

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра безопасности производств**

**Допущены**

к проведению занятий в 2016-2017 уч. году  
Заведующий кафедрой Безопасности  
производств  
профессор Коршунов Г.И.

«1» сентября 2016 г.

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

**для проведения практических занятий по учебной дисциплине**

### **«НОКСОЛОГИЯ»**

**Специальность (направление подготовки): 20.03.01 «Техносферная безопасность»**

**Специализация (профиль): Безопасность технологических процессов и производств**

**Разработал: доцент Ковшов С.В.**

*Обсуждены и одобрены на заседании кафедры  
Протокол № 1 от 29.08.2016 г.*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2016**

## Практическая работа №1

### **Система оценки опасностей при возникновении чрезвычайной ситуации**

## **Введение**

На определенных этапах истории человеческие сообщества испытывали и продолжают испытывать на себе воздействие негативных факторов, именуемых по-разному - бедствие, катастрофа, катаклизм, чрезвычайная ситуация. Наиболее общий признак всех вышеперечисленных понятий - это выход за рамки нормального, привычного. Например, слово экстремальный (от лат. *extremum* - крайний) означает крайний, выходящий за рамки обычного по трудности, сложности.

В широком смысле чрезвычайную ситуацию можно определить как совокупность сложившихся к данному моменту негативных факторов, создающих определенную обстановку, в которой происходит существенное отклонение от нормального процесса. Под нормальным понимается такое протекание процесса или явления, к которому население и производство приспособились путем длительной эволюции, опыта, развития, отклонение от которого воспринимается как негативное.

Между экстремальной и чрезвычайной ситуацией существует отличие. Как правило, экстремальная ситуация имеет отношение к человеку или группе людей, которая требует для выживания мобилизации значительного количества индивидуальных ресурсов. Чрезвычайная ситуация - более общее понятие, которое предполагает помимо общей оценки сложившейся негативной обстановки привлечение различных ресурсов для ее ликвидации, которые этой обстановкой не затронуты. Экстремальная ситуация является как бы составной частью чрезвычайной ситуации.

Для более точного и полного понимания определения чрезвычайной ситуации необходимо разобрать элементы, из которых она складывается. Чрезвычайная ситуация условно состоит из четырех взаимосвязанных между собой элементов:

1. Чрезвычайный фактор (событие, происшествие, воздействие).
2. Чрезвычайные (экстремальные) условия.
3. Последствия.
4. Обстановка.

Все четыре элемента чрезвычайной ситуации взаимосвязаны и взаимообусловлены. Связующим звеном этих элементов выступает понятие «опасность».

Успешность защитных мероприятий при возникновении чрезвычайных ситуаций, во многом, зависит от квантификации опасностей, т.е. от выявления и определения параметров этих потенциальных негативных явлений. Именно определению базовых параметров опасностей, возникающих при чрезвычайных ситуациях техногенной природы посвящены методические указания.

### **1. Назначение методики**

а) порядок проведения предварительной укрупненной оценки вредного воздействия на здоровье и безопасность людей при возможных авариях, связанных с наличием больших количеств пожароопасных, взрывоопасных и токсичных химических веществ;

б) количественные характеристики опасности и алгоритмы их расчета.

#### ***Основные понятия:***

*Под сценарием или типом аварии* понимается характерный вариант развития аварийного процесса. Источником воздействия или опасности являются:

- а) элементы основной и вспомогательной технологий;
- б) хранилища;
- в) средства транспорта.

Объектом воздействия является персонал предприятия и население, проживающее на прилегающей территории. Каждый такой объект с позиции оценки опасности характеризуется вместимостью (максимальным числом одновременно присутствующих людей).

#### ***Определяемые характеристики:***

Количественными характеристиками вредного воздействия источника являются:

1) Возможные безвозвратные потери. Под безвозвратными потерями будем понимать количество смертельных случаев в результате аварии.

2) Возможные санитарные потери. Под санитарными потерями будем понимать количество пострадавших, нуждающихся в госпитализации.

3) Ожидаемая частота аварий.

Источник воздействия относится к категории потенциально опасных, а возможная авария считается крупной, если ожидаемые безвозвратные людские потери составляют не менее 10 человек (в соответствии с «Методикой оперативной оценки потенциальной опасности объектов народного хозяйства»).

Безвозвратные и санитарные потери определяются количеством людей, находящихся в пределах зон безвозвратного и санитарного поражения.

Под зонами поражения понимаются участки территории, для которых интенсивность возникающих в результате аварии поражающих факторов достаточна для причинения людям поражения соответствующей тяжести.

**Критерии для определения тяжести поражения:**

*Тепловое излучение.* Смертельное поражение получают 100% людей находящихся в непосредственном контакте с огнем, т.е. в пределах пожара или вспышки, а также на пути огневого шара или столба.

Санитарное поражение получают люди в тех местах, где тепловое облучение достаточно для образования ожогов второй степени на открытых частях тела (поток излучения более 7 кВт/м<sup>2</sup> в течение 30 секунд).

*Взрыв.* Критерии поражения в этом случае зависят от типа источника вызвавшего взрыв. Смертельное поражение при взрыве газового облака получают 100% людей, находящихся в пределах облака газа, причиной смерти будут ожоги и асфиксия от недостатка кислорода.

При детонации конденсированного взрывчатого вещества смертельное поражение от ударной волны и разлета обломков получают люди в непосредственной близости от места взрыва (10...100 м).

Санитарное поражение при взрыве получают люди в тех местах, где максимальное избыточное давление ударной волны больше 0,1 атм (10 кПа).

## **2. Классификация опасных веществ**

Оценка опасности проводится для следующих трех групп опасных веществ:

П - пожароопасных; ПВ – пожаро - и взрывоопасных; В - взрывоопасных;

Вещества каждой группы подразделяются на классы в зависимости от агрегатного состояния при нормальных давлении и температуре, а также, условия хранения, переработки или транспортировки:

А - горючие жидкости;

Б - горючие газы, сжиженные сжатием;

В - горючие газы, сжиженные охлаждением;

Г - горючие газы под давлением;

Д - взрывоопасные вещества;

Вещества каждого класса подразделяются по степени опасности, которая характеризует:

а) интенсивность развития аварийных процессов;

б) силу воздействия поражающих факторов.

Степень опасности задается целым числом:

1 - очень низкая;

2 - низкая;

3 - средняя;

4 - высокая;

5 - очень высокая;

6 - чрезвычайно высокая.

В ряде случаев степень опасности вещества может варьироваться в зависимости от класса вещества и обстоятельств аварии.

*Горючие жидкости.* Горючие жидкости подразделяются на две категории в зависимости от возможных физических эффектов при развитии аварии:

а) Горючие жидкости, для которых существенен только пожар разлития (около 100 веществ):

- ацетон;

- бензол;

- дизельное топливо;

- керосин;
- изобутанол;
- хлорбензол;
- циклогексан.

б) Горючие жидкости, для которых возможен также взрыв газового облака (примерно 10 веществ):

- бензин;
- газовый конденсат;
- диэтиловый эфир;
- сероуглерод;
- циклопентан.

Категория жидкости определяется давлением паров при температуре 20 °С жидкости с давлением паров  $P_v > 30$  кПа, могут образовывать взрывоопасное газовое облако.

*Горючие газы.* Горючие газы, сжиженные охлаждением, подразделяются на две степени опасности в зависимости от температуры кипения. Различия в физических эффектах, обусловленных условиями хранения газа, учитываются в параметризациях размеров зон поражения.

Для газов с температурой кипения  $T > 235$  °К степень опасности равна 3, для остальных газов – 4.

*Горючие газы 3 степени опасности:*

- бутан;
- дивинил;
- изобутилен;
- уксусный альдегид;
- этилхлорид.

*Горючие газы 4 степени опасности:*

- водород;
- изобутан;
- метан;
- природный газ;
- пропан;
- этан.

*Взрывоопасные вещества:*

- аммиачная селитра;
- гремучая ртуть;
- динамит;
- нитроглицерин;
- перекись бензоила;
- тринитротолуол;
- черный порох.

### **3. Сценарии аварий и формы зон поражения**

Возможны следующие сценарии развития аварий:

*Для горючих жидкостей (класс А):*

- A1 – пожар разлития;
- A2 – взрыв газового облака.

*Для горючих газов сжиженных сжатием (класс Б):*

- B1 – взрыв вскипания «BLEVE»;
- B2 – взрыв мгновенного выброса;
- B3 – взрыв вытекающей жидкости.

*Для горючих газов сжиженных охлаждением (класс В):*

- B1 – пожар разлития.

*Для горючих газов сжатых давлением (класс Г):*

- G1 – пожар.

*Для взрывчатых веществ (класс Д):*

- D1 – взрыв.

### **Формы зон поражения**

Зоны безвозвратного и санитарного поражения задаются формой, размерами и расположением относительно источника воздействия.

Граница каждой из зон поражения может быть аппроксимирована:

О - окружностью;

П - прямоугольником.

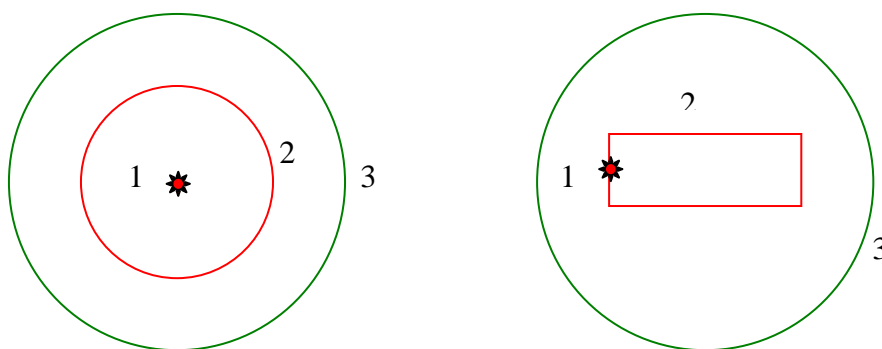
Для зоны поражения в виде круга размер задается радиусом круга R.

Для прямоугольной зоны поражения размеры задаются длиной L и шириной W. Длина отсчитывается вдоль оси симметрии прямоугольника, проходящей через источник воздействия.

Для относительного расположения зон безвозвратного и санитарного поражения возможны два варианта (рис. 3.1):

- В1 - зоны поражения имеют форму концентрических кругов, их центр совпадает с источником воздействия (Форма 1);

- В2 - зона безвозвратного поражения имеет форму прямоугольника, источник воздействия расположен на границе зоны. Зона санитарного поражения имеет форму круга, центр которого совпадает с центром зоны безвозвратного поражения (Форма 2):



Форма 1 (Ф-1)

Форма 2 (Ф-2)

1 – источник воздействия;

2 – граница зоны безвозвратного поражения;

3 – граница зоны санитарного поражения

Рис. 3.1. Формы зон поражения

### **4. Методика расчета**

#### **Допущения, принятые в методике**

1. В методике использованы приближенные алгоритмы, ориентированные на получение максимальных вероятных количественных оценок опасности.

2. Предполагается, что интенсивность развития аварийных процессов является максимальной и в них вовлечен весь объем опасного вещества.

3. Оценки параметров рассеяния облаков опасных веществ выполнены для погодных условий с нейтральным состоянием приземного слоя атмосферы и скоростью ветра 5 м/с.

4. Подразделение веществ по степеням опасности выполнено таким образом, что для 80...90% веществ с данной степенью опасности размеры зон поражения меньше, чем рассчитанные с помощью алгоритмов, изложенных в методике.

#### **Расчет людских потерь**

Если есть данные о фактическом распределении людей на объекте то, рисуем зоны на Генплане объекта или на карте и определяем, сколько людей попало в ту или иную зону. Если этих данных нет, то рассчитываем или максимальные, или средние потери.

#### **Расчет максимальных людских потерь**

Расчет максимальных людских потерь производится исходя из данных о зонах безвозвратного и санитарного поражения, а также Расположения на местности источника и объектов воздействия. Безвозвратные потери равны числу людей, попадающих в пределы зоны безвозвратного поражения. Санитарные потери равны числу людей, падающих в пределы части зоны санитарного поражения, находящуюся вне зоны безвозвратного поражения. В случае асимметричного расположения зоны безвозвратного поражения относительно источника

воздействия выбирается такая ее ориентация, при которой безвозвратные потери имеют максимальное значение.

Если для источника воздействия возможны несколько сценариев аварии, то для получения итоговых оценок выбирается сценарий, приводящий к наибольшим безвозвратным людским потерям.

В случае отсутствия детальных сведений о распределении объектов воздействия вблизи источника для приближенной оценки людских потерь можно использовать соотношение:

$$N = R \cdot S_a$$

где:  $N$  - величина потерь. Индекс «а» задает тип поражения (Б, С).

$R$  - плотность населения в окрестности источника воздействия.

$S_b$  - площадь зоны безвозвратного поражения.

$S_c$  - площадь части зоны санитарного поражения, расположенной вне зоны безвозвратного поражения.

Стандартные плотности населения для различных типов заселения и использования территорий приведены в Приложении 1.

#### *Расчет средних людских потерь*

Расчет средних людских потерь производится в случае асимметричного расположения зон поражения и неравномерного распределения объектов воздействия в окрестности источника воздействия.

Средние людские потери определяются в зависимости от размеров зон потенциального поражения. К последним относятся все те участки, где люди могут получить поражение соответствующей тяжести при какой-либо ориентации зоны поражения. Каждая из зон потенциального поражения имеет форму круга, центр которого совпадает с источником воздействия, а радиус равен расстоянию до наиболее удаленной от источника точки зоны поражения.

Средние потери определяются по формуле:

$$N_{a.c.p.} = \frac{N_{a.n.} \cdot S_a}{S_{a.n.}}$$

где  $N_{a.n.}$  - количество людей находящихся в пределах зоны потенциального безвозвратного или санитарного поражения;

$S_{a.n.}$  - ее площадь.

#### *Списки особо важных объектов воздействия*

При наличии особо важных объектов воздействия в пределах зон потенциального безвозвратного или санитарного поражения их списки прилагаются к итоговым оценкам людских потерь.

#### *Определение априорных частот аварий*

Ожидаемая частота аварии зависит от сценария развития аварии, а также вида, уровня безопасности и интенсивности функционирования источника воздействия. Сведения об ожидаемых частотах аварий приведены в Приложении 2.

Источники воздействия подразделяются на следующие виды:

- 1) автомобильный транспорт;
- 2) водный транспорт;
- 3) железнодорожный транспорт;
- 4) трубопроводный транспорт;
- 5) хранение;
- 6) переработка.

Уровень безопасности источника воздействия оценивается как высокий, средний или низкий в соответствии с этим используется низкое, среднее или высокое значение частоты аварий.

## **5. Практические задания**

**Задание 1.** Определить расстояние теплового поражения людей при горении штабеля досок (длина штабеля  $a$ , высота штабеля  $h$ ) (табл. 5.1).

**Задание 2.** При транспортной аварии разлилось по поверхности земли и загорелось  $m$  тонн нефтепродуктов. Найти радиус теплового поражения людей.

**Задание 3.** Определить радиус теплового поражения людей при горении деревянного дома (длина дома  $a$ , высота до конька крыши дома  $b$ ).

**Задание 4.** Найти минимальное расстояние, на котором могут быть построены два деревянных дома (длина первого дома  $a_1$ , второго –  $a_2$ , высота до конька крыши первого дома  $b_1$ , второго –  $b_2$ ).

Таблица 5.1

Варианты заданий									
№	Задание 1		Задание 2	Задание 3		Задание 4			
	$a$ , м	$h$ , м		$a$ , м	$b$ , м	Дом 1		Дом 2	
			$m$ , т			$a_1$ , м	$b_1$ , м	$a_2$ , м	$b_2$ , м
1	1,7	1	14	4	6	4	6	6,5	8
2	1,5	1	6	5	7	5	7	8	9,2
3	2	1	8	6	8	6	8	8	11
4	2	1,5	9	9	11	9	11	8	8
5	2,5	1	10	7	9	7	9	9	7,3
6	2,5	1,3	12	6,5	5	6,5	5	10	10
7	3	2	13	7	7	7	7	7,5	8
8	3	1	15	7	10	7	10	8	11
9	3	1,5	17	8	10	8	10	4	6,6
10	4	1	19	5	7,5	5	7,5	5	7
11	4	1,5	20	6,5	8	6,5	8	4	6
12	4	2	24	8	9,2	8	9,2	5	7
13	4,5	3	25	8	11	8	11	6	8
14	4,5	2	30	8	8	8	8	9	11
15	4,5	1,5	28	9	7,3	9	7,3	7	9
16	5,5	4	34	10	10	10	10	6,5	5
17	5,5	1	38	7,5	8	7,5	8	7	7
18	6	4	18	8	11	8	11	7	10
19	5	4	45	4	6,6	4	6,6	8	10
20	4	1,4	50	5	7	5	7	5	7,5
21	6,5	3	55	6	8	6	8	4	6
22	4,7	2,3	60	9	11	9	11	5	7
23	6,8	3	65	7	9,5	7	9,5	6	8
24	1,7	1	40	6,5	5,4	6,5	5,4	9	11
25	1,5	1	26	7	7,5	7	7,5	7	9
26	2	1	48	7	10	7	10	6,5	5



*Стандартные плотности населения*

<b>Характеристика района</b>	<b>Плотность, чел/км<sup>2</sup></b>
Отдельный жилой район	100
Жилой район с единичной застройкой	500
Тихий жилой район	2500
Оживленный жилой район	7000
Городской жилой район	12000
Промышленная зона низкой плотности	500
Промышленная зона средней плотности	4000
Промышленная зона высокой плотности	8000
Небольшой торговый центр или район	10000
Средний торговый центр или район	50000
Большой торговый центр или район	100000
Малопосещаемая зона отдыха и занятий спортом	2500
Интенсивно используемая зона отдыха и занятий спортом	50000
Очень интенсивно используемая зона отдыха и занятий спортом	250000

## Практическая работа №2

**Оценка опасности, связанной с  
возможными авариями при производстве,  
хранении, использовании и  
транспортировке больших количеств  
пожароопасных, взрывоопасных и  
токсичных веществ**

## **Введение**

Ноксология – наука об опасностях материального мира Вселенной. Ноксология изучает происхождение и совокупное действие опасностей, описывает зоны и показатели их влияния, оценивает ущерб, наносимый человеку и природе.

Одной из ключевых задач, отражающих практическое назначение ноксологии, является изучение принципов минимизации опасностей в источниках и защиты от них в пределах опасных зон. Такие зоны зачастую возникают при производстве, хранении, использовании и транспортировке больших количеств пожароопасных, взрывоопасных и токсичных веществ.

Будущим инженерам для успешного решения вопросов прогнозирования аварий и минимизации их последствий необходимо знать и целесообразно применять основные подходы по оценке их опасности.

### **1. Назначение методики**

а) порядок проведения предварительной укрупненной оценки вредного воздействия на здоровье и безопасность людей при возможных авариях, связанных с наличием больших количеств пожароопасных, взрывоопасных и токсичных химических веществ;

б) количественные характеристики опасности и алгоритмы их расчета.

#### ***Основные понятия:***

*Под сценарием или типом аварии* понимается характерный вариант развития аварийного процесса. Источником воздействия или опасности являются:

а) элементы основной и вспомогательной технологий;

б) хранилища;

в) средства транспорта.

Объектом воздействия является персонал предприятия и население, проживающее на прилегающей территории. Каждый такой объект с позиции оценки опасности характеризуется вместимостью (максимальным числом одновременно присутствующих людей).

#### ***Определяемые характеристики:***

Количественными характеристиками вредного воздействия источника являются:

1) Возможные безвозвратные потери. Под безвозвратными потерями будем понимать количество смертельных случаев в результате аварии.

2) Возможные санитарные потери. Под санитарными потерями будем понимать количество пострадавших, нуждающихся в госпитализации.

3) Ожидаемая частота аварий.

Источник воздействия относится к категории потенциально опасных, а возможная авария считается крупной, если ожидаемые безвозвратные людские потери составляют не менее 10 человек (в соответствии с «Методикой оперативной оценки потенциальной опасности объектов народного хозяйства»).

Безвозвратные и санитарные потери определяются количеством людей, находящихся в пределах зон безвозвратного и санитарного поражения.

Под зонами поражения понимаются участки территории, для которых интенсивность возникающих в результате аварии поражающих факторов достаточна для причинения людям поражения соответствующей тяжести.

#### ***Критерии для определения тяжести поражения:***

*Тепловое излучение.* Смертельное поражение получают 100% людей находящихся в непосредственном контакте с огнем, т.е. в пределах пожара или вспышки, а также на пути огневого шара или столба.

Санитарное поражение получают люди в тех местах, где тепловое облучение достаточно для образования ожогов второй степени на открытых частях тела (поток излучения более  $7 \text{ кВт/м}^2$  в течение 30 секунд).

*Взрыв.* Критерии поражения в этом случае зависят от типа источника вызвавшего взрыв. Смертельное поражение при взрыве газового облака получают 100% людей, находящихся в пределах облака газа, причиной смерти будут ожоги и асфиксия от недостатка кислорода.

При детонации конденсированного взрывчатого вещества смертельное поражение от ударной волны и разлета обломков получают люди в непосредственной близости от места взрыва (10...100 м).

Санитарное поражение при взрыве получают люди в тех местах, где максимальное избыточное давление ударной волны больше 0,1 атм (10 кПа).

## 2. Классификация опасных веществ

Оценка опасности проводится для следующих трех групп опасных веществ:

П - пожароопасных; ПВ – пожаро - и взрывоопасных; В - взрывоопасных;

Вещества каждой группы подразделяются на классы в зависимости от агрегатного состояния при нормальных давлении и температуре, а также, условия хранения, переработки или транспортировки:

А - горючие жидкости; Б - горючие газы, сжиженные сжатием;

В - горючие газы, сжиженные охлаждением; Г - горючие газы под давлением;

Д - взрывоопасные вещества;

Вещества каждого класса подразделяются по степени опасности, которая характеризует:

а) интенсивность развития аварийных процессов;

б) силу воздействия поражающих факторов.

Степень опасности задается целым числом:

1 - очень низкая; 2 - низкая; 3 - средняя; 4 - высокая; 5 - очень высокая;

6 - чрезвычайно высокая.

В ряде случаев степень опасности вещества может варьироваться в зависимости от класса вещества и обстоятельств аварии.

*Горючие жидкости.* Горючие жидкости подразделяются на две категории в зависимости от возможных физических эффектов при развитии аварии:

а) Горючие жидкости, для которых существенен только пожар разлива (около 100 веществ):

- ацетон;
- бензол;
- дизельное топливо;
- керосин;
- изобутанол;
- хлорбензол;
- циклогексан.

б) Горючие жидкости, для которых возможен также взрыв газового облака (примерно 10 веществ):

- бензин;
- газовый конденсат;
- диэтиловый эфир;
- сероуглерод;
- циклопентан.

Категория жидкости определяется давлением паров при температуре 20 °С жидкости с давлением паров  $P_v > 30$  кПа, могут образовывать взрывоопасное газовое облако.

*Горючие газы.* Горючие газы, сжиженные охлаждением, подразделяются на две степени опасности в зависимости от температуры кипения. Различия в физических эффектах, обусловленных условиями хранения газа, учитываются в параметризациях размеров зон поражения.

Для газов с температурой кипения  $T > 235$  °К степень опасности равна 3, для остальных газов – 4.

*Горючие газы 3 степени опасности:*

- бутан;
- дивинил;
- изобутилен;
- уксусный альдегид;
- этилхлорид.

*Горючие газы 4 степени опасности:*

- водород;
- изобутан;
- метан;
- природный газ;
- пропан;
- этан.

*Взрывоопасные вещества:*

- аммиачная селитра;
- ртуть;
- динамит;
- нитроглицерин;
- перекись бензоила;
- тринитротолуол;
- черный порох.

### 3. Сценарии аварий и формы зон поражения

Возможны следующие сценарии развития аварий:

*Для горючих жидкостей (класс А):*

А1 – пожар разлива;

А2 – взрыв газового облака.

*Для горючих газов сжиженных сжатием (класс В):*

В1 – взрыв вскипания «BLEVE»;

В2 – взрыв мгновенного выброса;

В3 – взрыв вытекающей жидкости.

*Для горючих газов сжиженных охлаждением (класс В):*

В1 – пожар разлива.

*Для горючих газов сжатых давлением (класс Г):*

Г1 – пожар.

*Для взрывчатых веществ (класс Д):*

Д1 – взрыв.

#### Формы зон поражения

Зоны безвозвратного и санитарного поражения задаются формой, размерами и расположением относительно источника воздействия (рис. 3.1).

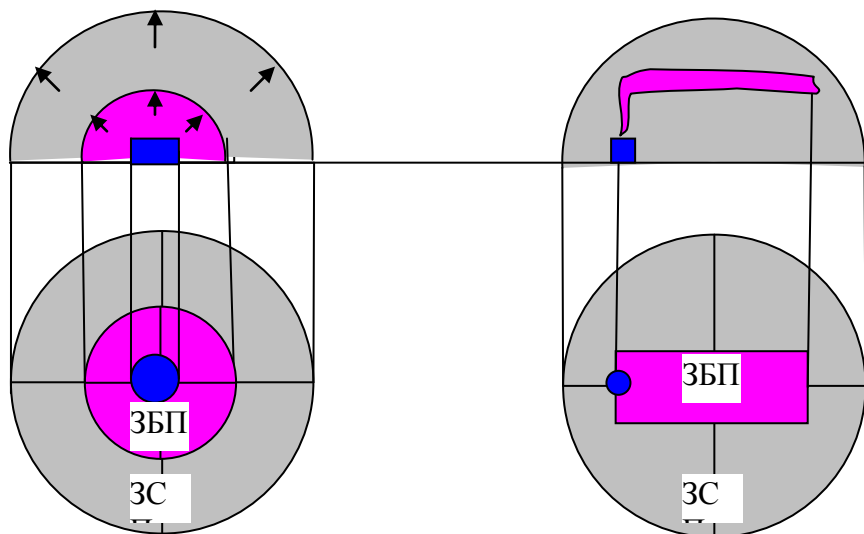


Рис. 3.1. Схема формирования зон поражения

Граница каждой из зон поражения может быть аппроксимирована:

О - окружностью;

П - прямоугольником.

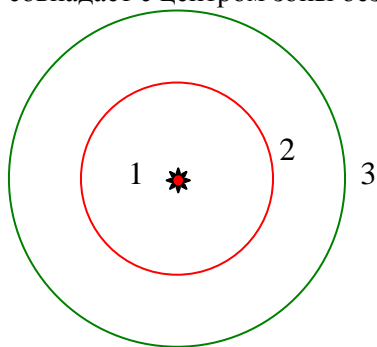
Для зоны поражения в виде круга размер задается радиусом круга R.

Для прямоугольной зоны поражения размеры задаются длиной L и шириной W. Длина отсчитывается вдоль оси симметрии прямоугольника, проходящей через источник воздействия.

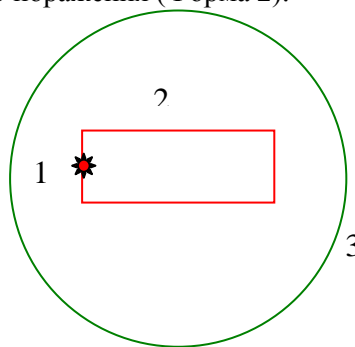
Для относительного расположения зон безвозвратного и санитарного поражения возможны два варианта (рис. 3.2):

**в1** - зоны поражения имеют форму концентрических кругов, их центр совпадает с источником воздействия (Форма 1);

**в2** - зона безвозвратного поражения имеет форму прямоугольника, источник воздействия расположен на границе зоны. Зона санитарного поражения имеет форму круга, центр которого совпадает с центром зоны безвозвратного поражения (Форма 2):



Форма 1 (Ф-1)



Форма 2 (Ф-2)

- 1 – источник воздействия;
- 2 – граница зоны безвозвратного поражения;
- 3 – граница зоны санитарного поражения

Рис. 3.2. Формы зон поражения

#### 4. Методика расчета

##### *Допущения, принятые в методике*

1. В методике использованы приближенные алгоритмы, ориентированные на получение максимальных вероятных количественных оценок опасности.
2. Предполагается, что интенсивность развития аварийных процессов является максимальной и в них вовлечен весь объем опасного вещества.
3. Оценки параметров рассеяния облаков опасных веществ выполнены для погодных условий с нейтральным состоянием приземного слоя атмосферы и скоростью ветра 5 м/с (рис. 4.1).
4. Подразделение веществ по степеням опасности выполнено таким образом, что для 80...90% веществ с данной степенью опасности размеры зон поражения меньше, чем рассчитанные с помощью алгоритмов, изложенных в методике.

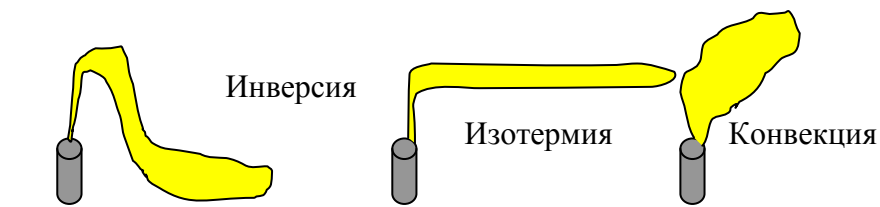


Рис. 4.1. Формы состояния устойчивости атмосферы

##### *Расчет зон поражения*

Линейные размеры зон поражения в большинстве случаев определяются по формуле вида:

$$y = a \times x^b$$

где параметр «х» характеризует количество опасного вещества, вовлеченного в аварию.

Используются также следующие расчетные формулы:

$$y = x^{0,5}$$

$$y = a \times x + b$$

$$y = a$$

Линейные размеры измеряются в метрах, площадь в квадратных метрах, объемы в кубических метрах, вес в тоннах.

Расчет зон поражения производится путем последовательного выполнения ряда процедур.

Для каждого источника воздействия определяется опасное вещество, его класс и при необходимости степень опасности.

В соответствии с классом вещества определяется значение параметра, являющегося количественной характеристикой источника воздействия.

В зависимости от класса вещества отбираются подходящие сценарии развития аварии, для каждого сценария производится расчет линейных размеров зон поражения.

Нужные значения отбираются в соответствии со сценарием и степенью опасности вещества.

#### *Горючие жидкости (класс А) (для ЛВЖ)*

Для горючих жидкостей есть два основных сценария развития аварии:

A1 - пожар разлития – горение вещества разлития испаряющегося с поверхности жидкости. Разлитие возникает при истечении жидкости из технологических емкостей в случае нарушения их целостности.

Пожар разлития возможен для всех веществ данного класса. Форма и относительное расположение зон поражения соответствует (Ф-1). Размеры зон поражения определяются площадью возможного разлития жидкости (параметр «X»). Длина зон поражения определяется по формуле  $Y=a \times X^b$ .

A2 - взрыв газового облака — характеризуется возникновением ударной волны при сгорании смеси паров опасного вещества, его капель и воздуха. Размеры зон поражения определяются площадью возможного разлития жидкости (параметр «X»).

Газовые облака способны образовывать только вещества группы (ПВ). Форма и относительное расположение зон поражения для взрыва газового облака соответствуют (Ф-2). Длина зоны безвозвратного поражения определяется по формуле  $Y=a \times X^b$  а ширина задается соотношением  $W=X^{0.5}$  где параметр X равен площади разлития. Радиус зоны санитарного поражения определяется по формуле  $Y=a \times X^b$ .

#### *Горючие газы, сжиженные сжатием (класс Б)*

Для горючих газов сжиженных сжатием возможны три сценария развития аварии:

Размеры зон поражения определяются весом сниженного газа и зависят от степени опасности газа.

B1 - взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости происходит в случае мгновенного высвобождения сжиженного газа и немедленного возгорания. Резкое падение давления вызывает вскипание жидкости и образование воздушной ударной волны, осколочного поля и мгновенное воспламенение парового облака, сопровождающееся возникновением огневого шара;

Взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости характерен для наземных - хранилищ. Расположение зон поражения соответствует (Ф-1). Радиусы зон определяются по формуле  $Y=a \times X^b$ . В зависимости от степени опасности газа следует использовать различные значения коэффициентов «a» и «b».

B2 - взрыв мгновенного выброса происходит в случае мгновенного высвобождения сжиженного газа с последующим возгоранием. Взрыв газового облака мгновенного выброса характерен для наземных хранилищ емкостью до 50т. Форма и относительное расположение зон поражения соответствуют (Ф-2), размеры зон определяются по формуле  $Y=a \times X^b$ .  $W=a \times X^b$ .

B3 - взрыв газового облака вытекающей жидкости происходит в случае постепенного вытекания сниженного газа с последующим возгоранием.

Взрыв газового облака вытекающей жидкости характерен для перерабатывающих предприятий и подземных хранилищ. Форма и относительное расположение зон поражения соответствуют (Ф-2), размеры зон определяются по формуле  $Y=a \times X^b$ .  $W=a \times X^b$ .

Размеры зон поражения определяются весом сжиженного газа и зависят от степени опасности газа.

#### *Горючие газы, сжиженные охлаждением (класс В)*

Источниками воздействия, где встречаются горючие газы, сжиженные охлаждением, являются хранилища. Характерный сценарий аварии:

B1 – пожар разлития площадью 1500 м<sup>2</sup>.

Расположение зон поражения соответствует (Ф-1) их размеры определяются по формуле  $Y=a \times X+b$ .

#### *Горючие газы под давлением (класс Г)*

Аварии с опасными веществами данного класса для магистральных и распределительных газопроводов, основным сценарием аварии является:

Г1 – пожар.

Зона поражения имеют форму концентрических кругов с центром в месте утечки газа (Ф-1). Радиусы зон зависят от диаметра газопровода (параметр «X») и определяется по формуле  $Y=a \times X+b$ .

#### *Взрывоопасные вещества (класс Д)*

Список взрывоопасных веществ приведен в Приложении 4. Основным сценарием аварии является:

Д1 – взрыв, т.е. быстрое выделение энергии в ограниченном объеме, связанное с внезапным изменением состояния вещества и сопровождающееся разбрасыванием и разрушением окружающей среды.

Форма и расположение зон поражения соответствует Ф-1. Радиусы зон зависят от ТНТ-эквивалента взрывоопасного вещества и определяются по формуле  $Y=a \times X^b$ .

Для приближенного определения ТНТ - эквивалента достаточно вес опасного вещества умножить на 10 для органических пероксидов, оставить без изменения для чистых взрывчатых веществ и разделить на 10 для пиротехнических изделий.

#### *Расчет людских потерь*

Если есть данные о фактическом распределении людей на объекте то, рисуем зоны на Генплане объекта или на карте и определяем, сколько людей попало в ту или иную зону. Если этих данных нет, то рассчитываем или максимальные, или средние потери.

#### *Расчет максимальных людских потерь*

Расчет максимальных людских потерь производится исходя из данных о зонах безвозвратного и санитарного поражения, а также Расположения на местности источника и объектов воздействия. Безвозвратные потери равны числу людей, попадающих в пределы зоны безвозвратного поражения. Санитарные потери равны числу людей, падающих в пределы части зоны санитарного поражения, находящуюся вне зоны безвозвратного поражения. В случае асимметричного расположения зоны безвозвратного поражения относительно источника воздействия выбирается такая ее ориентация, при которой безвозвратные потери имеют максимальное значение.

Если для источника воздействия возможны несколько сценариев аварии, то для получения итоговых оценок выбирается сценарий, приводящий к наибольшим безвозвратным людским потерям.

В случае отсутствия детальных сведений о распределении объектов воздействия вблизи источника для приближенной оценки людских потерь можно использовать соотношение:

$$N = R \times S_a$$

где: N - величина потерь. Индекс «а» задает тип поражения (Б, С).

R - плотность населения в окрестности источника воздействия.

$S_b$  - площадь зоны безвозвратного поражения.

$S_c$  - площадь части зоны санитарного поражения, расположенной вне зоны безвозвратного поражения.

Стандартные плотности населения для различных типов заселения и использования территорий приведены в Приложении 5.

#### *Расчет средних людских потерь*

Расчет средних людских потерь производится в случае асимметричного расположения зон поражения и неравномерного распределения объектов воздействия в окрестности источника воздействия.

Средние людские потери определяются в зависимости от размеров зон потенциального поражения. К последним относятся все те участки, где люди могут получить поражение соответствующей тяжести при какой-либо ориентации зоны поражения. Каждая из зон потенциального поражения имеет форму круга, центр которого совпадает с источником воздействия, а радиус равен расстоянию до наиболее удаленной от источника точки зоны поражения.

Средние потери определяются по формуле:

$$N_{a,ср.} = N_{a,п} \times S_a / S_{a,п}$$



где  $N_{a.п}$  - количество людей находящихся в пределах зоны потенциального безвозвратного или санитарного поражения;  
 $S_{a.п}$  - ее площадь.

#### Списки особо важных объектов воздействия

При наличии особо важных объектов воздействия в пределах зон потенциального безвозвратного или санитарного поражения их списки прилагаются к итоговым оценкам людских потерь.

#### Определение априорных частот аварий

Ожидаемая частота аварии зависит от сценария развития аварии, а также вида, уровня безопасности и интенсивности функционирования источника воздействия. Сведения об ожидаемых частотах аварий приведены в Приложении 6.

Источники воздействия подразделяются на следующие виды:

- 1) автомобильный транспорт;
- 2) водный транспорт;
- 3) железнодорожный транспорт;
- 4) трубопроводный транспорт;
- 5) хранение;
- 6) переработка.

Уровень безопасности источника воздействия оценивается как высокий, средний или низкий в соответствии с этим используется низкое, среднее или высокое значение частоты аварий.

### 5. Практические задания

**Задание 1.** Определить расстояние теплового поражения людей при горении штабеля досок (длина штабеля  $a$ , высота штабеля  $h$ ) (табл. 5.1).

**Задание 2.** При транспортной аварии разлилось по поверхности земли и загорелось  $m$  тонн нефтепродуктов. Найти радиус теплового поражения людей.

**Задание 3.** Определить радиус теплового поражения людей при горении деревянного дома (длина дома  $a$ , высота до конька крыши дома  $b$ ).

**Задание 4.** Найти минимальное расстояние, на котором могут быть построены два деревянных дома (длина первого дома  $a_1$ , второго –  $a_2$ , высота до конька крыши первого дома  $b_1$ , второго –  $b_2$ ).

Таблица 5.1

№	Варианты заданий								
	Задание 1		Задание 2	Задание 3		Задание 4			
	$a$ , м	$h$ , м		$a$ , м	$b$ , м	Дом 1		Дом 2	
			$m$ , т			$a_1$ , м	$b_1$ , м	$a_2$ , м	$b_2$ , м
1	1,7	1	14	4	6	4	6	6,5	8
2	1,5	1	6	5	7	5	7	8	9,2
3	2	1	8	6	8	6	8	8	11
4	2	1,5	9	9	11	9	11	8	8
5	2,5	1	10	7	9	7	9	9	7,3
6	2,5	1,3	12	6,5	5	6,5	5	10	10
7	3	2	13	7	7	7	7	7,5	8
8	3	1	15	7	10	7	10	8	11

9	3	1,5	17	8	10	8	10	4	6,6
10	4	1	19	5	7,5	5	7,5	5	7
11	4	1,5	20	6,5	8	6,5	8	4	6
12	4	2	24	8	9,2	8	9,2	5	7
13	4,5	3	25	8	11	8	11	6	8
14	4,5	2	30	8	8	8	8	9	11
15	4,5	1,5	28	9	7,3	9	7,3	7	9
16	5,5	4	34	10	10	10	10	6,5	5
17	5,5	1	38	7,5	8	7,5	8	7	7
18	6	4	18	8	11	8	11	7	10
19	5	4	45	4	6,6	4	6,6	8	10
20	4	1,4	50	5	7	5	7	5	7,5
21	6,5	3	55	6	8	6	8	4	6
22	4,7	2,3	60	9	11	9	11	5	7
23	6,8	3	65	7	9,5	7	9,5	6	8
24	1,7	1	40	6,5	5,4	6,5	5,4	9	11
25	1,5	1	26	7	7,5	7	7,5	7	9
26	2	1	48	7	10	7	10	6,5	5

Приложение 1

**Коэффициенты расчета зон поражения**

Сценарий	Степень опасности	Тип зоны	Размер зоны	a	b	Формула
A1 (пожар разлития)		Б	R	0,56	0,5	X – площадь разлития
		С	R	3,02	0,46	$Y=a \times X^b$
A2 (взрыв газового облака)		Б	L	0,24	0,62	$L=a \times X^b$ ; $W=X^{0,5}$
		С	R	0,61	0,54	$Y=a \times X^b$
B1 (взрыв BLEVE)	3	Б	R	26,9	0,30	X – вес сжиженного газа
		С	R	102	0,32	$Y=a \times X^b$
	4	Б	R	33,9	0,30	
		С	R	138	0,32	
B2 (взрыв выброса)	3	Б	L	68,5	0,46	$L=a \times X^b$ ;
			W	8,7	0,33	$W=a \times X^b$
		С	R	52	0,39	$Y=a \times X^b$
	4	Б	L	152	0,34	
			W	12,9	0,33	
		С	R	72,5	0,37	
B3 (взрыв вытекания)	3	Б	L	27,5	0,24	$L=a \times X^b$ ;
			W	1,46	0,22	$W=a \times X^b$
		С	R	25,1	0,17	$Y=a \times X^b$
	4	Б	L	66,3	0,22	
			W	2,97	0,22	
		С	R	39,9	0,19	
V1 (пожар разлития)		Б	R	0	23	X – площадь разлития

		C	R	0	120	$Y=a \times X+b$
Г1 (пожар)		Б	R	38,9	-1,7	X – диаметр газопровода
		C	R	105	3	$Y=a \times X+b$
Д1 (взрыв)		Б	R	19,5	0,31	X – вес ВВ×к (к=0,1;1;10)
		C	R	142	0,33	$Y=a \times X^b$

Приложение 2

*Горючие жидкости*

№	Наименование	Группа
1	Аллиловый спирт	П
2	Амиловый спирт	П
3	Ангидрид уксусной кислоты	П
4	Анилин	П
5	Ацеталь	П
6	Ацетон	П
7	Ацетонитрил	П
8	Бензальдегид	П
9	Бензин	ПВ
10	Бензол	П
11	Бромбензол	П
12	Бутилацетат	П
13	Бутилформат	П
14	Винилацетат	П
15	Газовый конденсат	ПВ
16	Гексан	П
17	Гептан	П
18	Гептиловый спирт	П
19	Дизельное	П

№	Наименование	Группа
40	Метанол	П
41	Метилакрилат	П
42	Метилацетат	П
43	Метилметакрилат	П
44	Метилпропионат	П
45	Метилциклогексан	П
46	Метилэтилкетон	П
47	Нафталин	П
48	Окись пропилена	ПВ
49	Октан	П
50	Олеиновая кислота	П
51	Пентан	ПВ
52	Пиперидин	П
53	Пиридин	П
54	Пропаналь	ПВ
55	Пропиловый спирт	П
56	Сероуглерод	ПВ
57	Стирол	П
5	Толуол	П

	топливо, керосин		8		
20	Диизобутилен	П	5 9	Триоксан	П
21	Диметилформа мид	П	6 0	Триэтиламин	П
22	Диметилцикло гексан	П	6 1	Уксусная кислота	П
23	Диоксан	П	6 2	Фенол	П
24	Дихлорпропан	П	6 3	Фурфурол	П
25	Дихлорпропен	П	6 4	Хлорбензол	П
26	Дихлорэтан	П	6 5	Хлористый бутил	П
27	Диэтиламин	П	6 6	Хлорогидрин	П

Окончание прил. 2

28	Диэтилгликол ь	П	6 7	Циклогексан	П
29	Диэтиловый эфир	ПВ	6 8	Циклогексанон	П
30	Диэтилоуголь ный эфир	П	6 9	Циклогексен	П
31	Живица	П	7 0	Циклопентан	ПВ
32	Изоамиловый спирт	П	7 1	Этаноламин	П
33	Изобутанол	П	7 2	Этилакрилат	П
34	Изопрен	ПВ	7 3	Этилацетат	П
35	Изопропанол	П	7 4	Этилбензол	П
36	Изопропиловы й эфир	П	7 5	Этилбромид	ПВ
37	Карбинол фурила	П	7 6	Этиленгликоль	П
38	Коллодий	ПВ	7 7	Этилкремний	П
39	Ксилол	П	7 8	Этилформиат	П

Приложение 3

*Характеристики горючих газов*

Наименование	Группа	Степень опасности	Температура кипения, °К
Бутан	ПВ	3	272
Бутен	ПВ	3	267
Водород	ПВ	4	20

Диметилпропан	ПВ	3	283
Дифторэтан	ПВ	4	248
Изобутан	ПВ	4	261
Изобутилен	ПВ	3	266
Метан	ПВ	4	112
Метилацетилен	ПВ	4	250
Природный газ	ПВ	4	253
Пропадиен	ПВ	4	239
Пропан	ПВ	4	231
Пропен	ПВ	4	225
Уксусный альдегид	ПВ	3	294
Циклопропан	ПВ	4	240
Этилхлорид	ПВ	3	285

Приложение 4

*Взрывоопасные вещества*

Наименование	Наименование	Наименование
1) Азид бария	15) Нитратосодержащие удобрения	29) Трет-бутилпербензоат
2) Азид свинца	16) Нитроглицерин	30) Трет-бутилпероксиацетат
3) Аммиачная селитра	17) Нитрогуанидин	31) Трет-бутилпероксималят
4) Взрывчатые вещества	18) Нитродигликоль	32) Тринитроанилин
5) Гексанитродифениламин	19) Нитромочевина	33) Тринитробензол
6) Гексанитростилбен	20) Перекись бензоила	34) Тринитронизол
7) Гексолит	21) Перекись сукцинила	35) Тринитрорезорцин
8) Гремучая ртуть	22) Пероксид циклогексанона	36) Тринитротолуол
9) Диазотринитрофенол	23) Пикрат амония	37) Тринитрофенил метилнитрамин
10) Динамит	24) Пикрилхлорид	38) Циклонит
11) Динитрорезорцин	25) Пикриновая кислота	39) Циклотетраметилентетранитрамин
12) Динитрофенол	26) Стифнат свинца	40) Циклотриметилентринитрамин

13) Дипикриламин	27) Тетранитроанил ин	41) Черный порох
14) Дипикрилсульфи д	28) Тетранитропента эритрит	

Приложение 5

*Стандартные плотности населения*

Характеристика района	Плотность, чел/км <sup>2</sup>
Отдельный жилой район	100
Жилой район с единичной застройкой	500
Тихий жилой район	2500
Оживленный жилой район	7000
Городской жилой район	12000
Промышленная зона низкой плотности	500
Промышленная зона средней плотности	4000
Промышленная зона высокой плотности	8000
Небольшой торговый центр или район	10000
Средний торговый центр или район	50000
Большой торговый центр или район	100000
Малопосещаемая зона отдыха и занятий спортом	2500
Интенсивно используемая зона отдыха и занятий спортом	50000
Очень интенсивно используемая зона отдыха и занятий спортом	250000

Приложение 6

*Априорные частоты аварий*

Сценарий	Вид источника и его интенсивность	Частота в год		
		низкая	средняя	высокая
А1 (пожар разлития горючих жидкостей)	<b>Автомобильный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 автоцистерн в год	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>
	- интенсивность движения более 1000 автоцистерн в год	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>
	<b>Водный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 судов в год	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>
	- интенсивность движения более 1000 судов в год	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>
	<b>Железнодорожный</b>			

	<b>транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 цистерн в год	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$
	- интенсивность движения более 1000 цистерн в год	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$
	<b>Трубопроводный транспорт</b>	$10^{-3}$		
	<b>Хранение:</b> - площадь обвалования менее 1500 м <sup>2</sup>	$10^{-5}$		
	- площадь обвалования более 1500 м <sup>2</sup>	$10^{-4}$		
	<b>Переработка</b>	$10^{-4}$		
	<b>Автомобильный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 автоцистерн в год	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$

Продолжение прил. 6

<b>А2</b> (взрыв газового облака горючих жидкостей)	- интенсивность движения более 1000 автоцистерн в год	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$
	<b>Водный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 судов в год	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$
	- интенсивность движения более 1000 судов в год	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$
	<b>Железнодорожный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 цистерн в год	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$
	- интенсивность движения более 1000 цистерн в год	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$
	<b>Трубопроводный транспорт</b>	$10^{-3}$		
	<b>Хранение:</b> - площадь обвалования менее 1500 м <sup>2</sup>	$10^{-5}$		
	- площадь обвалования более 1500 м <sup>2</sup>	$10^{-4}$		
	<b>Переработка</b>	$10^{-4}$		
<b>Б1</b> (взрыв)	<b>Автомобильный транспорт:</b> - интенсивность	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$

	движения менее 1000 автоцистерн в год			
	- интенсивность движения более 1000 автоцистерн в год	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$
	<b>Железнодорожный транспорт:</b>			
	- интенсивность движения менее 1000 цистерн в год	$10^{-11}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$
	- интенсивность движения более 1000 цистерн в год	$10^{-9}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$
<b>Хранение</b>		$10^{-4}$		

Продолжение прил. 6

<b>Б2</b> (взрыв мгновенного выброса горючих газов сжиженных сжатием)	<b>Автомобильный транспорт:</b>			
	- интенсивность движения менее 1000 автоцистерн в год	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$
	- интенсивность движения более 1000 автоцистерн в год	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$
	<b>Железнодорожный транспорт:</b>			
	- интенсивность движения менее 1000 цистерн в год	$10^{-11}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$
	- интенсивность движения более 1000 цистерн в год	$10^{-9}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$
<b>Хранение</b>		$10^{-7}$		
<b>Б3</b> (взрыв вытекающей жидкости горючих газов сжиженных сжатием)	<b>Водный транспорт:</b>			
	- интенсивность движения менее 1000 судов в год	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$
	- интенсивность движения более 1000 судов в год	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$
	<b>Трубопроводный транспорт</b>	$10^{-7}$		
	<b>Хранение:-</b> площадь обвалования менее $1500 \text{ м}^2$	$10^{-4}$		
	- площадь обвалования более $1500 \text{ м}^2$	$10^{-3}$		
<b>Переработка</b>		$10^{-4}$		



<b>В1</b> (пожар разлития горючих газов сжиженных охлажден)	<b>Хранение</b>	$10^{-6}$
---	-----------------	-----------

Окончание прил. 6

<b>Г1</b> (пожар горючих газов сжатых давлением)	<b>Трубопроводный транспорт:</b> - магистральные сети	$10^{-7}$		
	- распределительные сети	$10^{-6}$		
<b>Д1</b> (взрыв ВВ)	<b>Автомобильный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 автоцистерн в год	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$
	- интенсивность движения более 1000 автоцистерн в год	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$
	<b>Водный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 судов в год	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$
	- интенсивность движения более 1000 судов в год	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$
	<b>Железнодорожный транспорт:</b> - интенсивность движения менее 1000 цистерн в год	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$
	- интенсивность движения более 1000 цистерн в год	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$
	<b>Хранение</b>	$10^{-7}$		
	<b>Переработка</b>	$10^{-6}$		

## Практическая работа №3

# **Прогнозирование масштабов заражения при авариях и разрушениях радиационно опасных объектов**

## **Введение**

Основной целью образования по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» является формирование у студентов общекультурных компетенций на основе аналитических представлений о неразрывном единстве эффективной профессиональной, гражданской и общечеловеческой деятельности с требованиями к безопасности и защищенности человека в соответствии с требованиями ФГОС ВПО по направлению 261400 «Технология художественной обработки материалов».

Одними из основных задач дисциплины являются вооружение обучаемых теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для:

- разработки и реализации мер защиты человека и среды обитания от негативных воздействий;
- проектирования и эксплуатации техники, технологических процессов и объектов экономики в соответствии с требованиями по безопасности и экологичности;
- обеспечения устойчивости функционирования объектов и технических систем в штатных и чрезвычайных ситуациях;
- прогнозирования развития и оценки последствий чрезвычайных ситуаций;
- принятия решений по защите производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, а также принятия мер по ликвидации их последствий.

Особое место среди антропогенных опасностей имеют радиационно опасные объекты. Уметь правильно прогнозировать, оценивать и предупреждать возможные аварии на таких объектах – необходимые навыки практически любого инженера.

## **1. Выявление и оценка радиационной обстановки при авариях на АЭС [2, 4, 6]**

### ***Общие положения***

Под *радиационной обстановкой (РО)* понимают совокупность условий и факторов, связанных с радиоактивным загрязнением (заражением) местности, приземного слоя воздуха и водоисточников, оказывающих влияние на жизнедеятельность населения, функционирование объектов экономики, действия формирований ликвидации последствий аварии. Радиационная обстановка характеризуется *масштабами и степенью* радиоактивного загрязнения местности и воздуха (термины “загрязнение” и “заражение” обозначают одно и то же физическое явление, но первый используется по отношению к событиям мирного времени, а второй – к военному времени).

**Выявление радиационной обстановки** – это определение методом прогноза или по данным разведки масштабов и степени радиоактивного загрязнения. Выявление радиационной обстановки включает:

- определение размеров зон загрязнения;
- определение интенсивности загрязнения;
- отображение полученных результатов на картах (планах, схемах), ввод в электронные средства обработки информации.

Исходные данные для выявления РО включают три группы сведений:

- данные о разрушенных ядерных реакторах (по каждому: время, координаты, тип, электрическая мощность, доля выброшенных радиоактивных веществ);
- размещение населения, объектов экономики на окружающей территории;
- метеоусловия (направление и скорость среднего ветра).

**Оценка радиационной обстановки** – это определение влияния радиоактивного загрязнения на население, производственные объекты, действия сил по ликвидации последствий аварии, а также обоснование мероприятий защиты. Оценка радиационной обстановки включает:

- определение ожидаемых доз облучения и радиационных потерь;
- определение целесообразных действий населения, производственного персонала и способов защиты;
- подготовку предложений по защите населения и территорий.

Исходными данными для оценки РО являются:

- выявленная радиационная обстановка;

- время пребывания людей (населения, персонала, сил ликвидации последствий аварии) на загрязненной местности и их радиационная защищенность (коэффициент ослабления излучения).

Выявление и оценка радиационной обстановки в целом предусматривает решение двух групп задач: инженерных и оперативных.

*Инженерные* – задачи по определению степени радиоактивного загрязнения местности, поверхности объектов, техники.

*Оперативные* – задачи для обеспечения жизнедеятельности населения и безопасности формирований ликвидации последствий аварии, это – определение доз облучения, оптимизация режимов поведения на загрязненной местности.

Ниже будем рассматривать только оперативные задачи.

### **Методика выявления и оценки радиационной обстановки**

*Основные допущения и ограничения:*

- ядерный реактор работает в стационарном режиме;
- источниками радиоактивного загрязнения местности являются радиоактивное облако, образовавшееся в результате мгновенного выброса РВ на высоту до 1,5 км, и радиоактивная струя, формирующаяся при истечении продуктов из реактора на высоту до 200 м;
- базовая доля выброса продуктов деления 10% от находящихся в реакторе, из которых для РБМК 25 % находится в облаке и 75 % - в струе, для ВВЭР 75% - в облаке и 25% - в струе;
- скорость гравитационного оседания частиц – 0,01 м/с;
- используются три категории устойчивости атмосферы: А – сильно неустойчивая (конвекция), Д – нейтральная (изотермия), F – очень устойчивая (инверсия).

В зависимости от степени загрязнения местности и возможных последствий внешнего облучения выделяют следующие зоны (табл. 1.1):

- радиационной опасности;
- умеренного загрязнения;

Таблица 1.1

Характеристики зон радиоактивного загрязнения местности при авариях на АЭС

Наименование зоны	Индекс зоны	Цвет для обозначения внешней границы	Доза излучения за первый год после аварии, рад <i>Внутр.граница</i> <i>Внешн.граница</i>	Мощность дозы на 1ч после аварии, рад/ч <i>Внутр.граница</i> <i>Внешн.граница</i>
Радиационной опасности	М	Красный	$\frac{50}{5}$	$\frac{0,140}{0,014}$
Умеренного загрязнения	А	Синий	$\frac{500}{50}$	$\frac{1,4}{0,14}$
Сильного загрязнения	Б	Зеленый	$\frac{1500}{500}$	$\frac{4,2}{1,4}$
Опасного загрязнения	В	Коричневый	$\frac{5000}{1500}$	$\frac{14}{4,2}$
Чрезвычайно опасного загрязнения	Г	Черный	$\frac{> 9000}{5000}$	$\frac{> 42}{14}$

- сильного загрязнения;
- опасного загрязнения;
- чрезвычайно опасного загрязнения.

В пределах зоны “М” целесообразно ограничивать пребывание личного состава, не привлекаемого непосредственно к работам по ликвидации последствий аварии.

При необходимости выполнения работ в зоне “А” личный состав должен находиться в защищенной технике.

В зоне “Б” личный состав должен размещаться в защитных сооружениях.

В зоне “В” личный состав находится в защищенных сооружениях, время работ ограничено несколькими часами.

В зоне “Г” не следует допускать даже кратковременного пребывания личного состава.

Выявление радиационной обстановки методом прогноза включает:

- определение размеров зон загрязнения местности;
- определение мощности дозы излучения на объекте;
- отображение выявленной РО.

Исходные данные для выявления РО:

Информация об АЭС:

- тип аварийного реактора (РБМК или ВВЭР);
- координаты АЭС, время аварии;
- электрическая мощность реактора -  $W$ , МВт;
- количество аварийных реакторов -  $n$ ;
- доля выброшенных РВ из реактора -  $\eta$ , % (если доля выброшенных РВ неизвестна, то полагают  $\eta = 10$  %).

полагают  $\eta = 10$  %).

Метеорологические условия:

- скорость и направление ветра на высоте 10 м -  $V$ , м/с;
- состояние облачного покрова: отсутствует, средний, сплошной.

Последовательность выявления РО:

1. Определение категории устойчивости атмосферы по заданным погодным условиям и времени суток.
2. Определение средней скорости ветра в слое распространения радиоактивного облака.
3. Определение размеров зон возможного загрязнения местности для заданного типа реактора и доли выброшенных из него РВ и нанесение их на карту (рис. 1.1).
4. Определение ожидаемых мощностей доз излучения на объекте.
  - а) По карте с нанесенными на ней прогнозируемыми зонами загрязнения находится удаление объекта ( $X$ ,  $Y$ ) от аварийного реактора (рис. 1.2);

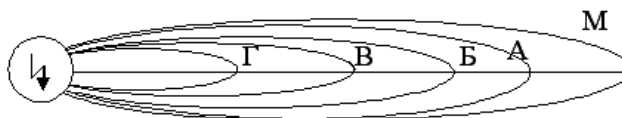


Рис. 1.1. Нанесение на карту (схему) прогнозируемых зон радиоактивного загрязнения при аварии на АЭС

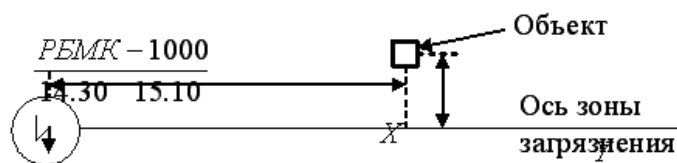


Рис. 1.2. Определение координат объекта относительно аварийного реактора

б) По таблицам 1.1 и 2.1 для расстояния от АЭС -  $X$ , выхода РВ из реактора  $\eta = 10$  % определяется мощность дозы на оси ( $Y = 0$ ) следа облака  $P_{ось}$  на 1 час после аварии;

в) Если объект расположен в стороне от оси следа -  $Y$ , а мощность реактора и выброс РВ отличаются от табличных, то ожидаемая мощность дозы на объекте  $P_{ож}$  на произвольный момент времени  $t$  после аварии определяется по формуле:

$$P_{ож} = P_{ось} K_y K_w K_t$$

где  $K_y$  – коэффициент, учитывающий уменьшение мощности дозы в стороне от оси следа – определяется с помощью приложений 7-9;  $K_w$  – коэффициент, учитывающий электрическую мощность  $W$  реактора, долю  $\eta$  выброса, рассчитывается по формуле:

$$K_w = 10^{-4} n W \eta$$

$K_t$  – коэффициент, учитывающий изменение мощности дозы во времени – определяется с помощью приложений 11, 12.

**Пример 1.** Определить размеры зон возможного загрязнения при аварии реактора РБМК-1000, произошедшей в 14.30 03.10, доля выброса РВ 30 %, скорость ветра на высоте 10 м – 4 м/с, облачность – средняя.

**Решение.** 1. С помощью приложения 1 определяем категорию устойчивости атмосферы – Д.

2. По табл. 2 приложения 5 определяем среднюю скорость ветра в слое распространения облака –  $V_{cp} = 5$  м/с.

3. С помощью приложения 2 определяем размеры прогнозируемых зон загрязнения (длина/ширина, км): М – 418/31,5; А – 145/8,42; Б – 33,7/1,73; В – 17,6/0,69.

**Пример 2.** Для условий примера 1 определить ожидаемую мощность дозы на объекте, расположенном на удалении 25 км по оси следа и в 2 км от нее, через 6 часов после аварии.

**Решение.** 1. С помощью приложения 5 определяем мощность дозы излучения на оси следа через 1 час после аварии (используем линейную интерполяцию по расстоянию):

$$P_{ось} = (1,01 + 0,546) / 2 \approx 0,78 \text{ рад/ч.}$$

2. Рассчитываем коэффициенты, учитывающие:

- удаление от оси следа (приложение 8)  $K_y = 0,2$ ;

- отличие доли выброса  $K_w = 10^{-4} \cdot 1000 \cdot 30 = 3$ ;

- отличие во времени от 1 часа (приложение 11)  $K_t = 0,61$ .

3. Определяем ожидаемую мощность дозы на объекте через 6 часов после аварии:

$$P_{ож} = 0,78 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot 0,61 \approx 0,29 \text{ рад/ч.}$$

*Оценка радиационной обстановки методом прогноза* включает:

- определение прогнозируемых доз облучения личного состава сил ликвидации последствий аварии (населения);
- определение продолжительности пребывания личного состава в зонах загрязнения по заданной дозе облучения;
- определение времени начала работы в зоне загрязнения по заданной дозе облучения.

*Исходные данные для оценки РО:*

- выявленная радиационная обстановка;
- данные о выполняемой задаче – начало и продолжительность пребывания на загрязненной местности, защищенность от облучения, допустимые (устанавливаемые) дозы облучения.

**Последовательность оценки РО:**

1. Определение дозы облучения на открытой местности (приложения 13,14).
2. Расчет дозы облучения за защитой (приложение 15).
3. Сравнение рассчитанной дозы с допустимой (устанавливаемой).

Если рассчитанная доза превышает допустимую, решаются задачи по выбору наиболее целесообразных вариантов действий – перенос работ на более поздний срок, организация работы сменами.

**Пример 3.** Для условий примера 2 определить дозу облучения личного состава расчета, который должен провести плановые профилактические работы на электрической подстанции (открытая местность) 3 октября с 17.30 до 23.30.

**Решение.** 1. С помощью приложения 11 определяем время начала формирования следа загрязнения  $t_{\phi}$  после аварии (используем линейную интерполяцию по расстоянию):

$$t_{\phi} = (1,0 + 1,5) / 2 = 1,25 \text{ ч.}$$

2. Вычисляем приведенное время начала работы расчета на подстанции:

$$t_{нач} = T_{нач} - T_{ав} = 17.30 - 14.30 = 3 \text{ ч;}$$

$$t_{нач} > t_{\phi}, \text{ поэтому приведенное время начала облучения } t_{нач обл} = t_{нач}.$$

3. Определяем ожидаемую мощность дозы излучения на подстанции на 1 час после аварии (это значение мощности дозы – фиктивное, так как загрязнение начинается только через 1,25 ч, но оно требуется для расчета дозы облучения):

$$P_{ож} (1 \text{ ч}) = P_{осб} K_y K_w = 0,78 \cdot 0,2 \cdot 3 \approx 0,47 \text{ рад/ч.}$$

4. С помощью приложения 13 находим коэффициент  $K_{доз}$  для расчета дозы облучения по значению мощности дозы на 1 час после аварии (начало облучения  $t_{нач} = 3 \text{ ч}$ , продолжительность облучения

$$\Delta t = T_{кон} - T_{нач} = 23.30 - 17.30 = 6 \text{ ч}): K_{доз} = 3,72.$$

5. Рассчитываем дозу облучения по формуле:

$$D = \frac{P_{ож} (1 \text{ ч}) \cdot K_{доз}}{K_{осл}}.$$

Работа ведется на открытой местности, поэтому  $K_{осл} = 1$ , тогда  $D = 0,47 \cdot 3,72 \approx 1,75$  рад.

**Пример 4.** Для условий примера 3 определить время, на которое необходимо перенести работу на загрязненной местности, для того, чтобы доза облучения не превысила 0,5 рад (установленная доза).

**Решение.** 1. По установленной дозе рассчитываем требуемое значение коэффициента  $K_{доз}$ :

$$K_{доз} = \frac{D_{уст} \cdot K_{осл}}{P_{ож} (1 \text{ ч})}$$

$$K_{доз} = 0,5 / 0,47 \approx 1,06.$$

2. С помощью приложения 13 определяем время перенесенного начала работы на загрязненной местности. Для этого в столбце “продолжительность пребывания в зоне загрязнения - 6 ч” находим наиболее близкое к 1,06 значение  $K_{доз}$  (не превышающее 1,06):  $K_{доз} = 0,83$ , которому соответствует начало облучения (работы на загрязненной местности)  $t_{нач} = 10$  суток. При этом доза облучения составит  $D = 0,47 \cdot 0,83 \approx 0,39$  рад.

Для расчета времени начала работы, точно соответствующего дозе 0,5 рад, воспользуемся методом линейной интерполяции. Ближнему к 0,83 значению  $K_{доз} = 1,15$  соответствует начало работы  $t_{нач} = 5$  суток и доза  $D = 0,47 \cdot 1,15 \approx 0,54$  рад. Используя линейную интерполяцию,

$$\text{для дозы } 0,5 \text{ рад находим } t_{нач} = 5 + \frac{(0,54 - 0,5) \cdot (10 - 5)}{0,54 - 0,39} \approx 6,3 \text{ суток.}$$

**Пример 5.** Для условий примера 3 начальник расчета, определив дозу облучения, решил с целью уменьшения дозы провести работы двумя сменами. Неработающая смена будет находиться в подвале одноэтажного здания на территории подстанции. Найти время работы первой и второй смен.

**Решение.** 1. Рассчитываем значение коэффициента  $K_{доз}$ , соответствующее половине дозы, определенной в примере 3:

$$K_{доз} = K_{доз} / 2 = 3,72 / 2 = 1,86.$$

2. С помощью приложения 13 определяем время окончания работы первой смены и начала работы второй  $t_{кон1}$ . Для этого в строке “ $t_{нач} = 3$  ч” находим наиболее близкие к 1,86 значения дозовых коэффициентов 1,38 и 2,01, соответствующих продолжительности работы 2 и 3 ч. Используя метод линейной интерполяции находим  $t_{кон1}$ :

$$t_{кон1} = 2 + \frac{(1,86 - 1,38) \cdot (3 - 2)}{2,01 - 1,38} \approx 2,76 \text{ ч.}$$

Первая смена работает 2 ч 45 мин, вторая – 3 ч 15 мин, доза облучения для каждой смены 0,88 рад.

*Выявление радиационной обстановки по данным разведки* заключается в измерении мощностей доз излучения в отдельных точках местности и на объектах.

*Исходные данные для выявления РО по данным разведки:*

Информация об АЭС:

- тип аварийного реактора (РБМК или ВВЭР);

- астрономическое время аварии  $T_{ав}$ .

Данные радиационной разведки:

- измеренное значение мощности дозы  $P_{изм}$ ;

- время измерения мощности дозы  $T_{изм}$ .

**Последовательность выявления фактической РО:**

1. Вычисляем приведенное время измерения мощности дозы:

$$t_{изм} = T_{изм} - T_{ав}.$$

2. С помощью приложений 11, 12 определяем коэффициент  $K_t$  для пересчета мощности дозы на заданное время после аварии.

3. Рассчитываем мощность дозы излучения на заданное время по формуле:

$$P(t) = P_{изм} K_t.$$

**Пример 6.** Авария на реакторе РБМК-1000 произошла в 14.30 03.10. Измеренная мощность дозы излучения на объекте в 17.30 составила 0,5 рад/ч.

а) Какая мощность дозы будет в 19.30?

б) Когда мощность дозы снизится до 0,1 рад/ч?

**Решение.** а) 1. Определяем приведенное время измерения мощности дозы:

$$t_{изм} = 17.30 - 14.30 = 3 \text{ ч.}$$

2. Определяем приведенное время  $t$ , на которое требуется найти мощность дозы:

$$t = 19.30 - 14.30 = 5 \text{ ч.}$$

3. С помощью приложения 11 находим коэффициент  $K_t = 0,86$ .

4. Рассчитываем мощность дозы на 19.30:

$$P = 0,5 \cdot 0,86 \approx 0,43 \text{ рад/ч.}$$

б) 1. Определяем приведенное время измерения:

$$t_{изм} = 17.30 - 14.30 = 3 \text{ ч.}$$

2. Рассчитываем требуемое значение коэффициента  $K_t$  по формуле:

$$K_t = P / P_{изм} = 0,1 / 0,5 = 0,2.$$

3. С помощью приложения 11 в строке “ $t_{изм} = 3$  ч” находим значение коэффициента  $K_t$ , наиболее близкое к требуемому – 0,2. Это –  $K_t = 0,18$ , что соответствует 10 суткам после



аварии, мощность дозы – 0,09 рад/ч. Более точно требуемое время можно найти методом линейной интерполяции.

*Оценка фактической радиационной обстановки* включает решение тех же задач, что и при оценке методом прогноза, используются те же таблицы. Исходные данные – фактическая радиационная обстановка.

Если учесть тот факт, что при аварии на АЭС мощность дозы на загрязненной местности изменяется по закону  $P(t) = P_0 \sqrt{\frac{t_0}{t}}$ , можно решить задачи по оценке радиационной обстановки аналитически, без применения таблиц приложений.

## 2. Практические задания [2, 6]

**Задание 1.** В результате аварии на АЭС, сопровождавшейся разрушением ядерного реактора типа РБМК-1000, произошло загрязнение местности радиоактивными веществами.

Определить размеры прогнозируемых зон радиоактивного загрязнения и нанести их на схему (использовать цветовые обозначения). Определить ожидаемую мощность дозы на объекте на один час после аварии.

Дано: Скорость ветра  $V$ , категория устойчивости атмосферы (КУ), выход активности  $\eta$ , расстояние до объекта по оси следа загрязнения  $X$ , удаление объекта от оси следа  $Y$ .

**Задание 2.** В результате аварии на АЭС произошло загрязнение местности радиоактивными веществами. Измерен уровень радиации на объекте.

Определить промежуток времени, в течение которого уровень радиации на объекте уменьшится в заданное количество раз  $n$ .

Дано: время аварии на АЭС, время измерения уровня радиации на объекте, величина  $n$ .

**Задание 3.** В результате аварии на АЭС произошло загрязнение местности радиоактивными веществами. Измерен уровень радиации на объекте.

Каков будет уровень радиации на объекте через промежуток времени  $\Delta t$  после проведенного измерения?

Дано: Время аварии на АЭС, уровень радиации  $P$  на объекте и время его измерения, промежуток времени  $\Delta t$ .

**Задание 4.** Защита противорадиационного укрытия - три слоя различных материалов.

Рассчитать коэффициент ослабления дозы для укрытия.

Дано: виды материалов и их толщины  $x_1, x_2, x_3$ .

**Задание 5.** В результате аварии на АЭС произошло загрязнение местности радиоактивными веществами. Измерен уровень радиации на объекте, где расчет должен провести ремонт оборудования.

Рассчитать дозу облучения личного состава расчета за время работы на загрязненной местности.

Дано: время аварии на АЭС, уровень радиации  $P$  на объекте и время его измерения – использовать данные задания 3, время начала работы и ее продолжительность  $T$ , используемое укрытие.

**Задание 6.** Использовать результат задания 5. С целью уменьшения дозы облучения начальник расчета решил провести ремонтные работы в две смены.

Рассчитать время работы каждой смены.

**Задание 7.** Использовать результаты задания 5. С целью уменьшения дозы облучения начальник расчета решил перенести выполнение ремонтных работ на более поздний срок.

Рассчитать время, на которое надо перенести ремонтные работы, если задана кратность уменьшения дозы.

Дано: требуемая кратность уменьшения дозы  $n$ .

Таблица 2.1

№ вар.	Задание 1					Задание 2		
	V, м/с	KY	$\eta$ , %	X, км	Y, км	Время аварии час. мин	Время измер. час. мин	$n$
1	2	A	3	50	1	9.00	12.30	2
2	5	D	5	55	2	15.30	18.50	3
3	10	D	10	60	1	16.00	19.40	4
4	5	F	20	65	3	4.30	9.00	5
5	10	F	30	70	2	6.00	9.30	6
6	2	D	10	55	3	8.30	11.00	7
7	5	A	5	60	4	9.40	12.30	8
8	10	D	3	50	2	12.40	15.50	9
9	5	D	5	70	3	18.00	21.30	10
10	10	F	10	50	1	21.30	00.20	2
11	2	F	20	55	2	17.50	20.20	3
12	5	D	30	60	1	13.40	15.10	4
13	10	A	10	65	3	14.30	17.40	5
14	5	D	5	70	2	15.50	17.20	6
15	10	D	3	55	3	9.00	12.30	7

Окончание табл. 2.1

№ вар.	Задание 1					Задание 2		
	V, м/с	KY	$\eta$ , %	X, км	Y, км	Время аварии час. мин	Время измер. час. мин	$n$
16	2	F	5	60	4	15.30	18.50	8
17	5	F	10	50	2	16.00	19.40	9
18	10	D	20	70	3	4.30	9.00	10
19	5	A	30	50	1	6.20	9.30	2
20	10	D	10	55	2	8.30	11.00	3
21	2	D	5	60	1	9.40	12.30	4
22	5	F	3	65	3	12.40	15.50	5
23	10	F	5	70	2	18.20	21.30	6
24	5	D	10	55	3	21.30	00.20	7
25	10	A	20	60	4	17.50	20.20	8
26	2	D	30	50	2	13.40	15.10	9
27	5	D	10	70	3	14.40	17.40	10
28	10	F	5	50	1	15.50	17.20	2

## Приложение 1

Категории устойчивости атмосферы					
Скорост ь ( $V_{10}$ ) ветра на высоте 10 м, м/с	Время суток				
	День				Ночь
	Наличие облачности				
	Отсут.	Сред н.	Сплош.	Отсут.	Сплош.
$V_{10} < 2$	А	А	А	А	А
$2 < V_{10} < 3$	А	А	Д	Ф	Ф
$3 < V_{10} < 5$	А	Д	Д	Д	Ф
$5 < V_{10} < 6$	Д	Д	Д	Д	Д
$V_{10} > 6$	Д	Д	Д	Д	Д

Обозначения: А - сильно неустойчивая (конвекция);  
 Д - нейтральная (изотермия);  
 Ф - очень устойчивая (инверсия).

## Приложение 2

Средняя скорость ветра ( $V_{cp}$ ) в слое от поверхности земли до высоты перемещения центра облака, м/с

Категория устойчивости атмосферы	Скорость ветра на высоте 10 м ( $V_{10}$ ), м/с					
	<2	2	3	4	5	> 6
А	2	2	5	5	5	10
Д	2	2	5	5	5	10
Ф	2	5	10	10	10	10

### Приложение 3

Размеры возможных зон радиоактивного загрязнения местности на следе облака при аварии на АЭС с реактором типа РБМК - 1000 (длина или начало зоны/конец зоны и ширина зоны)

Выход активности, %	Индекс зоны загрязнения	Категория устойчивости атмосферы									
		А (конвекция)		Д (изотермия)				F (инверсия)			
		Средняя скорость ветра ( $V_{cp}$ ), м/с									
		2		5		10		5		10	
		Дли на зоны, км	Шири на зоны, км	Дли на зоны, км	Шири на зоны, км	Дли на зоны, км	Шири на зоны, км	Длина зоны, км	Шири на зоны, км	Длина зоны, км	Шири на зоны, км
3	М	62,6	12,1	145	8,42	135	5,99	(11/138)	3,63	(13/128)	3,04
3	А	14,1	2,75	34,1	1,74	26	1,04	-	-	-	-
10	М	140,0	29,9	270	18,2	272	14	(8/249)	7,86	(10/249)	6,81
10	А	28,0	5,97	75	3,92	1	2,45	(16/69)	1,72	(19/61)	1,18
10	Б	6,88	0,85	17,4	0,69	11	0,32	-	-	-	-
30	М	249	61,8	418	31,5	482	28	(6/436)	14	(6/447)	12
30	А	62,6	12,1	145	8,42	135	5,99	126	3,63	115	3,04
30	Б	13,9	2,71	33,7	1,73	25	1,02	-	-	-	-

### Приложение 4

Размеры возможных зон радиоактивного загрязнения местности на следе облака при аварии на АЭС с реактором типа ВВЭР - 1000 (длина или начало зоны/конец зоны и ширина зоны)

Выход активности, %	Индекс зоны загрязнения	Категория устойчивости атмосферы									
		А (конвекция)		Д (изотермия)				F (инверсия)			
		Средняя скорость ветра ( $V_{cp}$ ), м/с									
		2		5		10		5		10	
		Длин а зоны, км	Шир ина зон ы, км	Длин а зоны, км	Шир ина зон ы, км	Длин а зоны, км	Шир ина зон ы, км	Длин а зоны, км	Шир ина зон ы, км	Длин а зоны, км	Шир ина зон ы, км
3	М	82,8	16,2	74,5	3,7	53	1,87	28/45	0,61	-	-
3	А	13,0	2,22	9,9	0,29	5,2	0,07	-	-	-	-
10	М	185	40,2	155	8,76	110	5,3	13/89	2,58	15/88	2,1
10	А	39,4	6,81	29,5	1,16	19	0,58	-	-	-	-
30	М	338	82,9	284	18,4	274	13	10/18 2	5,0	11/17 3	4,4
30	А	82,8	15,4	74,5	3,51	53	1,87	28/45	0,61	-	-
50	М	438	111	379	25,3	369	19	8/212	6,91	10/23 4	6,3

Приложение 5

Мощность дозы излучения на оси следа, рад/час (реактор РБМК-1000, выход радиоактивных продуктов 10%, время – 1 час после остановки реактора)

Расстояние от АЭС, км	Категория устойчивости атмосферы				
	А	Д		Ф	
	Средняя скорость ветра, м/с				
	2	5	10	5	10
5	1,89	4,50	2,67	0,00002	0,00001
10	0,643	2,62	1,6	0,0210	0,0136
20	0,212	1,01	0,64	0,213	0,142
30	0,122	0,546	0,355	0,303	0,212
40	0,0849	0,351	0,236	0,302	0,221
50	0,0632	0,256	0,177	0,245	0,187
60	0,0492	0,196	0,14	0,181	0,144
70	0,0395	0,155	0,114	0,136	0,115
80	0,0324	0,125	0,0948	0,102	0,0937
100	0,0230	0,0870	0,0691	0,0769	0,0661
150	0,0117	0,0427	0,0375	0,0368	0,0319
200	0,007	0,0248	0,0235	0,0214	0,0207
250	0,005	0,0160	0,0160	0,0139	0,0139
300	0,003	0,0110	0,0115	0,0097	0,0099
350	0,0023	0,0078	0,0086	0,0072	0,0075
400	0,0017	0,0055	0,0067	0,0055	0,006
450	0,0013	0,0044	0,0053	0,0044	0,0046
500	0,001	0,0036	0,0043	0,0035	0,0037

Приложение 6

Мощность дозы излучения на оси следа, рад/час (реактор ВВЭР-1000, выход радиоактивных продуктов 10%, время – 1 час после остановки реактора)

Расстояние от АЭС, км	Категория устойчивости атмосферы				
	А	Д		Ф	
	Средняя скорость ветра, м/с				
	2	5	10	5	10
5	1,24	0,803	0,475	-	-
10	0,723	0,466	0,285	0,0037	0,0024
20	0,289	0,189	0,119	0,037	0,025
30	0,172	0,127	0,081	0,053	0,037
40	0,121	0,103	0,0667	0,0527	0,0385
50	0,0915	0,0763	0,0506	0,0427	0,0325
60	0,0722	0,0593	0,0403	0,0316	0,0251
70	0,0587	0,0476	0,0331	0,0238	0,0200
80	0,0488	0,0391	0,0277	0,0177	0,0163
100	0,0354	0,0280	0,0206	0,0134	0,0115
150	0,0190	0,0146	0,0116	0,0064	0,0056
200	0,0119	0,009	0,0075	0,0037	0,0036
250	0,0080	0,0059	0,0053	0,0024	0,0024
300	0,0058	0,0041	0,0040	0,0017	0,0017
350	0,0043	0,0033	0,0030	0,0013	0,0013
400	0,0033	0,0025	0,0024	0,0010	0,0010
450	0,0026	0,0018	0,0020	0,0008	0,0008
500	0,0021	0,0013	0,0016	0,0006	0,0007

Коэффициент  $K_y$  для определения мощности дозы излучения в стороне от оси следа

(сильно неустойчивая атмосфера – категория А)

X , км	Удаление от оси следа (Y), км														
	0,5	1	2	4	5	6	10	15	20	25	30	40	50	75	100
5	0,9	0,6	0,1												
7	0,9	0,7	0,3												
10	1	0,8	0,5	0,0											
12	1	0,9	0,6	0,1											
14	1	0,9	0,7	0,2	0,0										
16	1	0,9	0,7	0,2	0,0										
18	1	0,9	0,8	0,3	0,0	0,0									
20	1	0,9	0,8	0,4	0,1	0,0									
25	1	1	0,8	0,5	0,2	0,0	0,0								
30	1	1	0,8	0,6	0,4	0,1	0,0								
40	1	1	0,9	0,7	0,6	0,3	0,1	0,0							
50	1	1	0,9	0,7	0,7	0,4	0,3	0,1	0,0						
60	1	1	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,1	0,0						
70	1	1	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5	0,2	0,1	0,0					
80	1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0				
100	1	1	1	0,9	0,9	0,7	0,7	0,5	0,2	0,1	0,0				
150	1	1	1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0,0	0,0		
200	1	1	1	1	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4	0,1	0,0		
300	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2	0,0	
500	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,2	0,1

Коэффициент  $K_y$  для определения мощности дозы излучения в стороне от оси следа

(нейтральная атмосфера – категория Д)

X, км	Удаление от оси следа (Y), км														
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
5	0,1														
7	0,3	0,0													
10	0,6	0,1													
12	0,7	0,2													
14	0,7	0,3													
16	0,8	0,4	0,0												
18	0,8	0,5	0,1												
20	0,8	0,6	0,1												
25	0,9	0,7	0,2	0,0											
30	0,9	0,8	0,3	0,1	0,0										
40	0,9	0,8	0,5	0,2	0,1	0,0									
50	1	0,9	0,6	0,4	0,2	0,1									
60	1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	0,0								
70	1	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0							
80	1	1	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0					
100	1	1	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0				
150	1	1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	0,0			
200	1	1	1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3	0,1	0,0		
300	1	1	1	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0
500	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3	0,1

Коэффициент  $K_y$  для определения мощности дозы излучения в стороне от оси следа (очень устойчивая атмосфера – категория F)

X, км	Удаление от оси следа (Y), км														
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	15	20
5															
7	0,1														
10	0,1														
12	0,2														
14	0,3														
16	0,4														
18	0,5														
20	0,5	0,1													
25	0,7	0,2	0,0												
30	0,7	0,3	0,1												
40	0,8	0,5	0,2	0,1											
50	0,9	0,6	0,3	0,1	0,0										
60	0,9	0,7	0,5	0,2	0,1										
70	0,9	0,8	0,6	0,3	0,2	0,1									
80	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0							
100	1	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0						
150	1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0			
200	1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0		
300	1	1	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,1	0,0	
500	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,2	0,0

Время начала формирования следа загрязнения (начала загрязнения в данной точке)  $t_\phi$  после аварии, час

Расстояние от АЭС, км	Категория устойчивости атмосферы				
	А	Д		F	
	Средняя скорость ветра, м/с				
	2	5	10	5	10
5	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1
10	1,0	0,5	0,3	0,5	0,3
20	2,0	1,0	0,5	1,0	0,5
30	3,0	1,5	0,8	1,5	0,8
40	4,0	2,0	1,0	2,0	1,0
50	5,0	2,5	1,2	2,5	1,3
60	6,5	3,0	1,5	3,0	1,6
70	7,5	3,5	1,8	3,5	1,9
80	8,0	4,0	2,0	4,0	2,2
100	9,5	5,0	2,5	5,0	3,0
150	14,0	7,5	3,5	8,0	4,0
200	19,0	10,0	5,0	10,0	5,2
250	23,0	12,0	6,0	13,0	6,5
300	28,0	15,0	7,5	16,0	8,0
350	32,0	17,0	9,0	18,0	9,3
400	37,0	19,0	10,0	21,0	11,0
450	41,0	22,0	11,0	23,0	12,0
500	46,0	24,0	12,0	26,0	13,0

Приложение 11

Коэффициент  $K_t$  для пересчета мощности дозы на различное время после аварии (реактор типа РБМК, кампания 3 года,  $t_{изм}$  - время измерения мощность дозы)

$t_{изм}$		Время после аварии, на которое пересчитывается мощность дозы															
		Часы								Сутки					Месяцы		
		1	2	3	5	6	9	12	18	1	2	5	10	15	1	6	12
ЧАСЫ	1	1,00	0,83	0,75	0,64	0,61	0,53	0,48	0,42	0,37	0,28	0,19	0,13	0,11	0,07	0,02	0,01
	2	1,19	1,00	0,89	0,76	0,72	0,63	0,57	0,50	0,45	0,34	0,23	0,16	0,13	0,09	0,03	0,02
	3	1,33	1,11	1,00	0,86	0,81	0,71	0,64	0,56	0,5	0,38	0,25	0,18	0,15	0,1	0,03	0,02
	5	1,54	1,29	1,16	1,00	0,94	0,82	0,75	0,65	0,58	0,44	0,3	0,21	0,17	0,12	0,04	0,02
	6	1,63	1,37	1,23	1,05	1,00	0,87	0,79	0,68	0,61	0,47	0,31	0,22	0,18	0,12	0,04	0,02
	7	1,71	1,44	1,29	1,11	1,05	0,92	0,83	0,72	0,65	0,49	0,33	0,24	0,19	0,13	0,04	0,02
	9	1,86	1,56	1,4	1,2	1,13	1,00	0,9	0,78	0,7	0,53	0,36	0,26	0,21	0,14	0,05	0,03
	12	2,05	1,72	1,54	1,32	1,25	1,1	1,00	0,86	0,77	0,59	0,39	0,28	0,23	0,16	0,05	0,03
	15	2,22	1,86	1,67	1,43	1,35	1,19	1,08	0,93	0,84	0,64	0,43	0,31	0,25	0,17	0,06	0,03
18	2,37	1,99	1,78	1,53	1,45	1,27	1,15	1,00	0,89	0,68	0,46	0,33	0,27	0,18	0,06	0,04	
СУТКИ	1	2,64	2,21	1,98	1,7	1,61	1,41	1,28	1,11	1,00	0,76	0,51	0,36	0,3	0,2	0,07	0,04
	2	3,47	2,91	2,6	2,24	2,11	1,85	1,68	1,46	1,31	1,00	0,67	0,48	0,39	0,27	0,09	0,06
	3	4,11	3,45	3,09	2,65	2,51	2,2	1,99	1,73	1,55	1,18	0,79	0,57	0,47	0,32	0,11	0,07
	5	5,15	4,33	3,87	3,33	3,14	2,76	2,5	2,17	1,95	1,48	1,00	0,72	0,58	0,4	0,14	0,08
	10	7,14	6,00	5,36	4,61	4,36	3,82	3,47	3,00	2,7	2,05	1,38	1,00	0,81	0,56	0,19	0,12
	15	8,75	7,34	6,57	5,65	5,34	4,68	4,25	3,68	3,31	2,52	1,69	1,22	1,00	0,69	0,24	0,15

Приложение 12

Коэффициент  $K_t$  для пересчета мощности дозы на различное время после аварии (реактор типа ВВЭР, кампания 3 года,  $t_{изм}$  – время измерения мощность дозы)

$t_{изм}$		Время после аварии, на которое пересчитывается мощность дозы															
		Часы								Сутки					Месяцы		
		1	2	3	5	6	9	12	18	1	2	5	10	15	1	6	12
ЧАСЫ	1	1,00	0,83	0,74	0,63	0,59	0,51	0,46	0,40	0,35	0,26	0,17	0,12	0,10	0,06	0,02	0,01
	2	1,20	1,00	0,88	0,75	0,71	0,62	0,56	0,48	0,43	0,32	0,21	0,14	0,12	0,08	0,02	0,01
	3	1,35	1,12	1,00	0,85	0,80	0,70	0,63	0,54	0,48	0,36	0,23	0,16	0,13	0,09	0,02	0,01
	5	1,58	1,31	1,17	1,00	0,94	0,82	0,74	0,63	0,56	0,42	0,27	0,19	0,15	0,10	0,03	0,02
	6	1,67	1,39	1,24	1,05	1,00	0,87	0,78	0,67	0,60	0,45	0,29	0,20	0,16	0,11	0,03	0,02
	7	1,76	1,47	1,30	1,11	1,05	0,91	0,82	0,71	0,63	0,47	0,31	0,22	0,17	0,12	0,03	0,02
	9	1,92	1,60	1,42	1,21	1,14	1,00	0,9	0,77	0,69	0,51	0,34	0,24	0,19	0,13	0,04	0,02
	12	2,13	1,77	1,58	1,35	1,27	1,1	1,00	0,85	0,76	0,57	0,37	0,26	0,21	0,14	0,04	0,02
	15	2,32	1,93	1,71	1,46	1,38	1,2	1,08	0,93	0,83	0,62	0,4	0,28	0,23	0,15	0,05	0,03
18	2,48	2,07	1,84	1,57	1,43	1,29	1,16	1,00	0,89	0,66	0,43	0,31	0,25	0,16	0,05	0,03	
СУТКИ	1	2,78	2,31	2,06	1,76	1,65	1,44	1,3	1,11	1,00	0,74	0,49	0,34	0,27	0,18	0,06	0,03
	2	3,72	3,09	2,75	2,35	2,21	1,92	1,74	1,49	1,33	1,00	0,65	0,46	0,37	0,25	0,08	0,04
	3	4,45	3,71	3,3	2,81	2,65	2,31	2,03	1,79	1,59	1,19	0,78	0,55	0,44	0,3	0,09	0,05
	5	5,66	4,71	4,19	3,58	3,37	2,93	2,65	2,27	2,03	1,52	1,00	0,7	0,56	0,38	0,12	0,07
	10	8,02	6,67	5,94	5,06	4,77	4,15	3,75	3,22	2,87	2,15	1,41	1,00	0,8	0,54	0,17	0,1
	15	8,95	8,28	7,36	6,28	5,92	5,15	4,65	3,99	3,57	2,67	1,75	1,24	1,00	0,67	0,21	0,13

Приложение 13

Коэффициент  $K_{доз}$  для определения дозы излучения по значению мощности дозы на 1 час после аварии (реактор типа РБМК, кампания 3 года,  $t_{нач}$  – время начала облучения)

$t_{нач}$		Продолжительность пребывания в зоне загрязнения																
		Часы								Сутки					Месяцы			
		1	2	3	5	6	9	12	18	1	2	5	10	15	1	6	12	
ЧАСЫ	1	0,90	1,70	2,42	3,71	4,31	5,95	7,43	10,0	12,4	20,1	36,7	56,2	71,3	105	258	353	
	2	0,79	1,51	2,17	3,40	3,97	5,55	6,99	9,57	11,8	19,5	36,0	55,4	70,5	104	257	353	
	3	0,71	1,38	2,01	3,17	3,72	5,25	6,65	9,18	11,4	19,0	35,4	54,8	69,8	103	256	352	
	5	0,62	1,22	1,79	2,86	3,37	4,81	6,14	8,57	10,7	18,2	34,4	53,6	68,6	102	255	350	
	6	0,59	1,16	1,71	2,74	3,23	4,63	5,94	8,33	10,5	17,8	33,9	53,2	68,1	101	254	350	
	7	0,56	1,11	1,64	2,64	3,12	4,48	5,76	8,11	10,2	17,5	33,5	52,7	67,6	101	254	349	
	9	0,52	1,03	1,52	2,47	2,92	4,23	5,45	7,73	9,81	16,9	32,8	51,9	66,7	100	253	348	
	12	0,47	0,94	1,40	2,27	2,70	3,93	5,09	7,26	9,27	16,2	31,8	50,7	65,5	99,0	251	347	
	15	0,44	0,87	1,30	2,12	2,53	3,69	4,80	6,88	8,83	15,6	31,0	49,7	64,5	97,8	250	345	
	18	0,41	0,82	1,22	2,00	2,38	3,49	4,56	6,57	8,45	15,0	30,2	48,8	63,5	96,7	249	344	
СУТКИ	1	0,37	0,74	1,10	1,82	2,17	3,19	4,18	6,06	7,83	14,1	28,9	47,3	61,8	94,8	246	342	
	2	0,28	0,57	0,85	1,41	1,68	2,50	3,29	4,83	6,32	11,7	25,2	42,6	56,6	88,8	239	334	
	3	0,24	0,48	0,72	1,19	1,43	2,13	2,81	4,16	5,46	10,3	22,7	39,2	52,8	84,3	234	328	
	5	0,19	0,38	0,57	0,96	1,15	1,71	2,27	3,37	4,45	8,58	19,5	34,6	47,3	77,5	225	319	
	10	0,13	0,27	0,41	0,69	0,83	1,24	1,65	2,47	3,27	6,41	15,1	27,8	38,9	66,4	208	301	
	15	0,11	0,22	0,34	0,56	0,68	1,02	1,35	2,03	2,69	5,31	12,7	23,8	33,8	59,2	196	288	



Коэффициент  $K_{доз}$  для определения дозы излучения по значению мощности дозы на 1 час после аварии (реактор типа ВВЭР, кампания 3 года,  $t_{нач}$  – время начала облучения)

$t_{нач}$		Продолжительность пребывания в зоне загрязнения															
		Часы								Сутки					Месяцы		
		1	2	3	5	6	9	12	18	1	2	5	10	15	1	6	12
ЧАСЫ	1	0,90	1,68	2,39	3,66	4,24	5,83	7,26	9,78	12,0	19,3	34,5	52,0	65,4	94,7	221	296
	2	0,78	1,49	2,14	3,33	3,88	5,41	6,80	9,27	11,4	18,6	33,8	51,3	64,6	93,9	220	295
	3	0,70	1,36	1,97	3,10	3,63	5,11	6,45	8,87	11,0	18,1	33,2	50,6	63,9	93,2	219	294
	5	0,61	1,19	1,74	2,78	3,27	4,65	5,93	8,25	10,3	17,3	32,2	49,5	62,7	92,0	218	293
	6	0,57	1,13	1,66	2,66	3,13	4,48	5,72	8,00	10,0	16,9	31,7	49,0	62,2	91,4	217	292
	7	0,55	1,08	1,59	2,55	3,01	4,32	5,54	7,77	9,80	16,6	31,3	48,5	61,7	90,9	217	292
	9	0,50	0,99	1,47	2,38	2,82	4,06	5,23	7,39	9,36	16,0	30,6	47,7	60,9	89,9	216	291
	12	0,46	0,90	1,34	2,18	2,59	3,76	4,86	6,92	8,81	15,3	29,6	46,6	59,7	88,7	214	289
	15	0,42	0,84	1,24	2,03	2,41	3,52	4,57	6,54	8,36	14,6	28,8	45,6	58,6	87,5	213	288
СУТКИ	18	0,39	0,78	1,16	1,91	2,27	3,32	4,33	6,22	7,98	14,1	28,0	44,7	57,7	86,5	212	287
	1	0,35	0,70	1,05	1,72	2,05	3,02	3,94	5,71	7,37	13,2	26,7	43,2	56,0	84,6	210	285
	2	0,26	0,53	0,79	1,31	1,57	2,32	3,06	4,49	5,86	10,8	23,1	38,6	50,9	78,8	203	277
	3	0,22	0,44	0,66	1,10	1,32	1,96	2,59	3,83	5,02	9,48	20,7	35,4	47,3	74,5	197	272
	5	0,17	0,35	0,52	0,87	1,04	1,56	2,06	3,06	4,04	7,77	17,5	30,9	42,0	68,1	189	263
	10	0,12	0,24	0,37	0,61	0,74	1,11	1,47	2,20	2,91	5,69	13,3	24,4	34,1	57,7	174	247
	15	0,10	0,20	0,30	0,50	0,60	0,89	1,19	1,78	2,36	4,66	11,1	20,7	29,3	51,0	163	235

Средние значения кратности ослабления излучения от зараженной местности

Укрытия	$K_{осл}$
Открытая местность	1
Дезактивированные (недезактивированные) открытые щели, траншеи, окопы	20(3)
Перекрытые щели	40
Убежища	1000
Дома:	3
деревянные одноэтажные	
каменные:	
одноэтажные	
двухэтажные	
трехэтажные	40
многоэтажные	70
Автобусы, автомобили	2
Бронетранспортеры	4
Танки	10

Толщина слоя половинного ослабления, см

Вода	13
Глина	6,3
Известняк	4,8
Сталь	1,8
Свинец	1,2
Грунт	9,2
Бетон	5,6
Древесина	19
Кирпич	8,2

## Практическая работа №4

### **Определение степени профпригодности оператора оборудования**

## **Введение**

Сложные изменения в характере труда, дальнейшая дифференциация его видов остро ставит вопрос об учёте индивидуальных особенностей каждого человека при выполнении трудовых обязанностей.

С целью достижения наибольшего соответствия профессии и индивидуально-психологических качеств и свойств человека проводится профессиональный отбор - научно организованный допуск людей к определённому виду профессионального обучения и деятельности.

Выделяют следующие компоненты профессионального отбора:

1. Медицинский отбор. В его задачу входит выявление лиц, состояние здоровья и уровень физического развития которых позволяет овладеть специальностью, для которой проводится профотбор.

2. Социально-психологический отбор. В его задачу входит выявление социально обусловленных свойств, которые необходимы для успешной работы человека в коллективе (мотивация, интересы, морально-психологические качества).

3. Образовательный отбор. В его задачу входит выявление кандидатов с минимумом знаний и навыков, необходимых для дальнейшего обучения.

4. Психологический отбор. В его задачу входит определение среди наличного контингента людей, по своим психологическим свойствам и качествам наиболее полно соответствующих профессиональным требованиям (существуют следующие методы психологического отбора: беседы, самоотчёты, наблюдения, специальные тесты).

Наиболее важное значение приобретает психологический отбор для различных форм интеллектуальных видов деятельности, среди которых операторская деятельность является наиболее распространенной в самых различных областях, в том числе и в строительстве.

Главными функциями оператора в любой системе становятся: контроль, программирование, прогнозирование (предвидение), управление, т.е., в общем случае, постановка задачи и принятие решений. От профпригодности оператора зависит эффективность и безопасность деятельности всего коллектива, а также исключение аварийных ситуаций на производстве.

## **1. Базовая теоретическая часть**

В своей работе оператор активно использует следующие профессионально-значимые свойства:

1. Аттенционные свойства (избирательность, концентрация, объем и устойчивость внимания).

2. Мнемические свойства (объём долговременной и кратковременной памяти).

3. Мыслительные свойства (оперативное мышление), логичность мышления, сложные ассоциации.

*Внимание* - направленность сознания на объект и концентрация сознания на этом объекте.

Внимание характеризуется следующими качествами:

1. Избирательность внимания проявляется в способности человека сосредоточиться на определённой задаче.

2. Устойчивость внимания определяется длительностью сохранения интенсивности (концентрации) внимания. Показатель устойчивости - высокая продуктивность деятельности в течение некоторого промежутка времени.

3. Концентрация внимания - степень сосредоточенности внимания на объекте.

4. Объём внимания - количество объектов, которые могут быть охвачены вниманием одновременно.

*Память* - свойство сознания накапливать, хранить и использовать информацию о мире, окружающем человека, и о самом себе. В деятельности человека-оператора в том или ином виде проявляются все основные формы памяти:

а) кратковременная, обеспечивающая хранение поступившей информации в течение короткого промежутка времени. Она подразделяется на непосредственную и оперативную. В непосредственной памяти хранится почти вся информация, поступившая в какой-то момент времени на органы чувств (время хранения - несколько секунд). Оперативная память представляет

собой способность человека сохранить текущую информацию для выполнения того или иного действия (длительность хранения определяется временем выполнения данного действия);

б) долговременная память обеспечивает хранение поступившей информации в течение длительного времени (дни, месяцы, годы).

*Мышление* - опосредованное отражение сущности явлений и отношений между ними.

Для инженерной психологии особое значение имеет оперативное мышление. Оперативное мышление - такой процесс решения практических задач, в том числе, и задач управления, в результате которого формируется субъективная модель предполагаемой совокупности действий (плана операции), обеспечивающая решение поставленной задачи.

Логичность мышления отражает ход мыслительного процесса:

- постановка вопроса, уяснение условий, нахождение принципа (идеи) задачи,
- выдвижение предположений, проверка их логическим и практическим путем, вывод - умозаключение.

Сложные ассоциации - связь, возникающая при определенных условиях между двумя или более психическими образованиями (идеями, восприятиями, ощущениями, представлениями и т.п.)

Часто оператору приходится выполнять работу в условиях дефицита времени, что создаёт высокую напряжённость деятельности.

Для количественной и качественной оценки свойств, важных для профессиональной деятельности оператора, могут быть применены методики, сравнительно близко воссоздающие специфику операторского труда:

- оперативное мышление - тест «Фишки»;
- оперативную память - тест «Счёт вперёд и обратно»;
- избирательность внимания - тест «Кольца Ландольта», тест Мюнстерберга;
- устойчивость внимания - тест «Куб Линка», «Лабиринт»;
- объем внимания - тест «Карточки»;
- концентрация внимания - тест «Перепутанные линии»;
- логичность мышления и образования сложных ассоциаций - тест по методике Равена.

При проведении психологического отбора, с использованием комплекса тестовых методик, каждый испытуемый получает балльную оценку выраженности профессионально значимых свойств и качеств, которая позволяет отнести его к группе с «низким», «средним» или «высоким» уровнем развития этих качеств.

Соединив между собой соответствующие оценки в баллах, получают профиль выраженности профессионально значимых свойств испытуемого. На основании профиля делается вывод о профпригодности испытуемого для данной деятельности.

Так, испытуемые, профиль которых лежит, в основном, в области низкого уровня развития профессионально важных свойств, малопригодны для работы оператором.

Испытуемые, профиль которых лежит, в основном, в области среднего уровня развития профессионально важных свойств, пригодны для работы оператором.

Испытуемые, профиль которых лежит, в основном, в области высокого уровня развития профессионально важных свойств, должны направляться на более сложную, ответственную работу.

## 2. Определение уровня развития оперативного мышления

С этой целью используется тест «Фишки», суть которого заключается в решении испытуемым семи задач разной степени сложности.

Инструкция испытуемому: в клетках теста размещены пять пронумерованных фишек. В каждой задаче надо из указанной последовательности фишек за минимальное количество ходов перейти к определенной заданной последовательности (рис. 2.1).

1	2	3
Г	4	5

Рис. 2.1. Заданная последовательность действий в тесте «Фишки»

Перемещение фишек осуществляется через пустую клетку «Г» в направлении вверх, вниз, вправо, влево, но только не по диагонали. Если при поиске оптимального решения возникают трудности, разрешается ставить фишки заново (но не более 1 раза). Важно, чтобы решение задачи анализировалось мысленно.

Экспериментатор показывает испытуемому возможность передвижения фишек, т.е. только по вертикали и горизонтали и приводит образец решения. Время решения каждой задачи экспериментатором фиксируется по секундомеру.

**Затем заполняется таблица 2.1 и, используя рисунок 2.2 и таблицу 2.2, выставляется испытуемому балльная оценка.**

Уровень развития способности (коэффициент А) определяется по формуле:

$$A = \frac{\Sigma t(1 + n_{\text{ош}})}{7 \cdot 100}$$

где  $t$  - сумма времени в секундах;

$n_{\text{ош}}$  - общее количество ошибок.

Исходя из таблицы 2.3 определяется интервал, в который попадает полученный коэффициент  $A$ , и соответствующая ему оценка в баллах.

Таблица 2.1

Определение уровня развития профессионально важных свойств								
Уровни развития профессионально важных свойств	высокий	10	17	10	10	9	9	9
		9	16	10	9	8	8	8
			15	9				
	средний	7	12	8	7	6	6	6
		6	11	7	6	5	5	5
		5	10	6	5	4	4	4
	низкий	4	9	4	3	3	3	3
		3	8	3	2	2	2	2
		2	7	2	1	1	1	1
		1	6	1	0			
		0	5	0				
		оперативное мышление	оперативная память	избирательность	устойчивость внимания	объем внимания	концентрация внимания	логичность мышления

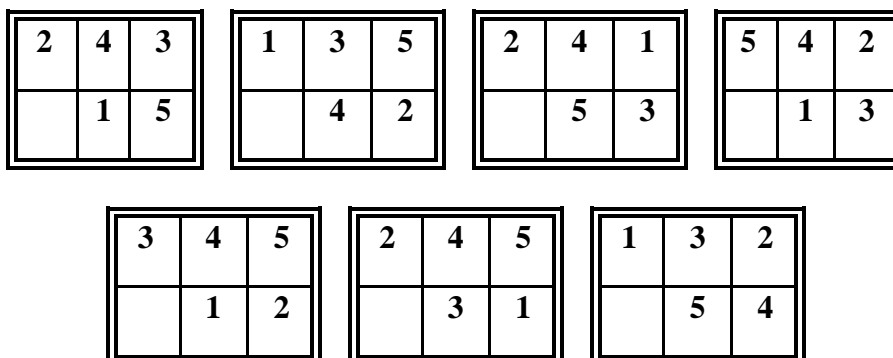


Рис. 2.2. Образцы расстановки фишек

Таблица 2.2

Сводная балльная таблица теста «Фишки»

№ задачи	Последовательность ходов	Кол-во ходов	Время t, с	Оптимальное количество ходов ( $N_{\text{опт}}$ )	Кол-во ошибок ( $n - N_{\text{опт}}$ )
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

### 3. Определение объёма оперативной памяти

До и во время проведения эксперимента испытуемый не должен видеть числовые ряды. Задание состоит из 2-х частей. «Счёт вперёд» и «Счёт обратно». Каждая часть содержит 7 рядов чисел, а каждый ряд имеет 2 варианта.

Таблица 2.3

Оценка измеряемых способностей по тесту «Фишки»

№ п/п	Интервал коэффициентов	Оценка в баллах
1	1,00 - 6,00 и менее	10
2	6,01 - 11,00	9
3	11,01 - 16,0	8
4	16,01 - 21,00	7
5	21,01 - 26,0	6
6	26,01 - 31,00	5
7	31,01 - 36,00	4
8	36,01 - 41,00	3
9	41,01 - 46,00	2
10	46,01 - 51,00	1
11	51,01 - и более	0

#### *Счёт вперёд*

Инструкция испытуемому и экспериментатору: экспериментатор произносит вслух цифры первого варианта первого числового ряда с одинаковыми интервалами между цифрами. Испытуемый через 2-3 сек. должен повторить названные цифры в том же порядке. Затем называется первый вариант 2-го числового ряда и т.д. Так продолжается до того ряда, который испытуемый затрудняется назвать, в котором он делает ошибки. Тогда экспериментатор называет второй вариант того же числового ряда (т.е. ряда, с таким же количеством цифр) и, если испытуемый опять делает ошибки, то эксперимент прекращается, и, как результат, зачисляется количество цифр последнего правильно названного числового ряда. В том случае, если испытуемый назвал правильно цифры второго варианта - эксперимент продолжается.

#### *Счёт обратно*

Эксперимент проводится аналогично, только испытуемый должен назвать цифры в обратном порядке. Например: экспериментатор называет 6-2-9 испытуемый должен назвать 9-2-6.

Объём оперативной памяти определяется как сумма оценок за выполнение двух частей теста (по табл. 3.1, 3.2) и заносится в таблицу 3.4.

Таблица 3.1

Счёт вперёд			
№ ряда	№ варианта	Порядок цифр	Оценка
1	1	5 - 3 - 2	3
	2	6 - 9 - 4	3
2	1	6 - 4 - 3 - 9	4
	2	7 - 2 - 8 - 6	4
3	1	4 - 2 - 7 - 3 - 1	5
	2	7 - 5 - 8 - 3 - 6	5
4	1	6 - 1 - 9 - 4 - 7 - 3	6
	2	3 - 9 - 2 - 4 - 8 - 7	6
5	1	5 - 9 - 1 - 7 - 4 - 2 - 8	7
	2	4 - 1 - 9 - 7 - 3 - 8 - 6	7
6	1	5 - 8 - 1 - 9 - 2 - 6 - 4 - 7	8
	2	3 - 8 - 2 - 9 - 6 - 1 - 7 - 4	8
7	1	2 - 7 - 5 - 8 - 6 - 2 - 5 - 8	9
	2	- 4 7 - 1 - 3 - 9 - 4 - 2 - 5 - 6 - 9	9

Таблица 3.2

Счёт обратно			
№ ряда	№ варианта	Порядок цифр	Оценка
1	1	2 - 4	2
	2	5 - 8	2
2	1	6 - 2 - 9	3
	2	4 - 1 - 5	3
3	1	3 - 2 - 7 - 9	4
	2	4 - 9 - 6 - 8	4
4	1	1 - 2 - 5 - 8 - 6	5
	2	6 - 1 - 8 - 4 - 3	5
5	1	5 - 3 - 9 - 4 - 1 - 8	6
	2	7 - 2 - 4 - 8 - 5 - 6	6
6	1	8 - 1 - 2 - 9 - 3 - 6 - 5	7
	2	4 - 7 - 3 - 5 - 1 - 2 - 3	7
7	1	9 - 4 - 3 - 7 - 6 - 2 - 5 -	8
	2	8 7 - 2 - 8 - 1 - 9 - 6 - 5 - 3	8

Таблица 3.3

Итоговая таблица результатов определения объёма оперативной памяти

«Счёт вперёд» (кол-во баллов)	«Счёт обратно» (кол-во баллов)	Итоговая сумма баллов

#### 4. Определение уровня развития избирательности внимания

С этой целью используется тест «Кольца Ландольта». Тест содержит 660 колец Ландольта, двадцать две строчки по тридцать колец в каждой. Разрыв колец имеет 8 ориентаций.

Инструкция испытуемому: надо вычёркивать кольца с определённой ориентацией во всех 22 строчках. Учитывается время выполнения задания и количество ошибок. Ошибкой считается пропущенное или неправильно вычёркнутое кольцо.

Экспериментатор определяет время выполнения задания. Результаты выполнения задания заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Результаты выполнения задания «Кольца Ландольта»		
Время выполнения задания, t, с	Кол-во ошибок, n	Оценка в баллах

Уровень развития способностей определяется по формуле:

$$B = \frac{t(1+n)}{660}$$

где  $t$  - время в секундах;  $n$  - количество ошибок.

Исходя из таблицы 4.2, определяется интервал, в который попадает полученный коэффициент  $B$ , и соответствующая ему оценка в баллах.

Таблица 4.2

Оценка способностей по тесту «Кольца Ландольта»			
Интервал коэффициентов	Оценка в баллах	Интервал коэффициентов	Оценка в баллах
2,00 - 3,5 и менее	10	11,01 - 12,50	4
3,51 - 5,00	9	12,51 - 14,00	3
5,01 - 6,50	8	14,01 - 15,50	2
6,51 - 8,00	7	15,51 - 17,00	1
8,01 - 9,50	6	17,01 и более	0
9,51 - 11,00	5		

## 5. Определение уровня развития устойчивости внимания

С этой целью используется тест «Куб Линка». Он состоит из 27 кубиков, окрашенных в 3 цвета - красный, жёлтый, зелёный.

Инструкция испытуемому: из 27 кубиков надо сложить куб так, чтобы все его грани были одного цвета.

Экспериментатор определяет время выполнения задания. Результаты выполнения заносятся в таблицы 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1

Хронометраж теста «Куб Линка»	
Время выполнения задания, t, с	Описание затруднений испытуемого при выполнении задания



Таблица 5.2

Результаты выполнения теста «Куб Линка»

Интервал времени	Оценка в баллах	Интервал времени	Оценка в баллах
1,00 - 2,00 и менее	10	7,01 - 8,00	4
2,01 - 3,00	9	8,01 - 9,00	3
3,01 - 4,00	8	9,01 - 10,00	2
4,01 - 5,00	7	10,01 - 11,00	1
5,01 - 6,00	6	11,01 и более	0
6,01 - 7,00	5		

## 6. Определение уровня развития логичности мышления и образования сложных ассоциаций (Тест возрастающей трудности. Методика Равена)

При тестировании используется альбом, состоящий из 30 рисунков, каждый из которых содержит определенную комбинацию некоторых фигур. На каждом рисунке одной фигуры недостает, восполнить недостаток следует с помощью одной из 6-8 пронумерованных фигур, (приведенных на поле рисунка), одна из которых является искомой.

На выполнение задания дается 30 минут. Оценка в баллах выводится в соответствии с таблицами 6.1 и 6.2 и заносится в таблицу 6.3.

Таблица 6.1

Балльная оценка сложности заданий

Номер задания	Очки за ответ	Номер задания	Очки за ответ	Номер задания	Очки за ответ
1	1	11	6	21	7
2	3	12	6	22	8
3	1	13	4	23	6
4	5	14	7	24	7
5	3	15	3	25	4
6	5	16	6	26	7
7	2	17	6	27	8
8	3	18	5	28	7
9	5	19	5	29	8
10	4	20	7	30	6

Таблица 6.2

Суммарная балльная оценка сложности заданий

Оценка в баллах	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Сумма очков за правильные ответы	143	142- 129	128- 115	114- 101	100- 87	86- 73	72- 59	58- 45	до 44

Таблица 6.3

Итоговая оценка уровня развития логичности мышления

Количество правильных ответов		
Оценка в баллах		

## 7. Определение уровня развития концентрации внимания (тест «Перепутанные линии»)

На бланке нанесены 25 перепутанных линий. Необходимо проследить каждую линию слева направо и определить, где она кончается. Выполнять задание следует только путем зрительного контроля, не вести линии карандашом или пальцем.

Начинать тестирование с линии, обозначенной слева № 1 и далее №№ 2, 3... 25. Ответы следует записывать по порядку, например 1-17, 2-14, 3-22 и т.д. На выполнение задания дается 7 минут.

Оценка результата по тесту «Перепутанные линии» производится в соответствии с таблицами 7.1 и 7.2.

Таблица 7.1

Балльная оценка выполнения задания									
Оценка в баллах	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Количество правильных ответов	25	24	22-23	20-21	17-19	14-16	12-13	8-11	до 7

Таблица 7.1

Суммарная балльная оценка выполнения задания		
Количество правильных ответов		
Оценка в баллах		

## 8. Определение объема внимания

### Тест «Карточки»

Смысл исследования - в предъявлении на короткое время (около 1 с) карточки с изображенными на ней фигурами, например точек, крестиков и т.п. Каждая карточка предъявляется дважды.

Сначала берут карточки с 2-мя фигурами, затем с 3-мя и т.д. После предъявления изображения испытуемый в течение 10-15 секунд должен нанести на своем бланке точки (крестики, ...) в соответствии с тем, что он увидел. На воспроизведение 2-5 фигур дается по 10 с., 6-7 фигур - по 15 с., 8-9 фигур - по 20 с.

Определение объема внимания осуществляется по таблице 8.1.

Таблица 8.1

Балльная оценка выполнения задания									
Оценка в баллах	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Количество правильно воспроизведенных фигур на двух картинках	16	15	13	11	10	9	6	4	3

Таблица 8.2

Результаты выполнения теста «Карточки»		
Количество правильно воспроизведенных фигур на двух картинках		
Оценка в баллах		

## 9. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретической частью работы.
2. Студент по рекомендации преподавателя в зависимости от вида выбранной операторской деятельности должен быть протестирован по 5 видам тестов из 7 приведенных в методическом пособии.
3. По результатам тестирования составляется индивидуальный отчет и дается оценка профиля выраженности профессионально значимых свойств оператора (испытуемого).

#### **10. Контрольные вопросы**

1. Какие существуют виды профессионального отбора?
2. Какими показателями характеризуется внимание?
3. Какие существуют формы памяти?
4. Понятие мышления. Характеристики мышления.
5. Основные принципы профотбора по результатам тестирования кандидатов на операторскую деятельность.

## Практическая работа №5

### **Расчет параметров освещенности производственных помещений**

## **Введение**

Источниками света при искусственном освещении являются газоразрядные лампы и лампы накаливания.

Газоразрядные лампы предпочтительнее для применения в системах искусственного освещения. Они имеют высокую световую отдачу (до 100 лм/Вт) и большой срок службы (10 000...14 000 ч). Световой поток от газоразрядных ламп по спектральному составу близок к естественному освещению и поэтому более благоприятен для зрения. Однако газоразрядные лампы имеют существенные недостатки, к числу которых относится пульсация светового потока. При рассмотрении быстро движущихся или вращающихся деталей в пульсирующем световом потоке возникает стробоскопический эффект, который проявляется в искажении зрительного восприятия объектов (вместо одного предмета видны изображения нескольких, искажаются направление и скорость движения). Это явление ведет к увеличению опасности производственного травматизма и делает невозможным выполнение некоторых производственных операций.

В системах производственного освещения применяют люминесцентные газоразрядные лампы, имеющие форму цилиндрической стеклянной трубки. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем люминофора, который преобразует ультрафиолетовое излучение газового электрического разряда в видимый свет. Люминесцентные газоразрядные лампы в зависимости от применяемого в них люминофора создают различный спектральный состав света. Различают несколько типов ламп: дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), холодного белого (ЛХБ), теплого белого (ЛТБ) и белого света (ЛБ).

Кроме люминесцентных газоразрядных ламп (низкого давления), в производственном освещении применяют газоразрядные лампы высокого давления: лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные); галогенные лампы ДРИ (дуговые ртутные с йодидами); ксеноновые лампы ЛКсТ (дуговые ксеноновые трубчатые), которые в основном применяются для освещения территорий предприятия; натриевые лампы ДНаТ (дуговые натриевые трубчатые), используемые для освещения цехов с большой высотой (в частности, многих литейных цехов).

Применяются для освещения производственных помещений также лампы накаливания, в которых свечение возникает путем нагревания нити накала до высоких температур. Они просты и надежны в эксплуатации. Недостатками их являются низкая световая отдача (не более 20 лм/Вт), ограниченный срок службы (до 1000 ч), преобладание излучения в желто-красной части спектра, что искажает цветовое восприятие. В осветительных системах используют лампы накаливания различных типов: вакуумные (НВ), газонаполненные биспиральные (НБ), биспиральные с криптоноксеноновым наполнением (НБК), зеркальные с диффузно отражающим слоем и др. Все большее распространение получают лампы накаливания с йодным циклом — галогидные лампы, которые имеют лучший спектральный состав света и хорошие экономические характеристики.

## **1. Теоретические основы определения параметров освещенности [2, 3, 4]**

Наиболее важной областью оптического спектра электромагнитных излучений является видимый свет (излучение с длиной волны от 0,38...0,4 до 0,75...0,78 мкм). Он обеспечивает зрительное восприятие, дающее около 90 % информации об окружающей среде, влияет на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на работоспособность и самочувствие человека. Оптимальные параметры видимого света по интенсивности, спектральному составу и режиму освещения зависят от требований организма к условиям конкретной деятельности, а также от характера и интенсивности одновременно воздействующих других факторов среды — акустических, цветовых, пространственно-планировочных и др.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную; работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности. К таким же последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, нарушает механизм сумеречного зрения.

Воздействий чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

Световую среду формируют следующие составляющие:

*Лучистый поток  $\Phi$*  — это мощность лучистой энергии электромагнитного поля в оптическом диапазоне волн, Вт.

*Световой поток  $F$*  — это мощность световой энергии, оцениваемой по зрительному восприятию, т.е. величина  $F$  является не только физической, но и физиологической, лм.

*Видность  $V$*  — отношение светового потока к лучистому. Максимальная видность  $V_{\max}$ , (при длине 554 нм) составляет 683 лм/Вт. Видность излучения характеризует чувствительность глаза к различным составляющим светового спектра.

*Сила света  $J$*  — пространственная объективная плотность светового потока в пределах телесного угла, кд.

*Освещенность  $E$*  — плотность светового потока на освещаемой поверхности, лк.

Яркость поверхности  $L_\alpha$  в данном направлении  $\alpha$  определяется и отношения силы света  $dL_\alpha$ , излучаемой поверхностью  $dS$  в это направлении, к проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению:

$$L_\alpha = \frac{dJ_\alpha}{dS \cos \alpha}, \text{ кд}$$

*Коэффициент отражения  $\rho$*  характеризует способность поверхности отражать падающий на нее световой поток; определяется по формуле:

$$\rho = \frac{F_{\text{отр}}}{F_{\text{пад}}},$$

где  $F_{\text{отр}}$  — отраженный световой поток, лм;

$F_{\text{пад}}$  — световой поток, падающий на поверхность, лм.

Качественные показатели систем производственного освещения являются комплексными и определяют условия зрительной работы. К ним относятся:

*Фон* — поверхность, непосредственно прилегающая к объекту различения. Под объектом различения понимается минимальный элемент рассматриваемого предмета, который необходимо выделить для зрительной работы.

*Контраст объекта с фоном  $K$*  — определяется из соотношения яркостей рассматриваемого объекта и фона

$$K = \frac{L_\phi - L_o}{L_\phi}.$$

*Видимость  $V$*  — величина, комплексно характеризующая зрительные условия работы. Зависит от освещенности, размера объекта, его яркости, контраста объекта с фоном и др. Оценивается видимость числом пороговых контрастов  $K_{\text{пор}}$ , содержащихся в действительном  $K_d$  контрасте:

$$V = \frac{K_d}{K_{\text{пор}}}.$$

*Пороговый контраст* — наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект становится неразличимым.

*Показатель ослепленности  $P$*  — это критерий оценки слепящего действия источников света, вычисляемый по формуле:

$$P = \left( \frac{V_1}{V_2 - 1} \right) \cdot 1000,$$

где  $V_1$  — видимость объекта различения при экранированном источнике света;

$V_2$  — видимость при разэкранированном источнике света.

При отсутствии экрана (плафона) на источнике искусственного света яркость объекта и фона увеличивается за счет появления бликов  $L_{\phi}$ , что приводит к снижению показателей контрастности:

$$K = [(L_{\phi} + L_B) - (L_O + L_B)] / (L_{\phi} + L_B),$$

а значит и к уменьшению показателя видимости.

*Коэффициент пульсации освещенности*  $K_n$  — критерий оценки изменения освещенности поверхности вследствие периодического изменения во времени светового потока источника света

$$K_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{cp}} \cdot 100\%,$$

где  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$  и  $E_{cp}$  — максимальное, минимальное и среднее значение освещенности за период ее колебания.

## 2. Методика расчета [1, 4, 5]

При боковом естественном освещении площадь световых проемов рассчитывается по следующей формуле:

$$S = \frac{S_{\Pi} \cdot e \cdot K_3 \cdot \eta_0 \cdot K_{зд}}{\tau_0 \cdot r_1 \cdot 100}, \text{ м}^2$$

где  $S_{\Pi}$  - площадь пола;

$e$  - КЕО;

$K_3$  - коэффициент запаса, который обычно в расчетах освещения для предприятий пищевой промышленности как для естественного, так и для искусственного освещения принимается равным 1,3;

$K_{зд}$  - коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, лежит в интервале от 1 до 1,7;

$\eta_0$  - световая характеристика окон (принимается в зависимости от  $L/B$  и  $B/H$ ) в среднем  $\eta_0 = 10$ ;

$\tau_0$  - общий коэффициент светопропускания, в среднем равный 0,6;

$r_1$  - коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражаемому от поверхности помещения и подстилающего слоя на промплощадке = 1,2.

Расчет общего равномерного искусственного освещения методом светового потока состоит в определении необходимого числа светильников для создания требуемой освещенности. Задав типом светильника, по справочным данным определяют создаваемый им световой поток и коэффициент использования. Число светильников определяют по формуле

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta}, \text{ шт.},$$

где  $Z$  - коэффициент неравномерности освещения (отношение средней к минимальной освещенности), принимается 1,2;

$n$  - число ламп в светильнике;

$F$  - световой поток светильника, лм;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока;

$K_3$  - коэффициент запаса;

$E$  - нормируемая освещенность, лк;

$S$  - освещаемая поверхность, м<sup>2</sup>.

Делением общего числа светильников  $N$  на количество рядов определяется число светильников в каждом ряду, а так как длина светильника известна, равна 1,2 м, то можно найти полную длину всех светильников ряда. Если полученная длина близка к длине помещения, ряд получается сплошным, если меньше длины помещения, ряд выполняют с разрывами, а если больше - увеличивают число рядов или каждый ряд выполняют из сдвоенных или строенных светильников.

Мощность осветительной установки по методу удельной мощности определяется по следующей формуле:

$$W = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{1000 \cdot E_{CP}}, \text{ кВт},$$

где  $E$  - нормируемая освещенность, лк;

$E_{CP}$  - средняя условная освещенность, лк, в контрольной точке, определяется по графикам пространственных изолукс, при равномерном размещении осветительных приборов общего освещения, при расходе электроэнергии 1 Вт/м<sup>2</sup>;

$K_3$  - коэффициент запаса;

$S$  - площадь освещаемой поверхности.

Необходимое число ламп выбранной мощности определяется по формуле

$$N_w = \frac{W}{W_{\text{л}}}, \text{ шт}$$

где  $W$  - мощность осветительной установки;

$W_{\text{л}}$  - мощность одной лампы.

Точечный метод применяют для расчета локализованного и комбинированного освещения, освещения наклонных и вертикальных плоскостей.

При расчете точечным методом значение освещенности в расчетной точке находят суммированием освещенностей, создаваемых в этой точке каждым из источников света

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \text{ причем } E_i = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{K_3 \cdot H^2},$$

где  $I_{\alpha}$  - сила света  $i$ -го источника в направлении на расчетную точку для данного типа светильника при установке в нем лампы со световым потоком  $F = 1000$  лм, определяется по кривой силы света (КСС);

$H$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью;

$\alpha$  - угол между направлением на расчетную точку и нормалью к рабочей поверхности;

$K_3$  - коэффициент запаса.

Если полученное значение освещенности в расчетной точке не соответствует требуемому, то пропорционально требуемой освещенности увеличивают или уменьшают значение  $F$  и по полученному значению светового потока подбирают соответствующую лампу. Если лампа найденной мощности не может быть установлена в светильнике, то необходимо либо изменить тип светильника, либо их расстановку и высоту подвеса.

### 3. Практические задания

**Задача 1.** Сила света, испускаемого элементом поверхности площадью  $S$  (м<sup>2</sup>) под углом  $\varphi$  к нормали составляет  $I$  (кд). Определить яркость  $L$  (кд/м<sup>2</sup>) поверхности.



Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$S, \text{см}^2$	0,5	1,5	1,0	2,0	1,0
$\varphi, \text{град}$	60	45	30	60	45
$I, \text{кд}$	<b>0,25</b>	<b>1,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>0,5</b>

**Задача 2.** Определить коэффициент отражения  $\rho$  и среднюю освещенность  $E$  (лк) стены площадью  $S$  ( $\text{м}^2$ ); дать оценку фона (светлый, средний, темный). Световой поток  $F$  (лм), отражается  $F_{\text{отр}}$  (лм).

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$S, \text{м}^2$	4	3	5	8	2
$F, \text{лм}$	600	900	250	600	1000
$F_{\text{отр}}, \text{лм}$	<b>150</b>	<b>450</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>300</b>

**Задача 3.** Определить яркость объекта различения  $L_o$  ( $\text{кд}/\text{м}^2$ ), если его контраст с более темным фоном равен  $K$ . Яркость фона  $L_f$  дана в таблице.

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$L_f, \text{кд}$	200	1000	400	500	800
$K$	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>

**Задача 4.** Найдите минимальное и максимальное значение освещенности рабочей поверхности, если коэффициент пульсаций освещенности равен  $K_n$  (%), а среднее значение освещенности  $E_{\text{ср}}$  (лк).

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$K_n, \%$	5	10	15	20	30
$E_{\text{ср}}, \text{лк}$	<b>400</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>150</b>	<b>75</b>

**Задача 5.** В производственном помещении площадью  $S$  ( $\text{м}^2$ ) со средним выделением пыли минимальная освещенность по нормам составляет  $E$  (лк). Освещение осуществляется светильникам прямого света. Напряжение сети 220 (В). Мощность применяемых ламп  $W_{\text{л}}$  (Вт). Определить мощность осветительной установки  $W$  (Вт) и число ламп  $N$ , необходимое для создания общего равномерного освещения. Расчет произвести методом определения удельной мощности.  $E_{\text{ср}}$  принять равным 4,15 лк, коэффициент запаса  $K_z$  указан в таблице.

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$S, \text{м}^2$	84	120	240	200	400
$E, \text{лк}$	300	75	200	200	20
$N, \text{Вт}$	40	80	80	80	40
$K_z$	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,24</b>

**Задача 6.** Рассчитать площадь световых проемов  $S$  ( $\text{м}^2$ ) и процент заполнения стен световыми проемами в производственном помещении размерами  $B \times L \times H$ , м. Выполняемая зрительная работа имеет нормируемое значение КЕО в соответствии со СНиП, равное  $e, \%$ . Соседние здания, затеняющие производственное помещение, отсутствуют ( $K_{\text{зд}}=1$ ).

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$L$ , м	100	12	24	120	5
$B$ , м	30	7	12	18	3
$H$ , м	4	4	5	4,8	2,5
$e$ , %	1,0	1,5	0,3	1	1,5

Задача 7. Рассчитать общее искусственное освещение (определить количество светильников) для помещения, указанного в задаче №27, используя метод светового потока. Помещение характеризуется незначительными пылевыведениями. Норма освещенности для работ, выполняемых в помещении  $E$  (лк). Для освещения используются газоразрядные люминесцентные лампы ЛБ, мощностью 40 Вт, в светильниках ПВЛМ-2 с двумя лампами, создающими световой поток  $F=3980$  лм, с коэффициентом использования светового потока равным  $\eta = 0,85$ . Определить число светильников в каждом ряду и полную длину всех светильников ряда, приняв минимальное число рядов светильников. Длина светильника  $l = 1,2$  м. Расстояние между светильниками в ряду 0,3 м.

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$E$ , лк	200	300	50	75	200

Задача 8. Найдите освещенность  $E$  (лк) горизонтальной рабочей поверхности, которая создается двумя светильниками, подвешенными на высоте  $H$  (м) от уровня пола так, что свет от них падает на поверхность под углом  $\alpha$  к нормали, если известно, что сила света, испускаемого каждым из светильников в этом направлении,  $I$  (кд). Коэффициент запаса  $K_3=1,3$ . Высота рабочей поверхности – 0,8 м.

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$I$ , кд	800	600	500	750	650
$H$ , м	2,8	3	3,5	4	3,2
$\alpha$ , град	60	30	20	15	45

## Практическая работа №6

### **Прогнозирование масштабов заражения при авариях и разрушениях химически опасных объектов**

## **Введение**

Ноксология – наука об опасностях материального мира Вселенной. Ноксология изучает происхождение и совокупное действие опасностей, описывает зоны и показатели их влияния, оценивает ущерб, наносимый человеку и природе.

Одной из ключевых задач, отражающих практическое назначение ноксологии, является прогнозирование характера протекания различных технологических процессов в пределах опасных зон. Такие зоны зачастую возникают при производстве, хранении, использовании и транспортировке больших количеств пожароопасных, взрывоопасных и токсичных веществ.

Будущим инженерам для успешного решения вопросов прогнозирования аварий и минимизации их последствий необходимо знать и целесообразно применять основные подходы по оценке их опасности.

### **1. Назначение методики [3, 7]**

1. Заблаговременное и оперативное прогнозирование масштабов заражения на случай выбросов аварийно химически опасных веществ (АХОВ) в окружающую среду при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Она позволяет осуществлять прогнозирование масштабов зон заражения:

- при авариях на технологических емкостях и хранилищах;
- при транспортировке;
- при разрушении химически опасных объектов.

2. Методика предназначена для случаев выброса АХОВ в атмосферу в газообразном, парообразном или аэрозольном состояниях.

3. Внешние границы зоны заражения рассчитываются по пороговой токсодозе для данного АХОВ при ингаляционном воздействии на организм человека.

4. Масштабы заражения рассчитываются:

- для сжиженных газов – отдельно для первичного и вторичного облаков;
- для сжатых газов – только для первичного облака;
- для жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды, только для вторичного облака.

### **2. Допущения методики [3]**

При прогнозировании химической обстановки принимаются следующие допущения:

1. Емкость, содержащая АХОВ разрушается полностью.

2. Толщина слоя разлившейся свободно по подстилающей поверхности жидкости ( $h$ ) принимается равной 0,05м по всей площади разлива ( $h=0,05$ м).

3. При проливе АХОВ в поддон или обваловку толщина слоя жидкости ( $h$ ) принимается равной:

$$h = H - 0,2,$$

где  $H$  - высота поддона (обваловки), м.

4. При разливах из емкостей, расположенных группой, имеющих общий поддон (обваловку)  $h = Q_0/(F \times d)$

5. Предельное время пребывания людей в зоне химического заражения и продолжительность сохранения неизменными метеоусловий (степени вертикальной устойчивости атмосферы, направления и скорости ветра) составляют 4 часа. По истечении указанного времени прогноз обстановки должен уточняться.

6. При авариях на газо- и продуктопроводах выброс АХОВ принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекающими (например, для аммиакопроводов  $Q_0 = 275...500$  т).

### **3. Рекомендации [3]**

1. При заблаговременном прогнозировании масштабов заражения на случай производственных аварий в качестве исходных данных рекомендуется принимать:

- за количество АХОВ в выбросе ( $Q_0$ ) – количество АХОВ в максимальной по объему единичной емкости (технологической, складской, транспортной), а для сейсмических районов - общий запас АХОВ;

- метеорологические условия – инверсия, скорость ветра 1 м/с.

2. Для прогноза масштабов заражения непосредственно после аварии должны браться конкретные данные о количестве выброшенного (разлившегося) АХОВ и реальные метеоусловия.

#### 4. Исходные данные

Общее количество АХОВ на объекте и данные о размещении их запасов в технологических емкостях и трубопроводах.

Количество АХОВ, выброшенных в атмосферу и характер их разлива на подстилающей поверхности:

- «свободно»;
- «в поддон»;
- «в обваловку».

Высота поддона или обваловки складских емкостей, (площадь общего поддона для группы емкостей).

Метеорологические условия:

- температура воздуха;
- скорость ветра на высоте 10 м (на высоте флюгера);
- степень вертикальной устойчивости атмосферы (время суток, облачность).

Время прошедшее после начала аварии.

Расстояние до объекта.

#### 5. Модель расчета [3, 8]

##### *Определение толщины слоя разлитой жидкости*

При «свободном» разливе АХОВ  $h=0,05$ м.

При разливе АХОВ в поддон или обваловку  $h = H - 0,2$ .

При разливах из емкостей, расположенных группой, имеющих общий поддон (обваловку)

$$h = Q_0 / (F \times d)$$

##### *Определение продолжительности поражающего действия (времени испарения)*

Продолжительность поражающего действия АХОВ определяется временем его испарения с площади разлива ( $T$ ). Оно определяется по формуле:

$$T = h \times d / (K_2 \times K_4 \times K_7)$$

##### *Определение коэффициента, зависящего от времени прошедшего после начала аварии ( $K_6$ )*

Если время прошедшее после аварии меньше времени испарения АХОВ ( $N < T$ ), то

$$K_6 = N^{0,8}$$

Если время прошедшее после аварии больше или равно времени испарения АХОВ ( $N \geq T$ ), то

$$K_6 = T^{0,8}$$

При времени испарения меньше одного часа ( $T < 1$  часа)  $K_6$  принимается для 1 часа.

##### *Определение эквивалентного количества вещества в первичном облаке*

Эквивалентное количество вещества в первичном облаке  $Q_{13}$  определяется по формуле:

$$Q_{13} = K_1 \times K_3 \times K_5 \times K_7 \times Q_0$$

При авариях на хранилищах сжатого газа  $Q_0$  рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = d \times V_x$$

При авариях на газопроводе  $Q_0$  рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = 0,01 \times n \times d \times V_r$$

Для сжиженных газов, не вошедших в таблицу значение  $K_7$  принимается равным 1, а коэффициент  $K_1$  определяется по формуле:

$$K_1 = \frac{c_p \cdot \Delta T}{\Delta H_{исп}}$$

$c_p$  – удельная теплоемкость жидкого АХОВ;

$\Delta T$  – разность температур жидкого АХОВ до и после разрушения емкости, °С;

$\Delta H_{исп}$  – удельная теплота испарения жидкого АХОВ при температуре испарения, кДж/кг.

#### **Определение эквивалентного количества вещества во вторичном облаке**

Эквивалентное количество вещества во вторичном облаке  $Q_{23}$  определяется по формуле:

$$Q_{23} = (1 - K_1) \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6 \times K_7 \times Q_0 / (h \times d)$$

При определении  $Q_{23}$  для АХОВ, не вошедших в таблицу, значение коэффициента  $K_7$  принимается равным 1 ( $K_7 = 1$ ), а коэффициент  $K_2$  определяется по формуле:

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{-6} \times p \times \sqrt{m}$$

$p$  – давление насыщенного пара вещества при заданной температуре воздуха, мм рт. ст.;

$m$  – молекулярная масса вещества.

#### **Определение эквивалентного количества вещества в облаке зараженного воздуха при полном разрушении химически опасного объекта**

В случае полного разрушения ХОО для прогнозирования глубины зоны заражения рекомендуется брать данные на одновременный выброс суммарного запаса АХОВ на объекте и считать скорость ветра 1 м/с, а состояние атмосферы – инверсия.

Эквивалентное количество АХОВ в облаке зараженного облака определяется аналогично методу для вторичного облака при свободном разливе. При этом суммарное эквивалентное количество  $Q_3$  рассчитывается по формуле:

$$Q_3 = 20 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot \sum_{i=1}^n (K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{6i} \cdot K_{7i} \times \frac{Q_i}{d_i})$$

где  $i$  – тип АХОВ;  $n$  – количество типов АХОВ.

#### **Расчет глубины зоны заражения**

Расчет глубины зоны заражения ведется с использованием таблиц 5.1-5.11.

В таблице 5.1 приведены максимальные значения глубины зоны заражения первичным ( $\Gamma_1$ ) и вторичным ( $\Gamma_2$ ) облаком АХОВ. Они определяются по эквивалентному количеству вещества и скорости ветра на высоте 10 м.

Полная глубина ( $\Gamma$ ) зоны заражения, обусловленной воздействием первичного и вторичного облака АХОВ, определяется по формуле:

$$\Gamma = \Gamma_{\max} + 0,5 \times \Gamma_{\min}$$

$\Gamma_{\max}$  - наибольший из размеров  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ .

$\Gamma_{\min}$  - наименьший из размеров  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ .

Затем рассчитывается предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс:

$$\Gamma_{\Pi} = N \times v$$

Полученное значение  $\Gamma$  сравнивается со значением  $\Gamma_{\Pi}$ .

За окончательную расчетную глубину зоны заражения ( $\Gamma_3$ ) принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

#### **Определение площади зоны заражения АХОВ**

Площадь зоны возможного заражения определяется по формуле:

$$S_B = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma_3^2 \cdot \varphi$$

Площадь зоны фактического заражения определяется по формуле:

$$S_{\Phi} = K_8 \cdot \Gamma_3^2 \cdot N^{0,2}$$

#### **Определение времени подхода зараженного облака к объекту**

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

$$t = X/v$$

### Порядок нанесения зон заражения на топографические карты и схемы

Зона возможного заражения облаком АХОВ на картах (схемах) ограничена окружностью, полуокружностью или сектором, имеющим угловые размеры  $\varphi$  и радиус, равный глубине зоны заражения  $\Gamma$ . Угловые размеры в зависимости от скорости ветра по прогнозу приведены в п. 3. Центр окружности, полуокружности или сектора совпадает с источником заражения.

Зона фактического заражения, имеющая форму эллипса, включается в зону возможного заражения. Ввиду возможных перемещений облака АХОВ под воздействием ветра фиксированное изображение зоны фактического заражения на карты (схемы) не наносится.

На топографических картах и схемах зона возможного заражения имеет вид окружности, полуокружности или сектора (рис. 5.1).

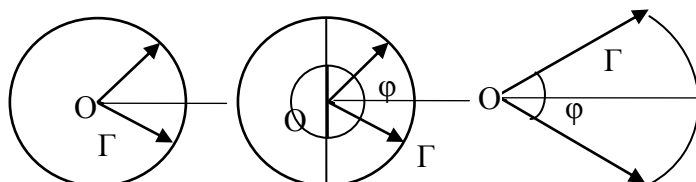


Рис. 5.1. Формы нанесения зон заражения на карту

1. При скорости ветра по прогнозу меньше 0,5 м/с зона заражения имеет вид окружности. Точка "О" соответствует источнику заражения; угол  $\varphi = 360^\circ$ ; радиус окружности равен  $\Gamma$ .
2. При скорости ветра по прогнозу 0,6-1 м/с зона заражения имеет вид полуокружности. Точка "О" соответствует источнику заражения; угол  $\varphi = 180^\circ$ ; радиус полуокружности равен  $\Gamma$ , биссектриса угла совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра.
3. При скорости ветра по прогнозу больше 1 м/с зона заражения имеет вид сектора. Точка "О" соответствует источнику заражения.

$\varphi = 90^\circ$  при  $U = 1,1 \dots 2$  м/с

$\varphi = 45^\circ$  при  $U > 2$  м/с.

Радиус сектора равен  $\Gamma$ ; биссектриса сектора совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра.

Таблица 5.1

Перечень величин используемых в методике

Обозн.	Наименование	Ед. изм.
h	Толщина слоя разлитой жидкости	м
H	Высота поддона (обваловки)	м
$Q_0$	Количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества	т
$Q_{\Sigma}$	Суммарное эквивалентное количество АХОВ на ХОО	т
$Q_{2\lambda}$	Эквивалентное количество АХОВ во вторичном облаке	т
$Q_{1\lambda}$	Эквивалентное количество АХОВ в первичном облаке	т
F	Площадь общего поддона для группы емкостей	м <sup>2</sup>
d	Плотность АХОВ	т/м <sup>3</sup>
$V_x$	Объем хранилища	м <sup>3</sup>
n	Содержание АХОВ в природном газе	%
$V_{\Gamma}$	Объем секции газопровода между автоматическими отсекающими	м <sup>3</sup>
T	Время испарения АХОВ с площади разлива	час
N	Время прошедшее после начала аварии	час
v	Скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха	км/ч

$\Gamma_{\max}$	Наибольший из размеров $\Gamma_1$ и $\Gamma_2$	км
$\Gamma_{\min}$	Наименьший из размеров $\Gamma_1$ и $\Gamma_2$	км
$\Gamma_1$	Глубина зоны заражения первичным облаком АХОВ	км
$\Gamma_2$	Глубина зоны заражения вторичным облаком АХОВ	км
$\Gamma$	Полная глубина зоны заражения, обусловленной воздействием первичного и вторичного облака АХОВ	км
$\Gamma_{\text{п}}$	Предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс	км
$\Gamma_3$	Расчетная глубина зоны заражения	км
$S_{\text{в}}$	Площадь зоны возможного заражения АХОВ	км <sup>2</sup>
$\varphi$	Угловые размеры зоны возможного заражения	град
$t_{\text{в}}$	Температура воздуха,	°С
$U$	Скорость ветра на высоте 10 м	м/с
СВУ А	Степень вертикальной устойчивости атмосферы	
$X$	Расстояние от источника заражения до заданного объекта	км
$t$	Время подхода облака АХОВ к заданному объекту	час

Таблица 5.2

Используемые коэффициенты			
Обозн.	Наименование	Способ определения	Значение
$K_1$	Коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ		
$K_2$	Коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ		
$K_3$	Коэффициент равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого АХОВ		
$K_4$	Коэффициент, учитывающий скорость ветра		
$K_5$	Коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы		
$K_6$	Коэффициент, зависящий от времени $N$ , прошедшего после начала аварии		
$K_7$	Коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха		
$K_8$	Коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости атмосферы		



Таблица 5.3

Исходные данные		
№	Параметр	Значение
1.	Тип и фазовое состояние АХОВ	
2.	Количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, $Q_0$ , т	
3.	Характер разлива АХОВ на подстилающей поверхности	
4.	Высота поддона или обваловки, Н, м	
5.	Площадь общего поддона для группы емкостей, $F$ , $m^2$	
6.	Температура воздуха, $t_v$ , °С	
7.	Скорость ветра на высоте 10 м, $U$ , м/с	
8.	Степень вертикальной устойчивости атмосферы, СВУА (или время суток и облачность)	
9.	Время прошедшее после начала аварии, N, час	
10.	Расстояние до объекта, X, км	

Таблица 5.4

Степень вертикальной устойчивости воздуха								
Скорость ветра по прогнозу	Ночь		Утро		День		Вечер	
	ясно, переменная сплошная облачность	ясно, переменная облачность	ясно, переменная облачность	сплошная облачность	ясно, переменная сплошная облачность	ясно, переменная сплошная облачность	ясно, переменная сплошная облачность	
<2	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из
2...3,9	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	из	из
>4	из	из	из	из	из	из	из	из

Примечания:

1. Обозначения: "из" - изотермия, "ин" - инверсия, "к" - конвекция, буквы в скобках - при снежном покрове.
2. "Утро" - период времени, равный 2-м часам после восхода Солнца, "вечер" - период времени, равный 2-м часам после захода Солнца. Промежутки времени между "утром" и "вечером" и между "вечером" и "утром" - соответственно "день" и "ночь".
3. Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха в расчетах принимаются на момент аварии.

Таблица 5.5

Характеристики АХОВ				
Тип АХОВ и условия хранения	Плотность АХОВ, $d, \text{т/м}^3$		Температура кипения, $t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Пороговая токсодоза, $\text{РС}\tau_{50} \text{ мг} \cdot \text{мин/л}$
	Газ	Жидкость		
Аммиак (хранение под давлением)	0,0008	0,681	Минус 33,42	15
Аммиак (Изотермическое хранение)	-	0,681	Минус 33,42	15
Хлор	0,0032	1,553	Минус 34,1	0,6
Фосген	0,0035	1,432	+8,2	0,6
Окислы азота	-	1,491	+21,0	1,5
Водород цианистый	-	0,687	+25,7	0,2
Соляная кислота (концентрированная)	-	1,198	-	2

Продолжение табл. 5.5

Тип АХОВ и условия хранения	Плотность АХОВ, $d, \text{т/м}^3$		Температура кипения, $t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Пороговая токсодоза, $\text{РС}\tau_{50} \text{ мг} \cdot \text{мин/л}$
	Газ	Жидкость		
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	Минус 10,1	1,8

Примечания:

Плотности газообразных АХОВ приведены для атмосферного давления. При давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности определяются путем умножения табличного значения на значение давления в атмосферах (1 атм. = 760 мм рт. ст.).

Таблица 5.6

Значения коэффициентов $K_1, K_2, K_3, K_7$								
Тип АХОВ и условия хранения	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_7$ для температуры воздуха, $^\circ\text{C}$				
				-40	-20	0	+20	+40
Сжатые газы	1	-	-	1	1	1	1	1
Аммиак (хранение под давлением)	0,18	0,025	0,04	П0 В-09	П-03 В-1	П-06 В-1	П-1 В-1	П-14 В-1
Аммиак (Изотермическое хранение)	0,01	0,025	0,04	П0 В-09	П-1 В-1	П-1 В-1	П-1 В-1	П-1 В-1
Хлор	0,18	0,052	1	П0 В-09	П-03 В-1	П-06 В-1	П-1 В-1	П-14 В-1
Фосген	0,05	0,061	1	П0 В-01	П0 В-03	П0 В-07	П-1 В-1	П-27 В-1
Окислы азота	0,04	0,04	0	0	0	04	1	1
Водород цианистый	0,06	0,041	0,5	П0 В-01	П0 В-03	П0 В-08	П-1 В-1	П-25 В-1
Соляная кислота (концентрированная)	0	0,021	0,3	0	0,1	0,3	1	1,6

Сернистый ангидрид	0,11	0,049	0,33 3	П0 В- 02	П0 В- 05	П- 03 В-1	П-1 В-1	П- 1,7 В-1
--------------------	------	-------	-----------	----------------	----------------	-----------------	------------	------------------

Примечания:

Значения  $K_7$  приведены: П – для первичного облака; В – для вторичного облака. Значение  $K_1$  для изотермического хранения аммиака приведено для случая разлива в поддон.

Таблица 5.7

Значения коэффициента $K_4$											
Скорость ветра, $U$ , м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$K_4$	1	1,3 3	1,6 7	2	2,3 4	2,6 7	3	3,3 4	3,6 7	4	5,6 8

Таблица 5.8

Значения коэффициентов $K_5$ , $K_8$			
Степень вертикальной устойчивости атмосферы	Инверсия	Изотермия	Конвекция
$K_5$	1	0,23	0,08
$K_8$	0,081	0,133	0,235

Таблица 5.9

Угловые размеры зоны возможного заражения АХОВ в зависимости от скорости ветра

$U$ , м/с	меньше 0,5	0,6...1,0	1,1...2,0	больше 2,0
$\varphi$ , град	360	180	90	45

Таблица 5.10

Скорость ветра, м/с	Глубина зоны заражения, км								
	Эквивалентное количество АХОВ, т								
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20
1 и менее	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49
15 и более	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т								
	30	50	70	100	300	500	700	1000	2000
1 и менее	38,1 3	52,6 7	65,2 3	81,9 1	166	231	288	363	572
2	21,0 2	28,7 3	35,3 5	44,0 9	87,7 9	121	150	189	295
3	15,1 8	20,5 9	25,2 1	31,3 0	61,4 7	84,5 0	104	130	202
4	12,1 8	16,4 3	20,0 5	24,8 0	48,1 8	65,9 2	81,17	101	157
5	10,3 3	13,8 8	16,8 9	20,8 2	40,1 1	54,6 7	67,15	83,60	129
6	9,06	12,1 4	14,7 9	18,1 3	34,6 7	47,0 9	56,72	71,70	110
7	8,14	10,8 7	13,1 7	16,1 7	30,7 3	41,6 3	50,93	63,16	96,30
8	7,42	9,90	11,9 8	14,6 8	27,7 5	37,4 9	45,79	56,70	86,20
9	6,86	9,12	11,0 3	13,5 0	25,3 9	34,2 4	41,76	51,60	78,30
10	6,50	8,50	10,2 3	12,5 4	23,4 9	31,6 1	38,50	47,53	71,90
11	6,20	8,01	9,61	11,7 4	21,9 1	29,4 4	35,81	44,15	66,62
12	5,94	7,67	9,07	11,0 6	20,5 8	27,6 1	35,55	41,30	62,20
13	5,70	7,37	8,72	10,4 8	19,4 5	26,0 4	31,62	38,90	58,44
14	5,50	7,10	8,40	10,0 4	18,4 6	24,6 9	29,95	36,81	55,20
15 и более	5,31	6,86	8,11	9,70	17,6 0	23,5 0	28,48	34,98	52,37

Таблица 5.11

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

СВУ А	Скорость ветра, $U$ , м/с														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Инверсия	5	10	16	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изотермия	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
Конвекция	7	14	21	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 6. Практические задания [3, 6]

На химически опасном объекте произошла авария, в результате которой в окружающую среду было выброшено аварийно химически опасное вещество (АХОВ). По направлению распространения зараженного воздуха на некотором расстоянии от места аварии начинается жилищная застройка города “N”. Оповещение населения произведено через один час после аварии. Население противогАЗами не обеспечено.

Оценить возможные последствия аварии для населения города “N” на заданное время после аварии.

Дано:

- вид АХОВ, масса  $Q$  выброса, вид разлива (свободный или в поддон), время аварии  $t_a$ ;
- метеорологические условия: температура воздуха  $T$ , облачность (ясно или сплошная), скорость ветра  $V$ ; снежный покров при отрицательной температуре воздуха отсутствует;
- жилищная застройка города “N” начинается на расстоянии  $R$  от места аварии, глубина застройки  $G_z$ , плотность населения  $P$ ;
- время после аварии, на которое требуется оценить ее последствия -  $t_n$ .

Практическая работа №7

**Расчет параметров электробезопасности**

## ПРЕДИСЛОВИЕ [1, 5]

Электрический ток – одна из основных опасностей, которые окружают человека в его повседневной жизни. Основным источником этой опасности являются различные электроустановки.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства, сигнализация и плакаты. Надежная изоляция проводов от земли и корпусов электроустановок создает безопасные условия для обслуживающего персонала. Основная характеристика изоляции — сопротивление. Во время работы электроустановок состояние электрической изоляции ухудшается вследствие нагрева, механических повреждений, влияния климатических условий и окружающей производственной среды. Состояние изоляции характеризуется сопротивлением току утечки. Согласно ПУЭ сопротивление изоляции в электроустановках напряжением до 1000 В должно быть не менее 0,5 МОм. Сопротивление изоляции необходимо регулярно контролировать. Для периодического контроля изоляции применяется мегаомметр, для постоянного контроля — специальные приборы контроля изоляции (ПКИ).

Для обеспечения недоступности токоведущих частей оборудования и электрических сетей применяют сплошные и сетчатые ограждения. Сплошные конструкции ограждений (кожухи, крышки, шкафы, закрытые панели и т.п.), а также сетчатые конструкции применяют в электроустановках и сетях напряжением как до 1000 В, так и свыше 1000 В. В последних должны наблюдаться допустимые расстояния от токоведущих частей до ограждений, которые нормируются ПУЭ.

Блокировку применяют в электроустановках напряжением свыше 250 В, в которых часто производят работы на ограждаемых токоведущих частях. С помощью блокировки автоматически снимается напряжение (отключается питание) с токоведущих частей электроустановок при прикосновении к ним, без предварительного отключения питания. По принципу действия блокировки бывают механические, электрические и электромагнитные.

Для защиты от поражения электрическим током при работе с ручным электроинструментом, переносными светильниками или в помещениях с особой опасностью применяют пониженные напряжения питания электроустановок: 42, 36 и 12 В.

При обслуживании и ремонте электроустановок и электросетей обязательно использование электрозащитных средств, к которым относятся: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, калоши, коврики, указатели напряжения. Для предупреждения персонала о наличии напряжения или его отсутствии в электроустановках применяется звуковая или световая сигнализация.

## 1. Теоретические основы определения параметров электробезопасности [2, 4]

*Защитное заземление* предназначено для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и к другим нетоковедущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (рис. 1.1). При этом все металлические нетоковедущие части электроустановок 1 соединяются с землей с помощью заземляющих проводников 2 и заземлителя 3.

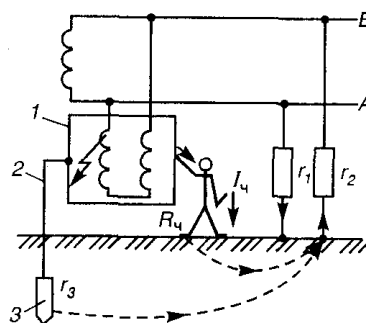


Рис. 1.1. Схема защитного заземления в однофазной двухпроводной сети

*Заземлитель* — это проводник или совокупность металлических соединенных проводников, находящихся в соприкосновении с землей или ее эквивалентом. Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления, и естественные — находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для заземления оборудования в первую очередь используют естественные заземлители: железобетонные фундаменты, а также расположенные в земле металлические конструкции зданий и сооружений. Защитное заземление применяют в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением свыше 19000 В как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

С помощью защитного заземления уменьшается напряжение на корпусе относительно земли до безопасного значения, следовательно, уменьшается и сила тока, протекающего через тело человека. На схеме защитного заземления показано, что напряжение, приложенное к телу человека в случае прикосновения к оборудованию, можно снизить, уменьшая сопротивление заземляющего устройства. Согласно ПУЭ, сопротивление заземления в электроустановках до 1000 В не должно превышать 4 Ом.

*Защитное зануление*, так же как и защитное заземление, предназначено для устранения опасности поражения электрическим током при замыкании на корпус электроустановок. Защитное зануление осуществляется присоединением корпусом и других конструктивных нетоковедущих частей электроустановок к неоднократно заземленному нулевому проводу (рис. 1.2).

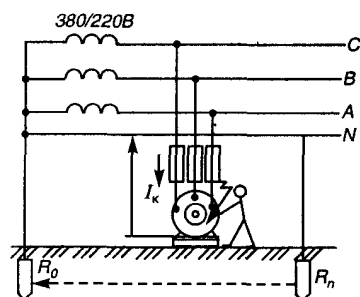


Рис. 1.2. Схема защитного зануления

Защитное зануление превращает пробой на корпус в короткое замыкание между фазным и нулевым проводами и способствует протеканию тока большой силы через устройства защиты сети, а в конечном итоге быстрому отключению поврежденного оборудования от сети. Из приведенной схемы видно, что при замыкании на корпус фаза окажется соединенной накоротко с нулевым проводом, благодаря чему через защиту (плавкий предохранитель или автомат) потечет ток короткого замыкания, который и вызовет перегорание предохранителя или отключение автомата. Чтобы защита быстро срабатывала, ток короткого замыкания должен быть достаточно большим. Правила требуют, чтобы ток короткого замыкания был в 3 раза больше номинального тока плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического отключения. Это требование выполняется, если нулевой провод имеет проводимость не менее 50 % проводимости фазного провода. В качестве нулевых проводов можно использовать стальные полосы, металлические оплетки кабелей, металлоконструкции зданий, подкрановые пути и др.

*Системы защитного отключения* — это специальные электрические устройства, предназначенные для отключения электроустановок в случае появления опасности пробоя на корпус. Так как основной причиной замыкания на корпус токоведущих частей оборудования является нарушение изоляции, то системы защитного отключения осуществляют постоянный



контроль за сопротивлением изоляции или токами утечки между токоведущими и нетокковедущими деталями конструкции оборудования. При достижении опасного уровня оборудование отключается до того момента, когда произойдет пробой на корпус и появится реальная опасность поражения электрическим током.

Таким образом, системы защитного отключения обеспечивают наибольшую электробезопасность при прикосновении к корпусам электроустановок. Однако, являясь достаточно сложными электрическими устройствами с определенной надежностью срабатывания, они применяются чаще всего в сочетании с защитным заземлением и защитным занулением.

Наряду с применением технических методов и средств электробезопасности важное значение для снижения электротравматизма имеет четкая организация эксплуатации электроустановок и электросетей, профессиональная подготовка работников, сознательная производственная и трудовая дисциплина.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. Весь персонал, допущенный к эксплуатации электроустановок, в соответствии с занимаемой должностью и применительно к выполняемой работе аттестуется присвоением соответствующей квалификационной группы по электробезопасности (с I по V).

К организации безопасной работы на электроустановках относится также документальное оформление работы, допуск к работе, надзор во время работы. Оформление разрешения на проведение работ в действующих электроустановках может быть выполнено в виде наряда, распоряжения или перечня работ.

## 2. Методика расчета [1, 4, 5]

Электрическое сопротивление цепи человека

$$R_{\text{ч}} = r_{\text{ч}} + r_{\text{об}} + r_{\text{оп}},$$

где  $r_{\text{ч}}$ ;  $r_{\text{об}}$ ;  $r_{\text{оп}}$  - соответственно сопротивление тела человека, обуви и опорной поверхности.

При однофазном включении человека в четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью, проходящей через него ток определяется:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R + r_0}, \text{ А}$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение, В

$r_0$  - сопротивление рабочего заземления, Ом.

В случае двухфазного включения человека в сеть с глухозаземленной и изолированной и изолированной нейтралью, ток проходящий через него будет равен

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{Л}}}{r_{\text{ч}}}, \text{ А}$$

При прикосновении к одной фазе в трехпроводной сети с изолированной нейтралью сила тока, протекающего через человека, определяется

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + \frac{r_{\text{ИЗ}}}{3}}, \text{ А}$$

где  $r_{\text{ИЗ}}$  - сопротивление изоляции проводов, Ом.

При расчете искусственного заземления вначале определяется электрическое сопротивление одиночного вертикального электрода по формуле

$$R_B = \frac{0,16 \cdot \rho}{l} \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot (h_0 + 0,5 \cdot l) + l}{4 \cdot (h_0 + 0,5 \cdot l) - l} \right], \text{ Ом}$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом · м;  
 $l, d$  – соответственно длина, диаметр труб (м);  
 $h_0$  - глубина заложения полосы, м.

Рассчитывается суммарная длина горизонтального электрода  $l_r$ , соединяющего вертикальные электроды в контурном заземляющем устройстве

$$l_r = a \cdot (n - 1), \text{ м}$$

где  $n$  - число вертикальных электродов,  $n \geq 4$  шт;  
 $a$  - расстояние между электродами, м;

Оценивается электрическое сопротивление этого электрода

$$R_\Gamma = \frac{0,16 \cdot \rho}{l_\Gamma} \cdot \ln \frac{l_\Gamma^2}{b \cdot h_0}, \text{ Ом}$$

где  $b$  - ширина полосы, м.

Вычисляется расчетное электрическое сопротивление заземляющего устройства  
 расстоянию тока

$$R = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_\Gamma + R_\Gamma \cdot \eta_B \cdot n}, \text{ Ом}$$

где  $\eta_B, \eta_\Gamma$  - соответственно коэффициенты экранирования стержней и полосы.

Затем сопоставляется расчетное сопротивление  $R$  с допустимым сопротивлением заземления. Если  $R > R_{\text{доп}}$ , то увеличивается число вертикальных электродов  $n$  и длина горизонтального электрода  $l_r$ . Операции по расчету повторяются по формулам до тех пор, пока будет удовлетворено условие  $R < R_{\text{доп}}$ . Значения  $\eta_B$  и  $\eta_\Gamma$  определяются для заданных условий по таблице. Величина  $R_{\text{доп}}$  принимается равной 4 Ом, а при мощности генераторов и трансформаторов 100 кВА и менее  $R_{\text{доп}} = 10$  Ом.

Зависимость величин  $\eta_B$  и  $\eta_\Gamma$  от числа электродов при  $a = l$  (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Зависимость величин  $\eta_B$  и  $\eta_\Gamma$  от числа электродов

Число вертикальных электродов $n$ , шт	4	6	10	20	40	60	100
Значения, $\eta_\Gamma$	0,45	0,4	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
Значения, $\eta_B$	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36

При системе зануления электрооборудования пробой изоляции на корпус превращается в однофазное короткое замыкание. Сила тока короткого замыкания рассчитывается по формуле

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_\Phi}{R_{TP} + r_{\text{ПР}} + R_M}, \text{ А}$$

где  $R_{TP}$  - сопротивление трансформатора;

$r_{\text{ПР}}$  - сопротивление участка проводов;

$R_M$  - сопротивление магистрали.

Номинальная сила тока плавкого предохранителя определяется

$$I_{н.п.} = \frac{I_{к.з.}}{K}, \text{ А}$$

где  $K$  - коэффициент надежности.  
Напряжение прикосновения

$$U_{пр} = I_{к.з.} \cdot R_0$$

где  $R_0$  - сопротивление нулевого привода.

При использовании железобетонных фундаментов промышленных зданий в качестве заземлителей сопротивление растеканию заземляющего устройства  $R$  (Ом) должно оцениваться по формуле

$$R = 0,5 \frac{\rho_3}{\sqrt{S}},$$

где  $S$  - площадь, ограниченная периметром здания, м<sup>2</sup>;  
 $\rho_3$  - удельное эквивалентное электрическое сопротивление земли, Ом·м.  
Для расчета  $\rho_3$  в Ом·м следует использовать формулу

$$\rho_3 = \rho_1 \left[ 1 - \exp\left(-\alpha \frac{h_1}{\sqrt{S}}\right) \right] + \rho_2 \left[ 1 - \exp\left(-\beta \frac{\sqrt{S}}{h_1}\right) \right]$$

где  $\rho_1$  - удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом·м;  
 $\rho_2$  - удельное электрическое сопротивление нижнего слоя, Ом·м;  
 $h_1$  - толщина верхнего слоя земли, м;  
 $\alpha, \beta$  - безразмерные коэффициенты, зависящие от соотношения удельных электрических сопротивлений слоев земли.

Если  $\rho_1 > \rho_2$ ,  $\alpha = 3,6$ ,  $\beta = 0,1$ ; если  $\rho_1 < \rho_2$ ,  $\alpha = 1,1 \cdot 10^2$ ,  $\beta = 0,3 \cdot 10^{-2}$ .

Напряжение шага – это напряжение между точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю при одновременном касании их ногами человека. Численно напряжение шага равно разности потенциалов точек, на которых находятся ноги человека.

При расположении одной ноги человека на расстоянии  $x$  от заземлителя и ширине шага  $x_{ш}$  (обычно принимается  $x_{ш} = 0,8$  м)

$$U_{ш} = \frac{I_3 \cdot \rho \cdot x_{ш}}{2\pi \cdot x(x + x_{ш})}, \text{ В}$$

Ток, обусловленный напряжением шага,

$$I_{ч.ш.} = \frac{U_{ш}}{r_q}, \text{ А}$$

### 3. Практические задания

Задача 1. Определите величину тока  $I_q$  (мА), который пройдет через тело человека при следующих случаях его включения в 3-х фазную электрическую сеть: а) двухфазном; б) однофазном с заземленной нейтралью. Линейное напряжение сети  $U_l$  (В), сопротивление тела человека  $r_q$  (Ом), сопротивление обуви  $r_{об}$  (Ом); опорное сопротивление поверхности ног

(сопротивление пола)  $r_{оп}$  (Ом); сопротивление изоляции  $r_{из}$  (МОм); сопротивление рабочего заземления  $r_o$  (Ом).

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$U_{л}, В$	380	380	220	220	380
$r_{ч}, Ом$	1000	10000	800	200	80000
$r_{об}, Ом$	0	500	100	1000	25
$r_{оп}, Ом$	1500	0	1500	800	2000
$r_{из}, МОм$	5	0,5	10	1,1	0,1
$r_o, Ом$	1	2	4	10	50

**Задача 2.** Определить силу тока  $I_{ч}$  (мА), проходящего через человека при неблагоприятной и благоприятной ситуациях, в случаях однофазного включения в трехпроводную трехфазную сеть напряжением  $U = 380 В$  с изолированной нейтралью и четырехпроводную с глухозаземленной нейтралью:

а) неблагоприятные условия: человек прикоснулся к одной фазе, стоит на токопроводящем полу (металлическом), обувь сырая. Сопротивление - тела человека  $r_{ч}$ , обуви  $r_{об} = 0$ , опорной поверхности ног  $r_{оп} = 0$  (Ом);  $r_o$  рабочего заземления,  $r_{из}$  изоляции проводов;

б) благоприятные условия: обувь сухая на резиновой подошве  $r_{об} = 50$  (кОм); человек стоит на сухом деревянном полу  $r_{оп} = 150$  (кОм).

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$r_{ч}, кОм$	1,0	10	0,2	0,5	15
$r_o, Ом$	4	10	4	10	10
$r_{из}, МОм$	0,5	0,1	10	0,9	1,0

**Задача 3.** Электропитание цеха осуществляется от силового трансформатора мощностью  $P$  (кВА), напряжением  $U = 6,3/0,38$  кВ. Нейтраль высоковольтной и низковольтной стороны трансформатора нормально изолирована от земли. Нагрузка всех фаз равномерная. Грунт возле завода с удельным сопротивлением  $\rho$ , Ом.м.

Требуется рассчитать искусственное защитное заземление из стальных труб диаметром  $d$ , длиной  $l$  и соединенных стальной полосой шириной  $b$ , к которому присоединяются корпуса электромеханического оборудования. Расчетная глубина заложения соединительной контурной полосы  $h_o$  (м), расстояние между вертикальными электродами  $a$  принять равным длине трубчатого электрода.

Определить сопротивление заземления  $R$  (Ом) и количество  $n$  вертикальных электродов.

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$P, кВА$	90	50	1000	2000	300
грунт	глина	суглино к	песок	каменист ый	супесь
$\rho, Ом \cdot м$	40	100	500	600	300
$d, м$	0,025	0,03	0,06	0,12	0,1
$l, м$	2,5	3,0	4,0	4,2	3,5
$b, м$	0,02	0,02	0,03	0,08	0,08
$h_o, м$	0,5	0,6	0,75	1,0	0,7

**Задача 4.** Электропитание цеха напряжением 380 В осуществляется от трансформатора с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление трансформатора  $R_{тр}$  (Ом), сопротивление участков проводов длиной 100 м  $r_{пр}$  (Ом), сопротивление магистрали  $R_m$  (Ом). Требуется определить ток короткого замыкания  $I_{кз}$  (А) в случае пробоя изоляции на корпус электроустановки;

номинальный ток плавких вставок предохранителей  $I_{\text{нп}}$  (А); величину напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$  (В). Коэффициент надежности равен 3. Сопротивление нулевого провода  $R_0$  (Ом).

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$R_{\text{тр}}$ , Ом	0,15	0,1	0,2	0,25	2,5
$r_{\text{пр}}$ , Ом	2,5	1,84	3,5	2,0	0,1
$R_{\text{м}}$ , Ом	0,85	2,8	1,0	0,75	0,5
$R_0$ , Ом	1,76	5,6	0,3	2,5	2,0

Задача 5. Является ли опасным шаговое напряжение  $U_{\text{ш}}$  (В) и величина переменного тока  $I_{\text{ч.ш.}}$  (мА) для человека, находящегося в зоне его растекания от упавшего на грунт с удельным электрическим сопротивлением  $\rho$  (Ом·м) провода под напряжением и создавшего ток замыкания  $I_3$  (А). Размер шага человека при расчете принять равным  $x_{\text{ш}}=0,8$  м, а сопротивление тела  $r_{\text{ч}}$  (Ом). Он находится в зоне растекания тока на расстоянии  $x$  (м) от упавшего провода. Опасность напряжения оценить сравнением с пороговым значением безопасного напряжения  $U_6 = 50$  В, а силы тока – сравнением с пороговым отпускаящим  $I_{\text{п}} = 10$  мА.

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$\rho$ , Ом·м	70	100	30	150	90
$I_3$ , А	80	50	40	60	30
$r_{\text{ч}}$ , Ом	1000	1500	800	1000	1200
$x$ , м	3	1	5	4	2

Задача 6. Определить силу тока короткого замыкания  $I_{\text{к.з.}}$  (А) фазы на корпус оборудования и соответствующее ему напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$  (В) к нему до срабатывания защиты для сети с фазным напряжением  $U_{\text{ф}}$  (В), питаемой трансформатором с заземленной нейтралью, имеющим сопротивления обмоток, фазного и нулевого проводов соответственно  $r_{\text{тр}}$ ,  $r_{\text{ф.пр}}$ ,  $r_{\text{н}}$ , Ом. Величину напряжения прикосновения сопоставить с безопасным и равным  $U_6 = 50$  В.

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$U_{\text{ф}}$ , В	220	127	220	220	127
$r_{\text{тр}}$ , Ом	0,9	0,8	1	1,2	1,1
$r_{\text{ф.пр}}$ , Ом	4	2	3	1	2
$r_{\text{н}}$ , Ом	0,3	0,2	0,5	0,4	0,6