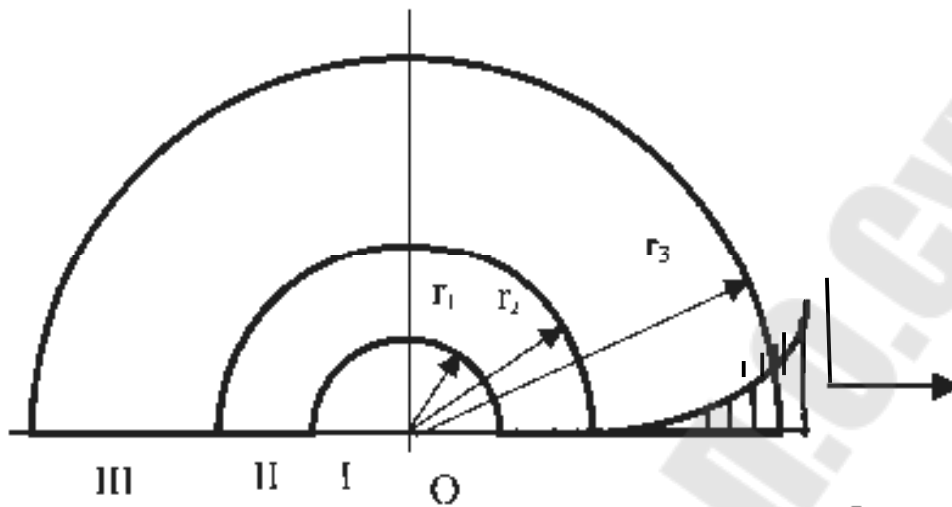


Рис. 1.1. Зоны очага взрыва

В зоне действия воздушной ударной волны (зона III) формируется фронт ударной волны, распространяющийся на поверхности земли.

Прогнозирование и оценка обстановки при авариях на объектах со взрывом ГВС сводится к определению возможных избыточных давлений ( $\Delta P_i$ ) на границах зоны очага, характера воздействия их на элементы объекта, возможной пожарной обстановки и потерь среди населения. По результатам оценки определяются мероприятия, обеспечивающие безопасность персонала объекта и населения от воздействия случайного взрыва ГВС.

### 1.1. Комплексная задача № 1

На складе объекта в полузаглубленных емкостях хранится взрывоопасная газовоздушная смесь «пропан» в количестве  $Q = \dots$  тонн. Емкости расположены от здания цехов на расстоянии  $D = \dots$  м. Плотность застройки объекта 20 %, расстояния между цехами 20–30 м. На удалении  $V = \dots$  метров находится жилой массив. Плотность населения жилого массива и работающих на объекте  $P = \dots$  тыс. чел/км<sup>2</sup>. Используя таблицу 1.1, оценить возможную обстановку на объекте, которая может сложиться в результате случайного взрыва пропана, для чего определить:

- 1) радиусы зон поражения при взрыве ГВС, м;
- 2) площади зон поражения, м<sup>2</sup>;
- 3) величины избыточных давлений на границах каждой зоны, кПа;

4) степени разрушений зданий и сооружений объекта и жилого массива (табл. 1.2);

5) возможную пожарную обстановку (табл. 1.4);

6) возможные потери производственного персонала и населения жилого массива (табл. 1.3);

7) мероприятия, обеспечивающие безопасность персонала и населения от воздействия взрыва ГВС.

Примечание. Расчеты провести в соответствии с методическими указаниями к решению задания.

Таблица 1.1

Таблица вариантов

№ варианта	Количество ГВС (Q), т	Расстояние (Д) до цехов, м	Расстояние (У) до жилого массива, м	Плотность населения, тыс. чел/км <sup>2</sup>
1	10	100	1000	4,0
2	20	110	1100	3,5
3	30	120	1200	3,0
4	40	130	1300	2,5
5	50	140	1400	2,0
6	60	150	1500	1,5
7	70	160	1600	1,0
8	80	170	1700	0,8
9	90	180	1800	0,6
10	100	190	1900	0,4
11	10	200	2000	0,6
12	20	100	1000	0,8
13	30	120	1100	1,0
14	40	140	1200	1,5
15	50	150	1300	2,0
16	60	160	1400	2,5
17	70	170	1500	3,0
18	80	180	1700	3,5
19	90	190	1800	4,0
20	100	200	1900	2,0
21	10	80	800	2,0
22	20	90	900	2,5
23	30	100	1000	3,0
24	40	110	1100	3,5
25	50	120	1120	4,0

## 1.2. Методические указания к решению задания

1. Радиус зоны I ( $r_1$ ) определяем по формуле:

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{Q}, \text{ м}, \quad (1.1)$$

где  $Q$  – количество сжиженного углеводородного газа, т.

Радиус зоны II ( $r_2$ ) определяем по формуле:

$$r_2 = 1,7 \cdot r_1, \text{ м}. \quad (1.2)$$

Радиус зоны III ( $r_3$ ) определяется из таблицы 1.5 или по графику в зависимости от значения  $Q$ .

2. Площади зон поражения определяются по формулам:

$$S_1 = \pi r_1^2, \text{ м}^2; \quad S_2 = \pi(r_2^2 - r_1^2), \text{ м}^2; \quad S_3 = \pi(r_3^2 - r_2^2), \text{ м}^2, \quad (1.3)$$

3. Величины избыточных давлений ( $\Delta P_{\phi}$ ) в каждой зоне:

а) в зоне I –  $\Delta P_1 = 1700$  кПа принимается постоянной;

$$\text{б) в зоне II – } \Delta P_2 = 1300 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^3 + 50, \text{ кПа}, \quad (1.4)$$

где  $r_2$  – радиус зоны II или расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки в зоне II, м;

в) избыточное давление в зоне III ( $\Delta P_3$ , кПа) рассчитывается по формулам, для чего предварительно определяется относительная величина

$$\psi = 0,24 \cdot \frac{r_3}{r_1}, \quad (1.5)$$

где  $r_3$  – радиус зоны III или расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки.

$$\text{При } \psi \leq 2 \quad \Delta P_3 = \frac{700}{3(\sqrt{1 + 29,8\psi^3} - 1)}, \text{ кПа}. \quad (1.6)$$

$$\text{При } \psi > 2 \quad \Delta P_3 = \frac{22}{\psi \sqrt{\lg \psi + 0,158}}, \text{ кПа}.$$

4. Степени разрушения зданий и сооружений объекта и жилого массива определяются по таблице 1.2, предварительно определив величины избыточных давлений в районе цеха и жилого массива по формулам интерполяции:



$$\Delta P_{\text{ж.м}} = \Delta P_3 + \frac{\Delta P_2 - \Delta P_3}{r_3 - r_2} (R_{\text{ж.м}} - r_2), \quad (1.7)$$

$$\Delta P_{\text{ц}} = \Delta P_3 + \frac{\Delta P_2 - \Delta P_3}{r_3 - r_2} (R_{\text{ц}} - r_2).$$

5. Возможная пожарная обстановка оценивается по таблице 1.4.
6. Возможные потери населения определяются по таблице 1.3.
7. Возможные потери персонала объекта определяются по данным таблицы 1.5.
8. Мероприятия по обеспечению безопасности персонала и населения определить, изучив раздел 1.4.

### 1.3. Справочные материалы

Таблица 1.2

**Величины избыточных давлений  $\Delta P_{\text{ф}}$  кПа, вызывающие различные степени разрушения зданий и оборудования**

Наименование элементов объекта	Степень разрушения		
	слабое	среднее	сильное
Здание с металлическими или железобетонным каркасом	20–30	30–40	40–60
Многоэтажные ж/б здания с большой площадью остекления	8–20	20–40	40–90
Тепловые электростанции	15–25	25–35	35–45
Многоэтажные кирпичные жилые дома	8–15	15–25	25–35
Остекление зданий	1–1,5	1,5–2	2,0–3,0
Крановое оборудование	20–30	30–40	40–60
Станочное оборудование	10–20	20–60	60–70
Контрольно-измерительная аппаратура	5–10	10–20	20–30

Таблица 1.3

**Среднее число пораженных при взрыве ГВС**

Плотность населения тыс. чел/км <sup>2</sup>	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Масса ГВС, т									
10	6	8	11	14	21	28	35	42	56
25	10	15	20	25	38	51	64	72	102
50	16	25	32	41	61	81	102	122	162
100	26	33	52	64	97	129	161	193	258

Таблица 1.4

**Ориентировочные значения вероятности  
распространения пожара от здания к зданию**

Расстояние между зданиями, м	0	5	10	15	20	30	40	50	70	90
Вероятность распространения пожара	100	87	55	47	27	23	9	3	2	0

### 1.4. Мероприятия по предупреждению техногенных чрезвычайных ситуаций

Для предупреждения ЧС техногенного характера проводится комплекс мероприятий организационного, технического, правового характера, направленных на недопущение аварий и катастроф, прежде всего, на потенциально опасных объектах. К потенциально опасным объектам относятся химически опасные, пожаро- и взрывоопасные, радиационно опасные, гидродинамически опасные объекты.

Таблица 1.5

**Значения радиуса  $r_3$  зоны III при взрыве ГВС в зависимости  
от количества ГВС ( $Q$ ), т**

$Q$ , т	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$r_3$ , м	430	570	650	700	750	800	840	870	910	950

Основными мероприятиями по предупреждению аварий и катастроф на потенциально опасных объектах являются:

- разработка необходимой документации по действиям диспетчера (дежурного по объекту) в аварийных ситуациях;
- создание и поддержание в готовности надежной системы локального оповещения персонала и населения об угрозе или возникновении техногенной ЧС;
- размещение потенциально опасных объектов на безопасном удалении от жилой застройки и других объектов;
- разработка, производство и применение надежных потенциально опасных промышленных установок;
- внедрение автоматических и автоматизированных систем контроля безопасности производства;
- повышение надежности систем контроля;
- своевременная замена устаревшего оборудования;
- своевременная профилактика и техническое обслуживание техники и оборудования;

- соблюдение обслуживающим персоналом правил эксплуатации оборудования;
  - снижение опасных веществ на объектах до необходимого количества, определенного технологическим процессом;
  - совершенствование противопожарной защиты и контроль системы пожарной безопасности;
  - хранение взрывоопасных веществ в заглубленных хранилищах на безопасных удалениях от основных зданий и сооружений объекта и жилых массивов;
  - обеспечение персонала объекта на 100 % средствами индивидуальной и медицинской защиты в соответствии с предназначением объекта;
  - соблюдение правил безопасности при транспортировке опасных веществ;
  - проведение подготовки персонала и населения вблизи расположенных жилых массивов к действиям в аварийных ситуациях;
  - заблаговременное строительство на объекте коллективных средств защиты (убежищ) с тремя режимами работы вентиляции, обеспечивающих укрытие наибольшей работающей смены;
  - использование результатов прогнозирования чрезвычайных ситуаций для совершенствования систем безопасности;
  - создание на объекте и проведение подготовки формирований повышенной готовности для ликвидации последствий чрезвычайной ситуации;
  - подготовка руководящего состава объекта умению организовать и проводить работы по ликвидации последствий аварий и катастроф;
  - создание на объекте запасов материальных средств для ликвидации последствий ЧС;
- Основными мероприятиями для предупреждения аварий и катастроф на транспорте являются:
- контроль технического состояния транспортных средств, своевременный технический осмотр и обслуживание;
  - выбор времени наиболее безопасного использования транспорта;
  - выбор наиболее безопасных маршрутов движения;
  - соблюдение правил дорожного движения;
  - соблюдение правил перевозки опасных грузов;

- выбор транспортных средств для их перевозки;
- поддержание удовлетворительного состояния автомобильных и железных дорог;
- контроль состояния здоровья водителей и лиц, ответственных за безопасность дорожного движения;
- учет водителями состояния дорог в зависимости от времени года и состояния погоды;
- соблюдение правил безопасности пассажирами различных видов транспорта.

### **1.5. Порядок и последовательность работы руководящего состава хозяйственных объектов при возникновении и ликвидации последствий аварий и катастроф**

При возникновении производственных аварий и катастроф характер аварийно-спасательных работ, их организация и проведение во многом зависят от особенностей производства, однако, во всех случаях защита населения и аварийно-спасательные работы должны начинаться немедленно, чтобы не допустить дальнейшего развития аварий и катастроф, поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений.

Действия руководителя при возникновении и ликвидации последствий аварий и катастроф могут быть условно разделены на два этапа:

- 1) с получением сигнала (информации) о возникновении аварий;
- 2) по ликвидации последствий аварии, катастрофы.

#### *1. С получением сигнала (информации) о возникновении аварии:*

- уточнить задачи дежурным силам и средствам на локализацию аварии (катастрофы);
- оповестить главных специалистов, рабочих и служащих объекта об аварии (катастрофе);
- уточнить масштабы и характер аварии (катастрофы) и при необходимости, оповестить население, проживающее вблизи объекта;
- организовать спасение людей, оказание первой медицинской и врачебной помощи и эвакуацию в лечебные учреждения;
- укрыть рабочих и служащих в защитных сооружениях (убежищах), имеющих три режима защиты или вывести за границы зоны заражения;

- выдать средства индивидуальной и медицинской защиты;
- информировать об аварии вышестоящие органы;
- привести в готовность объектовые формирования повышенной готовности;
- организовать комплексную разведку очага поражения, определить границы опасной зоны, принять меры к ее ограждению и оцеплению;
- организовать материально-техническое обеспечение работ по ликвидации последствий аварии (катастрофы);
- организовать непрерывное метеорологическое наблюдение и информацию о направлении распространения облака СДЯВ всем участникам ликвидации очага поражения и населению;
- организовать взаимодействие с дежурными силами и средствами формирования ГО других объектов хозяйствования.

## *2. Для ликвидации последствий аварий и катастроф:*

- ввести в действие «План ликвидации аварийных ситуаций на объекте» в полном объеме и организовать ведение аварийно-спасательных и других неотложных работ (АС и ДНР) в соответствии с планом;
  - работы проводить непрерывно, посменно до их полного завершения.
- Кроме того:
- организовать непрерывное ведение общей и специальной разведки;
  - провести изучение участков работ командирами формирований;
  - создать группировку сил и средств для ведения АС и ДНР и быстро ввести ее в очаг поражения;
  - обеспечить активное участие населения в проведении спасательных работ;
  - обеспечить непрерывное взаимодействие сил АС и ДНР и управление ими;
  - обеспечить восстановление технологического процесса производства в соответствии с планами работы объекта;
  - доложить в вышестоящие органы о восстановлении нарушенного аварией (катастрофой) производства.

## 2. ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ НА ХОЗЯЙСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

### 2.1. Понятие инженерной защиты на хозяйственном объекте

*Система инженерной защиты* – это комплекс мероприятий, направленных на создание фонда сооружений, обеспечивающих защиту персонала от современных средств нападения. Она достигается заблаговременным проведением инженерных мероприятий по строительству и оборудованию защитных сооружений с учетом условий расположения объекта и требований строительных норм и правил. Решая вопросы надежной защиты персонала, необходимо учитывать, что практически все современные средства нападения способны нанести поражение людям и стать причиной их смерти или вызвать потери работоспособности на длительное время. Наиболее эффективным способом защиты рабочих, служащих и членов их семей является их укрытие в защитных сооружениях при соблюдении следующих условий: общая вместимость защитных сооружений позволяет укрыть весь производственный персонал; защитные сооружения удовлетворяют требованиям защиты от современных средств поражения; защитные сооружения оборудованы системами жизнеобеспечения на необходимую продолжительность пребывания в них укрываемых; размещение защитных сооружений относительно рабочих мест позволяет своевременно укрываться по сигналам оповещения гражданской обороны; персонал своевременно обучен способам защиты и правилам действий по сигналам оповещения ГО.

В качестве показателя надежности защиты рабочих и служащих с использованием инженерных сооружений можно принять коэффициент надежности защиты (к. н. з.), показывающий, какая часть рабочих, служащих и членов их семей обеспечивается надежной защитой при ожидаемых максимальных параметрах поражающих факторов современных средств нападения.

*Коэффициент надежности защиты* определяется на основе частных (отдельных) показателей, характеризующих подготовленность объекта к решению задачи защиты рабочих, служащих и членов их семей по основным составляющим задачи, а именно: оценка инженерной защиты рабочих и служащих объекта, оценка системы оповещения гражданской обороны; оценка обученности людей способом защиты и правилам действий по сигналам оповещения ГО, оценка го-

товности защитных сооружений к приему укрываемых. За коэффициент надежности защиты принимается наименьшее значение из показателей.

Показателем инженерной защиты является коэффициент ( $K_{\text{инж.з}}$ ), показывающий, какая часть производственного персонала работающей смены может укрыться своевременно в защитных сооружениях объекта с требуемыми защитными свойствами и системами жизнеобеспечения:

$$K_{\text{инж.з}} = N_{\text{инж.з}}/N, \quad (2.1)$$

где  $N_{\text{инж.з}}$  – суммарное количество укрываемых в установленные сроки в защитных сооружениях с требуемыми защитными свойствами и системами жизнеобеспечения;

$N$  – общая численность рабочих и служащих, подлежащих укрытию.

Методика оценки инженерной защиты рабочих и служащих объекта рассмотрена в разделе 2.2.

Показателем надежности защиты производственного персонала с учетом оповещения является коэффициент ( $K_{\text{оп}}$ ):

$$K_{\text{оп}} = N_{\text{оп}}/N, \quad (2.2)$$

где  $N_{\text{оп}}$  – количество рабочих и служащих, своевременно оповещаемых по сигналам ГО.

В качестве показателя, характеризующего подготовленность объекта к защите производственного персонала в зависимости от обученности людей, можно принять коэффициент ( $K_{\text{обуч}}$ ):

$$K_{\text{обуч}} = N_{\text{обуч}}/N, \quad (2.3)$$

где  $N_{\text{обуч}}$  – количество рабочих и служащих, обученных правилам действий по сигналам ГО и способам защиты от современных средств поражения.

Показателем, характеризующим надежность защиты персонала в зависимости от готовности убежищ и укрытий, является коэффициент ( $K_{\text{гот}}$ ):

$$K_{\text{гот}} = M_{\text{гот}}/N, \quad (2.4)$$

где  $M_{\text{гот}}$  – количество мест в убежищах с требуемыми защитными свойствами, время готовности которых не превышает установленного.

## 2.2. Методика оценки инженерной защиты рабочих и служащих объекта

При оценке защиты рабочих и служащих объекта необходимо определить возможность укрытия наибольшей работающей смены военного времени в имеющихся на объекте защитных сооружениях. При оценке инженерной защиты в загородной зоне необходимо определить сначала возможности имеющегося фонда на подселение, а затем – возможность укрытия рабочих, служащих, членов их семей и местного населения в существующих заглубленных сооружениях, которые в последующем можно оборудовать под ПРУ.

### 2.2.1. Оценка возможности укрытия наибольшей работающей смены

Оцениваются возможности укрытия в каждом защитном сооружении отдельно по площади и объему:

$$N_{si} = \frac{S_i}{S_n}; \quad N_{vi} = \frac{V_i}{V_n}, \quad (2.5)$$

где  $S_i(V_i)$  – площадь (объем)  $i$ -го защитного сооружения;

$S_n(V_n)$  – норма по площади (объему) на одного человека;

$N_{si}(N_{vi})$  – количество людей, которых можно укрыть в  $i$ -м защитном сооружении.

Определяется вместимость одного защитного сооружения как наименьшее значение из  $N_{si}$  и  $N_{vi}$  и общая.

Обозначим  $N_i = N_{si}(N_{vi}) \min$ , тогда общее количество укрываемых людей на объекте определим как сумму

$$N_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n N_i, \quad (2.6)$$

где  $n$  – количество защитных сооружений на объекте.

Условием, обеспечивающим укрытие наибольшей работающей смены, является:

$$N_{\text{см}} \leq N_{\text{общ}}, \quad (2.7)$$

где  $N_{\text{см}}$  – количество людей в наибольшей работающей смене.



Производится проверка выполнения условия (2.7). Если неравенство выполняется, то дополнительные защитные сооружения не строятся. При невыполнении неравенства производится расчет потребности количества дополнительных защитных сооружений ( $n_{\text{тр}}$ ) по формуле:

$$n_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{тр}} \cdot S_n}{S_{qi}}, \quad (2.8)$$

где  $N_{\text{тр}} = N_{\text{см}} - N_{\text{общ}}$  – количество людей, для которых требуется построить дополнительные защитные сооружения;

$S_{qi}$  – площадь одного дополнительного защитного сооружения.

$$S_{qi} = N_i \cdot S_n, \quad (2.9)$$

где  $N_i$  – количество укрываемых в одном защитном сооружении.

Вместимость защитных сооружений определяется потребностью в укрытии нужного количества людей в короткие сроки.

Убежища по вместимости подразделяют на:

- малой вместимости – 150–600 человек;
- средней вместимости – 600–2000 человек;
- большой вместимости – свыше 2000 человек.

Вместимость ПРУ (противорадиационного укрытия) может составлять  $5 \div 2000$  ч.

Для защиты обслуживающего персонала на особо ответственных участках промышленных предприятий с непрерывной технологией, нефтепромыслах, предприятиях городского коммунально-энергетического хозяйства допускается при соответствующем обосновании строительство убежищ вместимостью менее 150 человек.

### **2.2.2. Оценка возможности укрытия рабочих, служащих и членов их семей в загородной зоне**

Количество людей, которых можно подселить в загородной зоне, определяется по формуле:

$$N_{\text{подс}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{подс},i}, \quad (2.10)$$

где  $N_{\text{подс},i} = \frac{S_{\text{нп}} - S_{\text{мн}}}{S_q}$  – количество людей, подселяемых в  $i$ -й населенный пункт;

$S_{\text{нп}}$  – общая площадь жилого фонда в  $i$ -м населенном пункте;  
 $S_{\text{мн}}$  – общая площадь жилого фонда, занятого местным населением;  
 $S_q$  – норма площади на одного человека при проживании в домах ( $S_q = 2 \text{ м}^2$ );  
 $l$  – количество населенных пунктов для размещения рабочих, служащих и членов их семей.

Если обозначить общее количество рабочих, служащих и членов их семей через  $N_{\text{тр}}^*$ , то для выполнения условий расселения необходимо, чтобы выполнялось неравенство

$$N_{\text{подс}} \geq N_{\text{тр}}^* . \quad (2.11)$$

В случае невыполнения этого неравенства требуется изыскать возможность по дополнительной площади.

Оценим возможность укрытия рабочих, служащих и членов их семей в имеющихся заглубленных сооружениях. Для этого сначала определим количество людей по каждому населенному пункту, которых нужно укрыть:

$$N_{\text{укр.}i} = N_{\text{подс.}i} + N_{\text{мн.}i} , \quad (2.12)$$

где  $N_{\text{мн.}i}$  – количество местного населения в  $i$ -м населенном пункте.

Общее количество укрываемых определяется по формуле:

$$N_{\text{укр}} = \sum_{i=1}^l N_{\text{укр.}i} . \quad (2.13)$$

Потребная площадь заглубленных сооружений для укрытия людей будет равна:

$$S_{\text{тр}} = S_y^* \cdot N_{\text{укр}} , \quad (2.14)$$

где  $S_y^*$  – норма площади на одного укрываемого, равна  $0,6 \text{ м}^2$ .

Имеющуюся общую площадь заглубленных сооружений ( $S_{\text{укр}}$ ) в загородной зоне определим как сумму  $S_{\text{укр.}i}$ :

$$S_{\text{укр}} = \sum_{i=1}^l S_{\text{укр.}i} , \quad (2.15)$$

где  $S_{\text{укр.}i}$  – общая площадь заглубленных сооружений в  $i$ -м населенном пункте.

Возможности по укрытию людей в загородной зоне можно оценить следующим неравенством:

$$S_{\text{тр}} \leq S_{\text{укр}}. \quad (2.16)$$

Если неравенство (2.16) не выполняется, то производится расчет потребного количества защитных сооружений в каждом населенном пункте.

### **2.2.3. Произведем расчет недостающего количества защитных сооружений**

Определим численность населения, не укрывающегося в имеющихся заглубленных сооружениях ( $N_{\text{ну.}i}$ ):

$$N_{\text{ну.}i} = N_{\text{укр.}i} - N_{\text{укр.}i}^*, \quad (2.17)$$

где  $N_{\text{укр.}i}^* = \frac{S_{\text{укр.}i}}{S_y^*}$  – число людей, которых можно укрыть в имеющихся заглубленных сооружениях в  $i$ -м населенном пункте.

Количество защитных сооружений, которые нужно построить в  $i$ -м населенном пункте, будет равно

$$n_i = \frac{N_{\text{ну.}i}}{N_{\text{н}}}, \quad (2.18)$$

где  $N_{\text{н}}$  – количество людей, укрывающихся в одном защитном сооружении.

Общее количество защитных сооружений в загородной зоне, которые необходимо построить, равно

$$n_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^l n_i. \quad (2.19)$$

При строительстве защитных сооружений в сельской местности в короткие сроки сначала строят простейшие укрытия (щели) вместимостью 20–40 человек с последующим дооборудованием под ПРУ.

### 2.3. Комплексная задача

Пользуясь исходными данными (табл. 2.1), произвести оценку инженерной защиты рабочих и служащих объекта в месте постоянной дислокации и в загородной зоне. Для оценки использовать методику оценки инженерной защиты (см. формулу (2.2)) и пример расчета (табл. 2.2).

Таблица 2.1

#### Расчет инженерной защиты рабочих и служащих объекта

№ п/п	Общее кол-во рабочих и служащих (чел.)	Наибольшая работающая смена (чел.)	Кол-во членов семей (чел.)	Кол-во ЗС на объекте (шт.)	Площадь одного ЗС (м <sup>2</sup> )	Объем одного ЗС (м <sup>3</sup> )	Кол-во населенных пунктов (шт.)	Жилая площадь одного НП (м <sup>2</sup> )	Кол-во населения в НП (чел.)	Общая площадь укрытий в одном НП (м <sup>2</sup> )
1	1000	600	1800	2	200	350	2	3000	600	700
2	1500	800	2400	2	200	350	2	4000	700	800
3	2000	1200	3600	3	220	370	3	5000	800	900
4	2500	1500	4500	3	220	370	4	6000	900	1000
5	3000	1800	5400	4	250	450	4	7000	1000	1100
6	3500	2000	6000	4	280	650	5	8000	1800	1200
7	4000	2500	7500	5	280	650	6	9000	1200	1300
8	4500	2700	8100	5	280	650	7	10000	1300	1400
9	5000	3000	9000	6	300	700	7	11000	1400	1500
10	6000	3500	10500	7	300	700	8	12000	1500	1600
11	1000	700	2100	2	200	320	2	3000	600	700
12	1500	900	2700	2	200	350	2	4000	700	800
13	2000	1300	3900	3	220	370	3	5000	800	900
14	2500	1600	4800	3	220	370	4	6000	900	1000
15	3000	1900	5700	4	250	540	5	7000	1000	1100
16	3500	2100	6300	4	280	650	5	8000	1100	1200
17	4000	2600	7800	5	280	650	6	9000	1200	1300
18	4500	2800	8400	5	300	700	7	10000	1300	1400
19	5000	3100	9300	6	300	700	7	11000	1400	1500
20	6000	3600	10800	7	300	700	8	12000	1500	1600
21	1000	600	1300	2	300	350	2	3000	500	700
22	1500	900	2000	3	320	350	3	4000	600	800
23	2000	1300	2800	3	320	350	3	5000	700	900
24	2500	1600	2700	3	300	370	4	6000	800	1000
25	3000	1900	3400	4	300	400	4	7000	900	1200

**Пример расчета инженерной защиты рабочих и служащих машиностроительного завода**

*Таблица 2.2*

Общее кол-во рабочих и служащих (чел.)	Наибольшая работающая смена (чел.)	Кол-во членов семей (чел.)	Кол-во ЗС на объекте (шт.)	Площадь одного ЗС (м <sup>2</sup> )	Объем одного ЗС (м <sup>3</sup> )	Кол-во населения пунктов (шт.)	Жилая площадь одного НП (м <sup>2</sup> )	Кол-во населения в НП (чел.)	Общая площадь укрытий в одном НП (м <sup>2</sup> )
3800	2000	6150	6	290	695	6	9000	1950	1870

1. Оценим возможность укрытия каждого защитного сооружения по площади и объему:

$$N_{si} = \frac{290}{0,5} = 580 \text{ чел.}; \quad N_{vi} = \frac{695}{1,5} = 463 \text{ чел.}$$

2. Определяем общее количество укрываемых людей на объекте:

$$N_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^6 463 = 463 \cdot 6 = 2778 \text{ чел.}$$

Наибольшая работающая смена составляет 2000 человек. Следовательно, имеющиеся защитные сооружения позволяют укрыть наибольшую работающую смену, т. к.  $2000 < 2778$ . Если наибольшая работающая смена не укрывается в имеющихся ЗС, необходимо произвести расчет (см. 2.2.3).

3. Определяем количество людей, которых можно подселить в загородной зоне

$$N_{\text{подс.}} = \sum_{i=1}^l N_{\text{подс.},i} = \sum_{i=1}^l \frac{S_{\text{НП}} - S_{\text{МН}}}{S_q}$$

$$N_{\text{подс.}} = \sum_{i=1}^6 \frac{9000 - 1950 \cdot 2}{2} = 2550 \cdot 6 = 15300 \text{ чел.}$$

4. Количество людей, которых нужно доселить в загородной зоне, будет равно:

$$3800 + 6150 = 9950 \text{ чел.}$$

Отсюда видно, что условие расселения людей выполняется:  $9950 < 15300$ .

5. Определяем возможность укрытия людей в загородной зоне. Общее количество людей, которых нужно укрыть в загородной зоне, равно:

$$9950 + 1950 \cdot 6 = 21650 \text{ чел.}$$

Общая площадь заглубленных сооружений, в которых можно укрыть людей, равна:  $1870 \cdot 6 = 11220 \text{ м}^2$ .

При норме на одного укрываемого  $0,6 \text{ м}^2$  в этих защитных сооружениях можно укрыть:  $11220 : 0,6 = 18700 \text{ чел.}$

Полученный результат показывает, что условие по укрытию людей в загородной зоне не выполняется:  $18700 < 21650$ .

Количество населения, не укрывающегося в одном населенном пункте будет равно:  $(21650 - 18700) : 6 = 492 \text{ чел.}$

Количество защитных сооружений, которые необходимо будет построить в одном населенном пункте, равно:  $n_i = 492 : 40 = 13 \text{ шт.}$

Общее количество ПРУ, которое нужно построить, равно  $n_{\text{общ}} = 13 \cdot 6 = 78 \text{ шт.}$

### **3. ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ В ЗОНАХ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ЗАТОПЛЕНИЯ**

#### **3.1. Общие сведения о затоплении (наводнении)**

*Наводнение* – значительное затопление местности, возникающее в результате подъема воды на реках, морях и искусственных водоемах.

Основными причинами большинства наводнений являются сильные ливневые дожди, интенсивное таяние снегов, загромождение русла рек в период ледоходов, нагон воды со стороны моря в устья рек. Особую опасность представляют наводнения, возникающие вследствие оползней и обвалов горных пород, внезапного прорыва дамб, плотин, при разрушении гидротехнических сооружений. Они, как правило, сопровождаются переносом не только воды, но и практически всех обломочных и рыхлых материалов, вследствие чего часто принимают катастрофический характер.

Основными последствиями наводнений являются:

– затопление значительных территорий;

- гибель и поражение десятков и сотен тысяч людей;
- смыв плодородного слоя почвы, уничтожение посевов, животных и продуктов сельскохозяйственного производства;
- разрушение дорог, мостов и других искусственных сооружений, промышленных объектов, зданий, уничтожение материальных ценностей;
- размыв побережья, приводящих к разрушению береговых объектов, прибрежных строений, уничтожение пляжей.

Затопление, как поражающий фактор, определяется значительным количеством характеристик, основные из которых рассматриваются ниже.

Масштабы последствий наводнений, величин и структура потерь зависит:

- от высоты затопления;
- от продолжительности стояния опасных уровней воды;
- от скорости водного потока;
- от площади затопления;
- от температуры воды, воздуха и времени суток;
- от плотности населения и интенсивности хозяйственной деятельности на затопленной территории;
- от своевременности и точности прогноза наводнения;
- от наличия защитных гидротехнических сооружений и конкретных мер подготовки к наводнению;
- от уровня подготовки и организованности к действиям в условиях наводнения руководящего состава, персонала предприятий и организаций, аварийно-спасательных служб и населения.

Потери среди населения оцениваются числом погибших, пострадавших, пропавших без вести. Большое количество населения оказывается без крова, без питьевой воды и продуктов питания, подвергаются воздействию холодной воды, ветра и других метеофакторов.

Материальный ущерб наводнения оценивается количеством единиц разрушенных, поврежденных, вышедших из строя объектов и предметов, а также в денежном выражении. Удельный материальный ущерб исчисляется в рублях в пересчете на один гектар затопленной площади.

Эффективность площади повышается при выделении на затопливаемой территории 4-х зон катастрофического затопления (ЗКЗ) в зависимости от скорости течения воды ( $V$ ), высоты затопливаемой

волны  $h$  и расстояния  $R$  населенного пункта от гидросооружения или опасного явления (тайфуна, цунами, сильного волнения моря, половодья и др.).

1-я ЗКЗ примыкает непосредственно к гидросооружению или началу природного явления и простирается на 6–12 км. Высота волны может достигать нескольких метров. Волна характеризуется бурным потоком воды со  $V = 20–30$  км/ч. Время прохождения волны – 30 мин.

2-я ЗКЗ – зона быстрого течения,  $V = 15–20$  км/ч, протяженность зоны 15–20 км, время прохождения волны 50–60 мин.

3-я ЗКЗ – зона среднего течения со  $V = 10–15$  км/ч, протяженность зоны 30–50 км, время прохождения волны 2–3 ч.

4-я ЗКЗ – зона слабого течения (разлива) со  $V = 6–10$  км/ч, ее протяженность будет зависеть от рельефа местности и может составлять 36–70 км.

### 3.2. Комплексная задача № 3

В результате сильного паводка произошло разрушение гидроузла. Исходные данные из табл. 3.4. Объем водохранилища  $W = \dots$  млн м<sup>3</sup>, ширина прорана  $B = \dots$  м, глубина воды перед плотиной  $H = \dots$  м, средняя скорость волны попуска  $V = \dots$  м/сек. В 1-й зоне катастрофического затопления проживало 1000 человек, во 2-й ЗКЗ – 5000 человек, в 3-й ЗКЗ – 10000 человек, в 4-й ЗКЗ – 50000 человек.

*Определить:*

1. Параметры волны попуска на расстояниях ( $R$ ) 12,5 км, 25 км, 50 км, от гидроузла;

а) время прихода ( $t_{пр}$ ) волны попуска на заданных расстояниях (3.1);

б) высоту волны попуска ( $h$ ) у плотины и на заданных расстояниях (табл. 3.2);

в) время опорожнения водохранилища ( $T$ , ч) (табл. 3.2);

г) продолжительность прохождения волны попуска ( $t$ , ч) на заданных расстояниях  $R$  (табл. 3.2).

2. Возможные потери и структуру потерь среди населения в каждой зоне (табл. 3.1).

Мероприятия по обеспечению безопасности населения в зонах катастрофического затопления.



Методические указания:

– время прихода ( $t_{пр}$ ) волны попуска определяется по формуле

$$t_{пр} = R/V \text{ ч}; \quad (3.1)$$

– время опорожнения водохранилища определяется по формуле

$$T = \frac{W \cdot 10^6}{B \cdot N \cdot 3600} \text{ ч}, \quad (3.2)$$

где  $N$  – максимальный расход воды на 1 м ширины прорана, м<sup>3</sup>/с, определяется из таблицы 3.3.

### 3.3. Справочные материалы

Таблица 3.1

Прогноз величины и структура потерь среди населения, %

Зона затопления	Общие потери		Из числа общих потерь			
	днем	ночью	безвозвратные		санитарные	
			днем	ночью	днем	ночью
1	60	90	40	75	90	95
2	13	25	10	20	85	93
3	5	15	7	15	80	92
4	2	10	5	10	25	60
Средние потери, %	20	35	15	30	70	85

Таблица 3.2

Высота волны попуска и продолжительность ее прохождения на различных расстояниях от плотины

Наименование параметров	Расстояние от плотины, км							
	0	12,5	25	50	100	150	200	250
Высота волны попуска ( $h$ ), м	0,25Н	0,22Н	0,2Н	0,15Н	0,07Н	0,05Н	0,03Н	0,02Н
Продолжительность прохождения волны ( $t$ ч)	T	0,85T	1,7T	2,6T	4T	5T	6T	7T

Примечание:  $H$  – глубина прорана, м;  $T$  – время опорожнения водохранилища, час

Таблица 3.3

**Максимальный расход воды на 1 м ширины прорана ( $N$ ), м<sup>3</sup>/с**

Глубина прорана ( $H$ ), м	5	10	15	20	25	30	50
Максимальный расход воды ( $N$ ), м <sup>3</sup> /с	10	30	50	80	125	170	350

Таблица 3.4

**Таблица вариантов и исходных данных**

№ варианта	Объем водохранилища, $W$ (млн. м <sup>3</sup> )	Ширина прорана, $B$ , м	Глубина прорана, $H$ , м	Средняя скорость волны, $V$ , м/с
1	50	70	5	5
2	60	70	10	5
3	70	70	15	5
4	80	70	20	5
5	90	70	25	5
6	100	70	30	7
7	50	80	5	7
8	60	80	10	7
9	70	80	15	7
10	80	80	20	7
11	90	80	25	6
12	100	90	30	6
13	50	90	5	6
14	60	90	10	6
15	70	90	15	6
16	80	90	20	5
17	90	90	25	5
18	100	90	30	5
19	50	100	5	5
20	60	100	10	8
21	70	100	15	8
22	80	100	20	8
23	90	100	25	8
24	100	100	30	8
25	60	50	5	5

### 3.4. Мероприятия по обеспечению безопасности населения в зонах катастрофического затопления

Мероприятия по обеспечению безопасности населения, проживающие в зонах возможного катастрофического затопления, подразделяется на три вида:

- а) мероприятия, проводимые до начала затопления;
- б) мероприятия, проводимые в процессе наводнения;
- в) мероприятия по ликвидации последствий наводнения.

Мероприятия, проводимые до начала затопления:

- строительство дамб, плотин на путях возможного распространения воды;
- проверка состояния дамб, плотин, мостов, гидросооружений и проведение достройки дамб по выявленным недостаткам;
- прогнозирование возможной обстановки, которая может сложиться при наводнении;
- определение возвышенных мест для строительства причальных сооружений;
- подготовка плавательных средств: лодок, плотов, щитов, бревен, автомобильных камер и др.
- принятие мер по защите домов;
- провести подготовку к эвакуации, если получено предупреждение о ней, для чего: подготовить теплую одежду, постельные принадлежности, сапоги, ценности, трехдневный запас продуктов, аптечку первой медицинской помощи, документы, деньги. Вещи упаковать в чемоданы, рюкзаки для перевозки транспортными средствами;
- отгон сельскохозяйственных животных в безопасные места;
- вывоз материальных ценностей.

Мероприятия, проводимые в процессе наводнения:

- поиск и эвакуация людей, оказавшихся в зоне затопления;
- определение количества населенных пунктов, численности людей, предприятий, оказавшихся в зоне затопления;
- определение протяженности автомобильных, железных дорог, линий электропередач, связи и коммуникаций, оказавшихся в зоне затопления, количества погибших животных и разрушенных мостов;

Мероприятия по ликвидации последствий наводнения:

- определение ущерба от наводнения. Ущерб от наводнения состоит из прямого и косвенного. *Прямой ущерб* составляет степень по-

вреждения домов, показатели гибели скота, урожая, смыва плодородного слоя почвы и др. *Косвенный ущерб* – это затраты на эвакуацию, на доставку продуктов питания пострадавшим, строительных материалов, на тушение возможных пожаров от коротких замыканий в электросистемах;

- оказание помощи населению, пострадавшему от наводнения;
- проведение мероприятий по восстановлению поврежденных участков дорог, мостов, линий связи, электропередач, коммуникаций;
- проведение мероприятий по восстановлению поврежденных этажей зданий, жилых домов;
- восстановление работы предприятий, функционирование которых нарушено наводнением.

#### **4. ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЯХ**

Радиационная безопасность как государственная система складывается из следующих составных частей:

1. Законодательно-нормативная база РБ по радиационной безопасности, являющаяся юридической и правовой основами обеспечения радиационной безопасности. Она состоит из законов РБ и нормативных документов.

Основные законы и нормативные документы:

- Закон РБ «О радиационной защите населения» (1998 г.).
- Закон РБ «Об охране окружающей среды» (1992 г.).
- Закон РБ «О социальной защите граждан, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС» (1991 г.).
- Закон РБ «О статусе территорий, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС» (1991 г.).
- Нормы радиационной безопасности: НРБ-2000.
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности: ОСП-2002.
- Республиканские допустимые уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продуктах питания и питьевой воды: РДУ-99.

2. Система радиационного контроля

*Радиационный контроль* – это определение параметров радиационной обстановки, сравнение их значений с существующими нормативами и разработка мероприятий по приведению в соответствие радиационной обстановки с нормативами.

Радиационный контроль проводится:

- на предприятиях, где используются источники ионизирующих измерений (ИИИ);
- при проведении радиационного мониторинга;
- при радиационных авариях.

Основные параметры, которые определяются при радиационном контроле на предприятиях, где используются ИИИ:

- мощность экспозиционной дозы фотонного излучения;
- плотность потока ионизирующих частиц с рабочих поверхностей;
- концентрация радионуклидов в воздухе рабочих помещений.

При проведении радиационного мониторинга:

- мощность экспозиционной дозы фотонного излучения;
- плотность потока ионизирующих частиц с различных поверхностей;
- концентрация радионуклидов в почве, воде, атмосфере.

При радиационных авариях к вышеперечисленным параметрам для мониторинга добавляется определение радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания.

Основной целью радиационного контроля является оценка дозы облучения человека. Поглощенная и эквивалентная дозы облучения состоит из дозы внутреннего облучения ( $D_{\text{вн}}$ ,  $H_{\text{вн}}$ ) и дозы внешнего облучения ( $D_{\text{внеш}}$ ,  $H_{\text{внеш}}$ ).

Дозы внешнего облучения ( $D_{\text{внеш}}$ ,  $H_{\text{внеш}}$ ) – это доза, сформированная от источников, находящихся вне организма. Доза внутреннего облучения ( $D_{\text{вн}}$ ,  $H_{\text{вн}}$ ) – это доза, сформированная от источников, попавших в организм с воздухом, продуктами питания, питьевой водой, через кожу и другими способами. Приведение в соответствие параметров радиационной обстановки и интегрального показателя – дозы облучения человека с существующими нормативами – осуществляется мероприятиями по защите от ИИ.

### 3. Физические основы защиты от ионизирующих излучений (ИИ)

Защита от ИИ в дозиметрии сводится к защите расстоянием, временем и экраном. Защита расстоянием – увеличение расстояния от источников ИИ до работающих (проживающих); защита временем – сокращение времени работы с источниками ИИ или времени воздействия их на биологический объект; защита экраном – экранирование источников ИИ материалами, поглощающими ИИ.

#### 4.1. Комплексная задача № 4

При разгерметизации точечного источника чернобыльского происхождения произошел выброс продуктов деления и активации топлива и материалов АЭС в окружающую среду с активностью  $n/2$  МКи (где  $n$  – номер варианта в табл. П.1.1). Часть радионуклидов в количестве 0,1 % от активности попала в организмы операторов и распределилась по органам и тканям. Чтобы оценить радиационную обстановку и меры безопасности при ликвидации последствий аварии, для чего определить:

- 1) вид и схему распада радионуклида;
- 2) экспозиционную дозу на расстоянии 1 м и возможную поглощенную и эквивалентную дозу внешнего облучения организма человека за время ликвидации последствий аварии;
- 3) пробег частиц в воздухе и биологической ткани;
- 4) поглощенную дозу облучения в органах и тканях за 1 год;
- 5) эквивалентную дозу в облученных органах и тканях за 1 год;
- 6) эффективную дозу при облучении соответствующих органов и тканей за 1 год и сравнить с пределом дозы, равным 1 мЗв/год;
- 7) расстояние и время безопасной работы без экрана во время аварии, если предел составляет 1 мЗв;
- 8) толщину экрана из материала защиты для безопасной работы за время ликвидации аварии, если предел дозы составляет 1 мЗв;
- 9) возможность использования продуктов питания, полученных с загрязненной  $^{137}\text{Cs}$  территории, если плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  равна  $n$ ;
- 10) толщину защиты из различных материалов от  $\alpha, \beta, \gamma$  рентгеновского излучения;
- 11) мероприятия по обеспечению радиационной безопасности при ликвидации последствий аварии.

##### *Решение задачи*

Приведенные в таблице вариантов (табл. П.1.1) радионуклиды чернобыльского происхождения (продукты деления и активации топлива на АЭС) состоят из продуктов деления:  $^{235}\text{U}$  ( $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ), продуктов активации:  $^{238}\text{U}$  ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) и конструктивных материалов реактора ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ),  $^{226}\text{Ra}$  в равновесии с его продуктами распада. Все они являются радионукли-

дами и распадаются по трем схемам распада:  $\alpha$ -распад,  $\beta^-$ -распад, электронный захват ( $K$ -захват). Распад всех приведенных радионуклидов сопровождается рентгеновским или  $\gamma$ -излучением.

#### 4.1.1. Определение видов и схем распада радионуклидов

$$\text{а) } \alpha\text{-распад } {}^M_Z X \rightarrow {}^{M-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}; \quad (4.1)$$

$$\text{б) } \beta^- \text{-распад } {}^M_Z X \rightarrow {}^M_{Z+1} Y + \beta^- + \tilde{\nu} \text{ (антинейтрино)} \quad (4.2)$$

$$\text{в) } K\text{-захват } {}^M_Z X + e^- \rightarrow {}^M_{Z-1} Y + E_{R\&} \text{ (} R\&\text{-рентгеновское излучение)}. \quad (4.3)$$

#### 4.1.2. Определение максимального пробега частиц в веществе

Определяем пробег основных частиц распада ( $\alpha$ -частица или  $\beta^-$ -частица, т. е. электрон). Условно для  $K$ -захвата рассчитываем пробег моноэнергетических электронов с энергией 0,511 МэВ:

а) пробег электронов в любом веществе рассчитывают по пробегу в алюминии в единицах дозиметрической толщины ( $\text{г}/\text{см}^2$ ).

$$R_{\text{Al}} = 0,53E, \text{ г}/\text{см}^2 \text{ – для моноэнергетических электронов}; \quad (4.4)$$

$$R_{\text{Al}} = 0,54E_{\beta} - 0,13 \text{ г}/\text{см}^2 \text{ – для электронов сплошного спектра}. \quad (4.5)$$

Линейный пробег в алюминии рассчитывают по формулам:

$$R'_{\text{Al}} = 0,53E / \rho_{\text{Al}}, \text{ см}; \quad (4.6)$$

$$R'_{\text{Al}} = (0,54E_{\beta} - 0,13) / \rho_{\text{Al}}, \text{ см}, \quad (4.7)$$

где  $E_{\beta}$  – граничная энергия  $\beta$ -спектра, МэВ (табл. П.1.1);

$\rho_{\text{Al}}$  – плотность алюминия (табл. П.3.1);

$E$  – энергия моноэлектронов, МэВ, равная 0,511 МэВ.

Линейный пробег в веществе, отличим от алюминия:

$$R'_x = R'_{\text{Al}} \left[ \frac{(Z/M)_{\text{Al}}}{(Z/M)_x} \right] \cdot \frac{\rho_{\text{Al}}}{\rho_x}, \text{ см}. \quad (4.8)$$

Линейный пробег в воздухе определяется по зависимости

$$R_{\beta}^{\text{возд}} = 450 E_{\beta}^{\text{cp}}, \text{ см,}$$

где  $E_{\beta}^{\text{cp}}$  – средняя энергия  $\beta$ -спектра (табл. П.1.1);

$Z_{\text{Al}}, Z_x$  – атомный номер Al и вещества  $X$ ;

$M_{\text{Al}}, M_x$  – массовое число Al и вещества  $X$ ;

$\rho_x$  – плотность вещества  $X$ , г/см<sup>3</sup>;

б) пробег  $\alpha$ -частиц в веществах, отличных от воздуха, рассчитывают по эмпирической формуле:

$$R_{\alpha} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1/2} \cdot E_{\alpha}^{3/2}}{\rho}, \quad (4.9)$$

где  $M$  – массовое число вещества;

$E_{\alpha}$  – энергия  $\alpha$ -излучения, МэВ (табл. П.1.1);

$\rho$  – плотность вещества, г/см<sup>3</sup> (табл. П.3.1).

Пробег  $\alpha$ -частиц в воздухе определяется по зависимостям:

$$R_{\alpha} = 0,318 \cdot E_{\alpha}^{3/2}, \text{ если } E_{\alpha} \geq 4 \text{ МэВ;}$$

$$R_{\alpha} = 0,56 \cdot E_{\alpha}, \text{ если } E_{\alpha} < 4 \text{ МэВ;}$$

в) характеристики вещества:

$$M_{\text{Al}} = 27, \quad Z_{\text{Al}} = 13, \quad \rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ г/см}^3,$$

$$M_{\text{воздуха}} = 15, \quad Z_{\text{воздуха}} = 7,2, \quad \rho_{\text{воздуха}} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3, \quad (4.10)$$

$$M_{\text{биоткани}} = 16,5, \quad Z_{\text{биоткани}} = 8,5, \quad \rho_{\text{биоткани}} = 1 \text{ г/см}^3.$$

#### **4.1.3. Определение экспозиционной дозы фотонного излучения, поглощенной и эквивалентной дозы в организме человека**

Определяем экспозиционную дозу рентгеновского и  $\gamma$ -излучения по соотношению:

$$X = \overset{0}{X} \cdot T_1, p, \quad (4.11)$$

где  $\overset{0}{X}$  – мощность экспозиционной дозы, р/ч;



$T_1$  – время продолжительности ликвидации аварии, равное номеру варианта, ч.

Мощность экспозиционной дозы от точечного источника фотонного излучения рассчитываем по формуле

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma\gamma}{R^2}, \text{ р/ч}, \quad (4.12)$$

где  $A$  – активность источника, мКи;

$R$  – расстояние от источника до объекта облучения, см;

$\Gamma\gamma$  – гамма-постоянная,  $\left[ \frac{\text{р} \cdot \text{см}^2}{\text{ч} \cdot \text{мКи}} \right]$ .

Табулированные значения коэффициента  $\Gamma\gamma$  приведены в таблице П.1.1.

Поглощенную дозу внешнего облучения организма человека определяем по соотношениям:

$$D_1 = K_d \cdot K_{\text{экp}} \cdot X, \text{ рад}; \quad (4.13)$$

$$D_{\text{внеш}} = 0,01 \cdot K_d \cdot K_{\text{экp}} \cdot X, \text{ Гр}, \quad (4.14)$$

где  $K_d$  – дозовый коэффициент, равный  $0,96 \frac{\text{рад}}{\text{р}}$  ;

$K_{\text{экp}}$  – коэффициент экранирования излучения телом человека, равный 0,7;

$X$  – экспозиционная доза, Р;

0,01 – коэффициент, согласующий размерности (1 рад = 0,01 Гр);

$D_1$  и  $D_{\text{внеш}}$  – поглощенная доза внешнего облучения, Рад и Гр.

Эквивалентную дозу в организме человека рассчитываем по соотношению:

$$H = W_R \cdot D, \text{ Зв}, \quad (4.15)$$

где  $D$  – поглощенная доза в организме человека, Гр;

$W_R$  – взвешивающий коэффициент излучения,  $\frac{\text{Зв}}{\text{Гр}}$ .

Для фотонного излучения  $W_R = 1$  (таблица П.5.1).

#### 4.1.4. Определение поглощенной дозы в органах и тканях

Радионуклиды, поступая в организм человека через органы дыхания с питьевой водой и продуктами питания через кожу и другими способами (в основном медикаментами), накапливаются в различных органах и тканях и при распаде формируют дозу внутреннего облучения.

Поглощенную дозу внутреннего облучения рассчитывают как:

$$D_{\text{вн}} = \frac{K_{\text{т}} \cdot N \cdot \bar{E}}{m_{\text{т}}}, \text{ Гр}, \quad (4.16)$$

где  $K_{\text{т}}$  – коэффициент накопления радионуклида в органах и тканях, отн. ед. (табл. П.4.1);

$N$  – количество распавшихся атомов за время формирования дозы (1 год);

$\bar{E}$  – средняя энергия  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц, поглощенных в органах или тканях (табл. П.1.1);

$m_{\text{т}}$  – масса органа или ткани (табл. П.4.1);

$D_{\text{вн}}$  – поглощенная доза внутреннего облучения, Гр.

Расчет проводится для  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения в предположении, что  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы полностью поглощаются (теряют свою энергию) в соответствующих органах и тканях. В таблице табл. П.1.1 приводится энергия 1 распада в МэВ.

$$1\text{ЭВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}. \quad (4.17)$$

Определим количество распавшихся и выведенных из организма радиоактивных атомов за 1 год:

$$A = A_0 e^{-\frac{0,693 \cdot T_2}{T_{\text{эф}}}} \quad (4.18)$$

$$N = A_0 \int_0^{T_2} e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{\text{эф}}}} dt = \frac{A_0}{\lambda} \left( 1 - e^{-\frac{0,693 T_2}{T_{\text{эф}}}} \right), \quad (4.19)$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}, \quad (4.19')$$

где  $A_0$  – начальная активность радионуклида, Бк [ $\text{с}^{-1}$ ] (по условию задачи);

$T_2$  – время формирования дозы, год ( $T_2 = 1$  год);

$T_{эф}$  – эффективное время полуочищения органа, год:

$$T_{эф} = \frac{T_6 \cdot T_{1/2}}{T_6 + T_{1/2}}, \text{ год}, \quad (4.20)$$

где  $T_6$  – биологический период полувыведения радионуклида, год;

$T_{1/2}$  – период полураспада, год;

Значение  $T_6$  и  $T_{1/2}$  и массы органов и тканей приведены в таблице П.4.1.

#### **4.1.5. Определение эквивалентной дозы облучения органов и тканей**

Величина эквивалентной дозы органов и тканей определяют по соотношению:

$$H = W_R \cdot D_{вн}, \text{ Зв}, \quad (4.21)$$

где  $W_R$  – взвешивающий коэффициент излучения,  $\frac{\text{Зв}}{\text{Гр}}$ ;

$D_{вн}$  – доза облучения соответствующего органа или ткани, Гр.

Значения взвешивающих коэффициентов излучения приведены в таблице П.5.1.

#### **4.1.6. Определение эффективной дозы внутреннего облучения организма человека**

Величину эффективной дозы внутреннего облучения определяют по соотношению:

$$H_T = \sum_{i=1}^n H_i \cdot W_{Ti}, \text{ Зв}, \quad (4.22)$$

где  $H_i$  – эквивалентная доза органа или ткани, Зв;

$W_{Ti}$  – взвешивающий коэффициент органов или тканей.

В случае облучения одного органа или ткани, соотношение упрощается:

$$H_T = W_T \cdot H, \text{ Зв}. \quad (4.23)$$

Значение взвешивающих коэффициентов соответствующих органов и тканей приведены в таблице П.6.1.

#### 4.1.7. Определение расстояния и времени безопасной работы без экрана во время аварии

Предел дозы внешнего облучения  $D_{\text{доп}}^{\text{внеш}}$  составляет 1 мЗв:

$$\text{а) } H_{\text{доп}} = W_R \cdot D_{\text{внеш}}^{\text{доп}} = \frac{10 \cdot W_R \cdot K_d \cdot K_{\text{экр}} \cdot A_0 \cdot \Gamma_\gamma \cdot T_1}{R^2}, \text{ мЗв; } \quad (4.24)$$

б) фиксируем  $T_1$ ,

$$\text{тогда } R = \sqrt{10 \cdot W_R \cdot K_d \cdot K_{\text{экр}} \cdot A_0 \cdot \Gamma_\gamma \cdot T_1}, \text{ см; } \quad (4.25)$$

в) фиксируем расстояние, равное 1 м (100 см), тогда

$$T_0 = \frac{H_{\text{доп}} \cdot R^2}{10 \cdot W_R \cdot K_d \cdot K_{\text{экр}} \cdot A_0 \cdot \Gamma_\gamma}, \quad (4.26)$$

где  $W_R$  – взвешивающий коэффициент излучения, равный  $1 \frac{\text{бэр}}{\text{рад}}$ ;

$K_d$  – дозовый коэффициент, равный  $0,96 \frac{\text{рад}}{\text{р}}$ ;

$K_{\text{экр}}$  – коэффициент экранирования излучения телом человека, равный 0,7;

$A_0$  – начальная активность радионуклида, равная  $\frac{n}{2}$  мКи ( $n$  – номер варианта);

$\Gamma_\gamma$  – гамма-постоянная,  $\left[ \frac{\text{р} \cdot \text{см}^2}{\text{ч} \cdot \text{мКи}} \right]$ ;

$T_1$  – время ликвидации аварии, ч ( $T_1$  равно номеру варианта);

10 – коэффициент согласования размерностей (1 бэр = 10 мЗв);

$D_{\text{внеш}}^{\text{доп}}$  – допустимая поглощенная доза внешнего облучения, 1 мГр;

$H_{\text{доп}}$  – допустимая эквивалентная доза внешнего облучения, равная 1 мЗв.

#### **4.1.8. Определение толщины экрана из материала защиты от рентгеновского или $\gamma$ -излучения**

Эквивалентную дозу от  $\gamma$ -излучения за экраном можно определить по формуле:

$$H = H_0 \cdot e^{-\mu d}, \text{ мЗв}; \quad (4.27)$$

$$H \leq H_{\text{доп}} = 1 \text{ мЗв},$$

где  $H_0$  – доза до защиты (доза без экрана в подразделе 4.1.3), мЗв;

$H$  – доза после экрана, мЗв;

$\mu$  – линейный коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения,  $\text{см}^{-1}$  (табл. П.3.1);

$d$  – толщина защиты, см.

$$\frac{H_0}{H} = e^{-\mu d}, \quad \ln \frac{H_0}{H} = \mu d; \quad (4.28)$$

$$d = \frac{\ln \frac{H_0}{H_{\text{доп}}}}{\mu}, \text{ см.} \quad (4.29)$$

Значение  $\mu$  для соответствующих энергий рентгеновского и  $\gamma$ -излучения приводится в таблице П.3.1.

#### **4.1.9. Определение возможности использования продуктов питания, полученных из выращенной в настоящее время на загрязненной $^{137}\text{Cs}$ территории с/х продукции с плотностью загрязнения, равной $A_s$ Ки/км<sup>2</sup>**

Из всех чернобыльских радионуклидов наиболее эффективно поступают в сельскохозяйственную продукцию  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Ведущим по загрязнению территории радионуклидом является  $^{137}\text{Cs}$ , поэтому в РДУ-99 нормируется большое количество продуктов питания по предельному содержанию в них  $^{137}\text{Cs}$ . Определяем загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  продуктов питания, полученных из сельскохозяйственной продукции, выращенной в настоящее время на различных типах почв, распространенных в РБ.

Удельная активность продуктов питания определяется по формуле:

$$A_{\text{уд}} = K_{\text{п}} \cdot K_{\text{н}} \cdot A_{\text{с}}, \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}, \quad (4.30)$$

где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент перехода из почвы в сельскохозяйственную продукцию,  $\frac{\text{м}^2}{\text{кг}}$ ;

$K_{\text{н}}$  – коэффициент накопления: сельскохозяйственная продукция – продукт питания –  $\frac{(\text{Бк/кг}) \text{ пр. питания}}{(\text{Бк/кг}) \text{ с/х продукция}}$ ;

$A_{\text{с}}$  – плотность загрязнения, Ки/км<sup>2</sup> ( $A_{\text{с}}$  равно номеру варианта);  
1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

Значение коэффициентов  $K_{\text{п}}$  и  $K_{\text{н}}$ , а также предельные уровни загрязнения продуктов питания приведены в таблице П.2.1.

Если  $A_{\text{уд}} > A_{\text{доп}}$ , использовать нельзя.

Если  $A_{\text{уд}} \leq A_{\text{доп}}$ , использовать можно.

#### **4.1.10. Определение толщины защиты из различных материалов от $\alpha, \beta, \gamma$ - и рентгеновского излучения**

Толщина защиты различных материалов должна быть больше пробега  $\alpha$  и  $\beta$ -частиц в воздухе, воде (биоткани) и алюминии. Для рентгеновского и  $\gamma$ -излучения толщина защиты из соответствующего материала должна быть больше или равна толщине экрана (см. 4.1.8).

#### **4.1.11. Мероприятия по обеспечению радиационной безопасности при ликвидации последствий аварии**

Критериями радиационной безопасности являются приведенные в методических указаниях по решению комплексной задачи пределы дозы внешнего и внутреннего облучения – по 1 мЗв (в год или за время ликвидации аварии) и допустимое содержание <sup>137</sup>Cs в продуктах питания (см. 4.1.2; 4.1.4–4.1.6; табл. П.2.1). Исходя из значений доз и уровня загрязнения продуктов питания, а также видов радиационного распада провести мероприятия по обеспечению радиационной безопасности из следующего перечня:

- 1) обеспечить непрерывную ликвидацию последствий с учетом предельного времени обращения с источником;
- 2) использовать защитные экраны соответствующей толщины;

- 3) запретить к употреблению продукты питания местного производства и производства;
- 4) провести дезактивацию территории;
- 5) обеспечить вывод персонала и населения на безопасное расстояние (см. 4.1.7);
- 6) использовать респираторы «Лепесток» и тканевые повязки ( $\alpha$  и  $\beta$ -распада);
- 7) использовать индивидуальные средства защиты кожи – очки, шапочку, перчатки, комбинезон (при  $\alpha$  и  $\beta$ -распаде);
- 8) в дополнение к прогнозу (результаты решения задачи) провести инструментальную оценку радиационной обстановки (разведку).

## Литература

1. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях : учеб. для вузов / под ред. М. И. Постника. – Минск : Універсітэцкае, 1997. – 278 с.
2. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения : справочник / под ред. Г. П. Демиденко. – Киев : ВШ, 1989. – 287 с.
3. Радиация, дозы, эффект, риск / пер. с англ. Ю. А. Банникова. – Москва : Мир, 1990. – 79 с.
4. Атаманюк, В. Г. Гражданская оборона: учеб. для вузов / В. Г. Атаманюк, Л. Г. Ширшев, Н. Н. Акимов. – Москва : ВШ, 1986. – 208 с.
5. Михнюк, Т. Ф. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие / Т. Ф. Михнюк. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 240 с.
6. Постник, М. И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях : учебник / М. И. Постник. – Минск : ВШ, 2003. – 398 с.
7. Дорожко, С.В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : учеб. пособие. Ч. 1. / С. В. Дорожко, В. Т. Пустович, Г. Н. Морзак. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – 222 с.



# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

Таблица П.1.1

Таблица вариантов и основных характеристик радионуклидов

№ варианта	Схема распада	$T_{1/2}$	$E_{\alpha}$ , мэВ	Гранич. энергия $\beta$ -спектра $E_{\beta}$ , мэВ	Средняя энергия $\beta$ -спектра, $E_{\beta}$ , мэВ	$E_{\alpha}$ или $E_{R\alpha}$ , кэВ	$\Gamma\gamma$ , $\left[ \frac{p \cdot \text{см}^2}{\text{ч} \cdot \text{мКи}} \right]$	Материалы защиты
1	${}^{64}_{29}\text{Cu} \rightarrow {}^{54}_{28}\text{Ni}$	12,8 час	–	0,511 моно	0,511 моно	511	1,12	алюминий
2	${}^{133}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{133}_{54}\text{Xe}$	21 час	–	1,54	0,418	950	3,8	свинец
3	${}^{99}_{42}\text{Mo} \rightarrow {}^{99}_{43}\text{Tc}$	66 час	–	1,22	0,398	400	1,23	алюминий
4	${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe}$	8,1 сут	–	0,81	0,18	350	2,15	железо
5	${}^{140}_{56}\text{Ba} \rightarrow {}^{140}_{57}\text{La}$	12 сут	–	1,01	0,282	550	1,16	алюминий
6	${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U}$	88 лет	5,46	–	–	50	0,08	вода
7	${}^{141}_{58}\text{Ce} \rightarrow {}^{141}_{59}\text{Pr}$	33 сут	–	0,58	0,144	150	0,29	вода
8	${}^{103}_{44}\text{Ru} \rightarrow {}^{103}_{45}\text{Rh}$	39 сут	–	0,71	0,062	511	1,22	бетон
9	${}^{89}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{89}_{39}\text{Y}$	51 сут	–	1,47	0,583	511	2,94	железо
10	${}^{95}_{40}\text{Zr} \rightarrow {}^{95}_{41}\text{Nb}$	64 сут	–	1,13	0,115	750	4,1	свинец
11	${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np}$	433 лет	5,44	–	–	60	0,63	железо
12	${}^{65}_{30}\text{Zn} \rightarrow {}^{65}_{29}\text{Cu}$	244 сут	–	0,511 моно	0,511 моно	511	3,02	железо
13	${}^{144}_{58}\text{Ce} \rightarrow {}^{144}_{59}\text{Pr}$	284 сут	–	0,32	0,084	150	0,04	вода
14	${}^{57}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{57}_{26}\text{Fe}$	271 сут	–	0,511 моно	0,511 моно	150	0,58	бетон
15	${}^{54}_{25}\text{Mn} \rightarrow {}^{54}_{26}\text{Fe}$	312 сут	–	2,85	0,86	850	4,69	свинец
16	${}^{240}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{236}_{92}\text{U}$	$6,5 \cdot 10^3$ лет	5,12	–	–	50	0,2	вода
17	${}^{106}_{44}\text{Ru} \rightarrow {}^{106}_{45}\text{Rh}$	368 сут	–	3,54	1,42	600	1,54	бетон

## Окончание табл. П.1.1

№ варианта	Схема распада	$T_{1/2}$	$E_{\alpha}$ , мэВ	Гранич. энергия $\beta$ -спектра $E_{\beta}$ , мэВ	Средняя энергия $\beta$ -спектра, $E_{\beta}$ , мэВ	$E_{\alpha}$ или $E_{\text{РЭБ}}$ кэВ	$\Gamma_{\gamma}$ , [ $\frac{\rho \cdot \text{см}^2}{\text{ч} \cdot \text{мКи}}$ ]	Материалы защиты
18	$^{134}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{134}_{56}\text{Ba}$	2,1 лет	–	1,45	0,15	750	8,6	свинец
19	$^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{235}_{92}\text{U}$	$2,4 \cdot 10^4$ лет	5,14	–	–	50	0,15	вода
20	$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет	4,2	–	–	50	0,07	вода
21	$^{55}_{26}\text{Fe} \rightarrow ^{55}_{25}\text{Mn}$	2,7 лет	–	0,511 моно	0,511 моно	511	1,51	алюминий
22	$^{125}_{51}\text{Sb} \rightarrow ^{125}_{52}\text{Te}$	2,8 лет	–	0,612	0,084	662	0,48	бетон
23	$^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow ^{90}_{39}\text{Y}$	28 лет	–	0,544	0,200	200 торм	0,35	алюминий
24	$^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba}$	30 лет	–	1,17	0,195	662	3,1	свинец
25	$^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn}$	1600 лет	4,6	–	–	750	3,3	свинец

## Приложение 2

Таблица П.2.1

Значение коэффициентов перехода и накопления  $^{137}\text{Cs}$   
в зависимости от типа почвы

№ варианта	Тип почвы	Сельхоз-продукция	Лесные растения	Продукт питания	$K_n$ «почва – сельхоз-продукция», $\text{м}^2/\text{кг}$	$K_n$ «сельхоз-продукция – продукт питания», отн. ед.	Допустимое ( $A_{\text{доп.}}$ ) содерж. радионук- лидов в продуктах питания, Бк/кг
1	торфяная		грибы	грибы свежие	$10 \cdot 10^{-3}$	1	370
2	-//-		грибы	грибы сухие	$10 \cdot 10^{-3}$	7	2500
3	-//-		клюква	ягоды клюквы	$15 \cdot 10^{-4}$	1	185
4	серая лесная		черника	ягоды черники	$1 \cdot 10^{-3}$	1	185
5	-//-		естественные травы (сено)	мясо дикого кабана	$8 \cdot 10^{-3}$	0,3	500
6	торфяная	рожь (зерно)		хлеб	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,01	40
7	-//-	пшеница (зерно)		хлеб	$0,1 \cdot 10^{-3}$	0,02	40
8	-//-	много- летние травы (сено)		молоко	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,05	100
9	песчаная	гречиха		крупа	$0,75 \cdot 10^{-3}$	0,5	60
10	-//-	картофель		картофельные клубни	$0,2 \cdot 10^{-3}$	0,9	80
11	-//-	пшеница (зерно)		хлеб	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,02	40
12	супесчаная	томаты		помидор	$0,06 \cdot 10^{-3}$	1	100

Окончание табл. П.2.1

№ варианта	Тип почвы	Сельхоз-продукция	Лесные растения	Продукт питания	$K_n$ «почва – сельхоз-продукция», м <sup>2</sup> /кг	$K_n$ «сельхоз-продукция – продукт питания», отн. ед.	Допустимое ( $A_{\text{доп.}}$ ) содерж. радионуклидов в продуктах питания, Бк/кг
13	-//-	много-летние травы (сено)		молоко	$4 \cdot 10^{-3}$	0,05	100
14	легко-суглинистая	пшеница (зерно)		мука	$0,06 \cdot 10^{-3}$	0,04	60
15	-//-	картофель		картофельные клубни	$0,1 \cdot 10^{-3}$	0,9	80
16	-//-	клевер (сено)		молоко	$2 \cdot 10^{-3}$	0,05	100
17	средне-суглинистая	картофель		картофельные клубни	$0,8 \cdot 10^{-4}$	0,9	80
18	-//-	гречиха		крупа	$0,15 \cdot 10^{-3}$	0,5	60
19	-//-	много-летние травы (сено)		молоко	$2 \cdot 10^{-3}$	0,05	100
20	тяжелосуглинистая	пшеница (зерно)		мука	$0,5 \cdot 10^{-4}$	0,04	60
21	-//-	картофель		картофельные клубни	$0,5 \cdot 10^{-4}$	0,9	80
22	-//-	клевер (сено)		молоко	$1 \cdot 10^{-3}$	0,05	100
23	чернозем выщелоченный	пшеница (зерно)		мука	$0,4 \cdot 10^{-4}$	0,04	60
24	-//-	картофель		картофельные клубни	$0,3 \cdot 10^{-4}$	0,9	80
25	-//-	клевер (сено)		молоко	$0,7 \cdot 10^{-4}$	0,05	100

### Приложение 3

Таблица П.3.1

#### Коэффициенты линейного ослабления гамма-излучения для различных материалов ( $\mu$ , $\text{см}^{-1}$ )

$E\gamma, K_{\text{эв}}$	Материал защиты, плотность ( $\text{г}/\text{см}^3$ )				
	Вода 1,0	Алюминий 2,7	Бетон 2,3	Железо 7,8	Свинец 11,3
50	0,340	0,912	0,800	5,84	124
100	0,171	0,456	0,397	2,92	62,1
150	0,15	0,39	0,35	2,1	36,4
200	0,137	0,329	0,291	1,15	10,7
300	0,119	0,281	0,251	0,864	4,28
400	0,106	0,25	0,224	0,738	2,5
511	0,095	0,225	0,200	0,650	1,7
600	0,090	0,21	0,19	0,6	1,35
662	0,086	0,2	0,18	0,57	1,18
750	0,079	0,185	0,17	0,53	0,99
900	0,075	0,175	0,16	0,5	0,9
1000	0,071	0,166	0,15	0,47	0,8

## Приложение 4

Таблица П.4.1

### Органы и ткани накопления радионуклидов и их масса для стандартного человека ( $m_{\text{чел}} = 70 \text{ кг}$ )

№ п/п	Радионуклид	Критический орган или ткань	$T_{1/2}$	$T_b$ , сут	Масса органа или ткани, кг, (Мг)	Коэфф. накопл., отн. ед (раст-я форма), (Кг)
1	Cu – 64	Красный костный мозг	12,8 час	300	1,5	0,003
2	I – 133	Щитовидная железа	21 час	30	0,02	0,01
3	Mo – 99	Кожа	66 час	150	2,6	0,007
4	J – 131	Щитовидная железа	81 сут	30	0,02	0,01
5	Ba – 140	Толстый кишечник	12 сут	90	0,37	0,001
6	Pu – 238	Костная ткань	88 лет	500	9,0	0,005
7	Ce – 141	Мочевой пузырь	33 сут	50	0,045	0,002
8	Ru – 103	Половые железы	39 сут	200	0,075	0,005
9	Sr – 89	Красный костный мозг	51 сут	300	1,5	0,003
10	Zr – 95	Кожа	64 сут	150	2,6	0,007
11	Am – 241	Легкие	433 сут	20	1,0	0,5
12	Zn – 65	Молочная железа	244 сут	40	0,1	0,001
13	Ce – 144	Мочевой пузырь	284 сут	50	0,045	0,002
14	Co – 57	Красный костный мозг	271 сут	300	1,5	0,003
15	Mn – 54	Желудок	312 сут	90	0,15	0,0001
16	Pu – 240	Костная ткань	$6,5 \cdot 10^3$ лет	500	9,0	0,005
17	Ru – 106	Половые железы	368 сут	200	0,075	0,005
18	Cs – 134	Мышцы	2,1 лет	100	28	0,05
19	Pu – 239	Костная ткань	$2,4 \cdot 10^4$ лет	500	9,0	0,005
20	U – 238	Легкие	$4,5 \cdot 10^9$ лет	20	1,0	0,5
21	Fe – 55	Красный костный мозг	2,7 лет	300	1,5	0,003
22	Sb – 125	Печень	2,8 лет	20	1,8	0,02
23	Sr – 90	Красный костный мозг	28 лет	300	1,5	0,003
24	Cs – 137	Мышцы	30 лет	100	28	0,05
25	Ra – 226	Мышцы	1600 лет	100	28	0,05

## Приложение 5

Таблица П.5.1

### Значения взвешивающих коэффициентов излучения

Вид излучения	$W_R$
Фотоны любых энергий	1
Электроны любых энергий, $\beta$ -излучение	1
Нейтроны $E < 10$ кэВ	5
$E = 10 \div 100$ кэВ	10
$E = 100$ кэВ $\div$ 2 мэВ	20
$E = 2 \div 20$ мэВ	10
$E > 20$ мэВ	5
Протоны с энергией $> 2$ мэВ	5
$\alpha$ -частицы, осколки деления, ядра отдачи	20

## Приложение 6

Таблица П.6.1

### Значения взвешивающих коэффициентов органов и тканей

Ткань или орган	$W_T$
Половые железы	0,2
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Толстый кишечник	0,12
Желудок	0,12
Молочные железы	0,05
Щитовидная железа	0,05
Мочевой пузырь	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Кожа	0,01
Костная ткань	0,01
Остальные органы	0,05



## Содержание

Введение .....	3
1. Прогнозирование и оценка обстановки при авариях на объектах со взрыво- и пожароопасной технологией .....	5
2. Оценка инженерной защиты на хозяйственном объекте .....	14
3. Оценка обстановки в зонах катастрофического затопления .....	22
4. Оценка обстановки при радиационных авариях .....	28
Литература .....	40
Приложения .....	41

Учебное издание

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

**Практикум  
по одноименному курсу  
для студентов всех специальностей  
дневной формы обучения**

Автор-составитель: **Чунихин** Леонид Александрович  
**Крючек** Николай Семенович

Редактор *Л. Ф. Теплякова*  
Компьютерная верстка *Н. В. Широглазова*

Подписано в печать 28.06.06.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Ризография. Усл. печ. л. 2,91. Уч. - изд. л. 2,92.  
Изд. № 85.

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.  
E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)  
<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе  
Учреждения образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого».  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.