

**Методические материалы для обучающихся  
по освоению дисциплины**

**Управление рисками и моделирование в техносферной безопасности**  
наименование дисциплины

Направление подготовки: 20.04.01 Техносферная безопасность  
код и наименование направления подготовки /специальности

Направленность (профиль): «Управление экологической безопасностью предприятия»  
наименование направленности (профиля) /специализации

Мурманск  
2023

Составитель – Васильева Ж.В., канд.техн.наук, зав. кафедры техносферной безопасности ФГАОУ ВО «МГТУ»

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины «Управление рисками и моделирование в техносферной безопасности» рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ТБ, протокол №7 от 02.06.2023 г.

## Общие положения

Цель методических материалов по освоению дисциплины - обеспечить обучающемуся оптимальную организацию процесса изучения дисциплины, а также выполнения различных форм самостоятельной работы.

Освоение дисциплины осуществляется на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы обучающихся. Основными видами аудиторной работы по дисциплине являются занятия лекционного и семинарского типа. Конкретные формы аудиторной работы обучающихся представлены в учебном плане образовательной программы и в рабочих программах дисциплин.

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины (модуля), ее структурой и содержанием, фондом оценочных средств.

Работая с рабочей программой, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемому перечню основной и дополнительной литературы и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего контроля и промежуточной аттестации.

Каждая рабочая программа по дисциплине сопровождается методическими материалами по ее освоению.

Отдельные учебно-методические разработки по дисциплине учебные пособия или конспекты лекций, методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и решению задач и т.п. размещены в ЭИОС МГТУ.

Обучающимся рекомендуется получить в библиотеке МГТУ учебную литературу, необходимую для работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины.

Виды учебной работы, сроки их выполнения, запланированные по дисциплине, а также система оценивания результатов, зафиксированы в технологической карте дисциплины:

**Таблица 1 -Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Управление рисками и моделирование в техносферной безопасности» (промежуточная аттестация – зачет)**

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	max	
<b>Текущий контроль</b>				
1.	Выполнение практических работ/участие в семинарах	30	60	По расписанию
2.	Посещение и работа на лекциях (11 лекций)	18	22	По расписанию
3.	Итоговый контроль	12	18	
	<b>ИТОГО</b>	<b>min -60</b>	<b>max - 100</b>	
<b>Промежуточная аттестация - зачет</b>				
	<b>ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>min - 60</b>	<b>max - 100</b>	

**Таблица 1 - Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Управление рисками и моделирование в техносферной безопасности» (промежуточная аттестация - курсовая работа/проект)**

№	Критерии оценивания	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	max	
<b>Выполнение курсовой работы/проекта</b>				
1.	Степень полноты обзора состояния вопроса	10	14	
2.	Уровень и корректность использования в работе методов исследований, моделирования, расчетов	10	14	
3.	Степень проработанности проблемы оценки риска на рабочем месте в соответствии с заданием	10	14	
4.	Объем и качество выполнения оценочного материала, его соответствие тексту	10	14	
5.	Обоснованность и доказательность выводов работы	10	14	
6.	Своевременная сдача на проверку курсового проекта	10		
	<b>ИТОГО</b>	min -60	max - 80	
<b>Промежуточная аттестация</b>				
	<b>Защита курсового проекта</b>	min – 10	max - 20	Зачетная неделя
	<b>ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ЗА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ</b>	<b>min - 70</b>	<b>max - 100</b>	

Работа по изучению дисциплины должна носить систематический характер. Для успешного усвоения теоретического материала по предлагаемой дисциплине необходимо регулярно посещать лекции, активно работать на учебных занятиях, выполнять письменные работы по заданию преподавателя, перечитывать лекционный материал, значительное внимание уделять самостоятельному изучению дисциплины.

Важным условием успешного освоения дисциплины является создание самим обучающимся системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с календарным учебным графиком.

### **1. Методические рекомендации при работе на занятиях лекционного типа**

К занятиям **лекционного типа** относятся лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации преподавателем.

Лекция представляет собой последовательное изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера. Цель лекционного занятия – организация целенаправленной познавательной деятельности обучающихся по овладению программным материалом учебной дисциплины.

В ряде случаев лекция выполняет функцию основного источника информации, например, при отсутствии учебников и учебных пособий; в случае, когда новые научные данные по той или иной теме не нашли отражения в учебниках; отдельные разделы и темы очень сложные для самостоятельного изучения обучающимися.

В ходе проведения занятий лекционного типа необходимо вести конспектирование излагаемого преподавателем материала.

Наиболее точно и подробно в ходе лекции записываются следующие аспекты: название лекции; план; источники информации по теме; понятия, определения; основные формулы; схемы; принципы; методы; законы; гипотезы; оценки; выводы и практические рекомендации.

Конспект - это не точная запись текста лекции, а запись смысла, сути учебной информации. Конспект пишется для последующего чтения и это значит, что формы записи следует делать такими, чтобы их можно было легко и быстро прочитать спустя некоторое время. Конспект должен облегчать понимание и запоминание учебной информации.

Рекомендуется задавать лектору уточняющие вопросы с целью углубления теоретических положений, разрешения противоречивых ситуаций. При подготовке к занятиям семинарского типа, можно дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из изученной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины.

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины.

## **2. Методические рекомендации по подготовке и работе на практических занятиях**

**Практическое занятие** - это форма организации учебного процесса, предполагающая выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателя одной или нескольких практических работ. И если на лекции основное внимание студентов сосредоточивается на разъяснении теории конкретной учебной дисциплины, то практические занятия служат для обучения методам ее применения. Главной их целью является усвоение метода использования теории, приобретение практических умений, необходимых для изучения последующих дисциплин.

Подготовку к практическому занятию лучше начинать сразу же после лекции по данной теме или консультации преподавателя. Необходимо подобрать литературу, которая рекомендована для подготовки к занятию и просмотреть ее. Любая теоретическая проблема должна быть осмыслена студентом с точки зрения ее связи с реальной жизнью и возможностью реализации на практике.

**Общей целью практических занятий** является закрепление теоретических знаний и навыков самостоятельной работы, полученных в процессе обучения по данной дисциплине.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КВАНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ (РИСКА)**

**Квантификация опасности** - это введение количественных характеристик для вероятностной оценки обеспечения безопасности людей, прогнозирования безопасности производств (предприятий, промышленных комплексов и т.п.), условий безопасного проживания и жизнедеятельности.

Количественная оценка опасности включает: частоту реализации опасности и уровень опасности (нормально безопасный, опасный, критический и т.д.).

**Прогноз опасности** в различных сферах жизнедеятельности позволяет определить возможные последствия и потери (людские, экологические, материальные, экономические и т.п.) в заданном временном интервале (год, месяц, день и т.д.) и на их основе разработать приоритетные организационные и технические решения, снижающие уровень риска.

Знание отраслевых рисков используется при определении страховых платежей. Вероятность реализации определенной опасности (событие А) вычисляется как отношение

$$R(A)=N \quad (1)$$

где  $N_0$  - реализация вида опасности А за определенный срок (год, месяц и т.д.);  
N - возможное или потенциально вероятное количество опасностей данного вида за тот же срок.

Так как  $N_0$  всегда заключено в пределах от 0 (событие невозможно) до N (вероятное событие), то вероятность R(A) события А определяется неравенством

$$0 < R(A) < 1 \quad (2)$$

### Виды риска

**Профессиональный риск** - вероятность повреждения здоровья работников в результате воздействия опасных и вредных факторов. При реализации опасных факторов возможны травмы, а при воздействии вредных факторов - заболевание вследствие кумулятивного накопления вредных факторов в организме человека.

Последствием воздействия на работающего опасных и вредных факторов может быть:

- временная нетрудоспособность;
- инвалидность;
- летальный исход.

Условия профессиональной деятельности по риску гибели человека на производстве ориентировочно разделяют на четыре категории безопасности:

- НБ - нормально безопасные ( $R < 10^{-4}$ )
- 0 - опасные ( $10^{-4} < R < 10^{-3}$ )
- К - критические ( $10^{-3} < R < 10^{-2}$ )
- А - аварийные

**Приемлемый риск** - минимальный, который может быть достигнут из реальных экономических, технических и экологических возможностей. В развитых странах приемлемый риск гибели человека установлен в законодательном порядке и составляет  $R = 10^{-6}$  в год - так называемый **социально-приемлемый риск**.

**Индивидуальный риск** - опасность для отдельного индивидуума.

**Социальный (групповой) риск** - вид опасности, отнесенный к группе людей. Социальный риск используется при оценке техногенных аварий, природных катастроф, эпидемий и т.п.

**Остаточный риск** - риск реализации опасности после выполнения мероприятий по их предупреждению, защите или сокращению.

При анализе и оценке риска используют различные методы:

- статистические данные травматизма, профзаболеваний, эпидемий, природных катастроф, технических отказов и аварий и т.п.;
- экспертные оценки;
- моделирование;
- социологический опрос населения.

Современный рост уровня техники настоятельно требует **новых качественных подходов к оценке безопасных условий жизнедеятельности**

человека и общества в целом. Для особо значимых народнохозяйственных объектов, обеспечивающих жизнедеятельность предприятий и населения в регионах (энерго-, теплоснабжение, транспорт и др.), а также для объектов лесохозяйственной деятельности необходимо априорно проводить квантификацию опасностей.

## Задание 1. Оценка опасности по статистическим данным

### *Оценка ветровой нагрузки, формирующей опасные условия жизнедеятельности*

Влияние ветровой нагрузки определяется силой (скоростью) ветра, направленностью (роза ветров) и продолжительностью.

Каждый регион имеет свои характерные среднестатистические и максимальные ветровые нагрузки, при которых действуют запреты на отдельные виды работ, см. табл. 1 и 2.

Таблица 5

#### Характерные признаки ветровой нагрузки

Скорость, м/с	Характерные признаки
1-3	<i>Слабый</i> - ощущается лицом, шелест листьев, короткие волны
8-12	<i>Сильный</i> - ощущается рукой, поднимает пыль, колебание веток, барашки на воде
18-21	<i>Шторм</i> - гнутся большие деревья, сносит легкие крыши, высокие волны
более 29	<i>Ураган</i> - ломает деревья, большие разрушения, трудно дышать и продвигаться, сносит крыши, переворачивает автомобили
более 60	<i>Смерч</i> - подъем и переворачивание тяжелых предметов, затруднено дыхание, быстрое охлаждение, частичное разрушение зданий, снос металлических каркасов, крыш

Таблица 6

#### Запрещения и ограничения по отдельным видам работ при ветровых нагрузках

№№ п/п	Сила ветра	Ограничения и запрещения по видам работ
1	Более 3 м/с	Химическая обработка лесопосадок, питомников
2	Более 10 м/с	Погрузо-разгрузочные работы. Перемещение и установка вертикальных панелей с большой парусностью
3	Более 11 м/с	Лесохозяйственные и лесозаготовительные работы (рубка леса, заготовка семян и шишек, изыскательская работа и т.д.)
4	Более 15 м/с	Монтажные работы на высоте в открытых местах. Кровельные работы. Кладка кирпичных труб. Выход в открытые водные пространства (море, озеро и т.д.). Восхождение в горах

• Ветровые нагрузки 10 м/с и более могут возникнуть при выполнении *взрывных работ*.

#### Порядок работы

- По варианту задания из табл. 3 выпишите значения ветровых нагрузок в регионе за год.
- Рассчитайте вероятность реализации событий  $R(A)$ .

Таблица 7

Вариант задания	Количество дней $N_0$ ветровой нагрузки в году				
	A1 1-3	A2 8-12 м/с	A3 18-22 м/с	A4	A5

(регион)	м/с			более 30 м/с	более 60 м/с
1	20	100	10	5	-
2	60	100	15	5	-
3	15	150	60	20	5
4	30	200	30	10	-
5	30	150	100	10	5
6	10	200	100	20	5
7	40	250	50	5	-
8	40	200	30	-	-
9	60	150	30	10	-
10	30	100	50	40	10
11	80	200	50	10	-

Определите силу ветра в баллах по шкале Бофорта (1 балл « 2 м/с или 1 м/с « 0,5 балла).

Из табл. 1 и 2 выпишите:

- характерные признаки ветровых нагрузок;
- уровни опасности среды обитания;
- запреты на выполнение отдельных видов работ.

Результаты представьте в виде табл. 4.

Таблица 8

Ветровая нагрузка		Расчет и выводы			
Событие	№ (по варианту)	Вероятность	Уровень опасности	Баллы	Запрет на работы
A <sub>1</sub> 1-3 м/с					
A <sub>2</sub> -12 м/с					
A <sub>3</sub> 18-22 м/с					
A <sub>4</sub> более 30 м/с					
A <sub>5</sub> более 60 м/с					

**Пример решения:**

Вариант задания A/N<sub>0</sub>: A<sub>1</sub>/50; A<sub>2</sub>/200; A<sub>3</sub>/40; A<sub>4</sub>/Ю; A<sub>5</sub>/5.

Риск ветровых нагрузок за год определяется количеством дней (N<sub>0</sub>) с определенной силой ветра (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>) к общему количеству дней в году N = 360 R<sub>1</sub> (A<sub>1</sub>) = 50/360, R<sub>2</sub> (A<sub>2</sub>) = 200/360, R<sub>3</sub> (A<sub>3</sub>) = 40/360 и т.д.

Из табл. 1 выписываются значения ветровых нагрузок: A<sub>1</sub>=1-3 м/с, A<sub>2</sub>=8-12 м/с и т.д.

Определяется сила ветра в баллах: A<sub>1</sub> = 2 x 0,5 = 1 балл

A<sub>2</sub> = 10 x 0,5 = 5 баллов.

**Выводы:**

максимальная сила ветра (событие A<sub>5</sub>) равна 60 м/с при риске 0,014;

наиболее вероятная сила ветра в регионе (событие A<sub>2</sub>) равна 10 м/с (5 баллов),

риск события - 0,55.

По табл. 2 определяются виды работ, которые запрещаются выполнять при данной силе ветра:

- рубка леса (более 8,5 м/с ≈ 4 ÷ 5 баллов);
- подъем и установка вертикальных панелей, щитов и т.п. на высоте.

## Задание 2. Оценка индивидуального риска на производстве

По статистическим данным за 2000 год в стране получили травмы на производстве 400 тысяч человек, из них 10 тысяч - травмы с летальным исходом и 15 тысяч человек стали инвалидами.

Общее количество населения страны 142 млн. человек. Из них 21,5% - пенсионеры и 22,5% - дети. Таким образом, трудоспособное население составляет 56%.

- Определите риск по травматизму, летальному исходу и инвалидности.
- Сравните полученные значения с социально приемлемым риском.
- Определите категории безопасности
- Сделайте выводы.

## Задание 3. Оценка индивидуального риска

В табл. 9 приведены статистические данные индивидуального риска с летальным исходом.

Таблица 9

Причина	Риск
Автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$
Железнодорожный транспорт	$4 \cdot 10^{-7}$
Водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Падение	$9 \cdot 10^{-5}$
Утопление	$3 \cdot 10^{-5}$
Пожар (ожог)	$4 \cdot 10^{-5}$
Электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$

- 5.
- Определите количество погибших ( $N_0$ ) в стране за год, используя данные табл.
  - Сравните данные и выделите наиболее *безопасный* вид транспорта.
  - Определите количество пострадавших при пожаре в бытовых условиях. Как показывает статистика, число этих жертв составляет до 80% от общего числа погибших.

## Задание 4. Определение вероятности наиболее значимых причин пожара

За год произошло 10243 пожара, по которым установлены следующие причины их возникновения:

Таблица 10

Причины	Количество
поджоги	426
неисправное производственное оборудование	61
неисправленное электрооборудование	1302
электробытовые приборы (в том числе телевизоры)	326
электробытовые приборы (в том числе телевизоры)	49
электрогазосварка	136
взрывы	9
самовозгорание веществ	13
неисправность печей и дымоходов	140
нарушение правил эксплуатации	90
неосторожное обращение с огнем	5227
неосторожность при курении	1737
детская шалость с огнем	201
грозовые разряды	1

- Определите вероятность пяти наиболее значимых, по вашему мнению, причин пожара.
- Предложите меры по устранению (снижению) выделенных вами причин пожара.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНОГЕННОГО РИСКА. РАБОТА С НОРМАТИВНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ**

### **Методические указания:**

Основной целью данной работы является знакомство нормативно-регламентирующей документацией по методам анализа и оценки риска ГОСТ Р ИСО-МЭК 31010 «Менеджмент риска Методы оценки риска» и Руководства по безопасности "Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах"( Приказ Ростехнадзора от 13.05.2015 N 188).

В результате выполнения данного задания студент будет знать:

- структуру и содержание стандарта ГОСТ Р ИСО-МЭК 31010 — 2011. «Менеджмент риска Методы оценки риска»;
- основные термины в области управления риском;
- порядок и последовательность проведения анализа риска согласно Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»;
- основные методы анализа и оценки риска опасных производственных объектов.

Студенты получают опыт и навыки:

- работы со стандартом ГОСТ Р ИСО-МЭК 31010 — 2011;
- структурирования теоретического материала и представления его в виде схем;
- применения терминов и определений в области анализа и управления риском.

Для выполнения этого задания студенту выдаются следующие материалы:

- тексты стандарта ГОСТ Р ИСО-МЭК 31010 «Менеджмент риска Методы оценки риска» и Руководства «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»;

### **Задание: 1.**

1. Проанализировать и законспектировать основные положения Руководства «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».
2. Проанализировать документ ГОСТ Р ИСО-МЭК 31010 — 2011. «Менеджмент риска Методы оценки риска» и законспектировать следующие положения стандарта:
  - п.6 Выбор методов оценки риска
  - Приложение В Методы оценки риска
3. Ответить письменно на следующие вопросы:
  1. В чем преимущество экспертных методов оценки риска? В чем заключаются их недостатки по сравнению с инженерными методами?
  2. Опишите суть 2 любых экспертных методов.
  3. В чем преимущество инженерных методов оценки риска? Опишите суть 4 любых инженерных метода оценки риска.
  4. Опишите процесс управления риском постадийно. Приведите схему управления риском.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА (ХАРАКТЕРИСТИКА И**

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ)

### Методические указания:

Семинар проходит в форме групповой дискуссии по результатам докладов, которые студенты готовят заранее по предложенным темам. Обсуждения студенты проводят в группах по 3-5 человек. Каждый студент должен быть готов проанализировать и дополнить ответ своего товарища. Для обсуждения предложенных вопросов, студенту необходимо, опираясь на полученные знания на лекциях и в процессе самостоятельной работы, проработать предложенные вопросы и изучить информацию по данной теме. При подготовке при изучении темы помимо лекционного материала необходимо использовать соответствующие разделы рекомендуемой литературы.

### Вопросы и материал для обсуждения на семинаре:

1. "Идентификации опасностей технологического объекта", далее - метод "Идентификация опасностей" ( "HAZID" - HAZard Identification или "PHA" - Preliminary Hazard Analysis.)
2. "Анализ вида и последствий отказов" и метод "Анализа вида, последствий и критичности отказа" ; ( "FMЕСА" - Failure Mode, Effects and Critical Analysis).
3. "Анализ опасности и работоспособности технологической системы (технологического блока)", далее - метод "Анализ опасности и работоспособности" ( "HAZOP" - HAZard and Operability Study»)
4. Методы проверочного листа (Check-List) и "Что будет если ...?" ("What - If")
5. "Анализ дерева отказов" ("FTA" - Fault Tree Analysis).
6. "Анализ дерева событий" ("ETA" - Event Tree Analysis).
7. Метод "Анализ барьеров безопасности";
8. Количественная оценка риска аварий ("QRA" - Quantitative Risk Assessment.)
9. Оценка рисков на рабочих местах. Требования стандарта OHSAS 18001.
10. Оценка рисков в пищевой безопасности. Требования стандарта ISO 22000.
11. Оценка рисков для экологических аспектов. Требования стандарта ISO 14001.8.
12. Примеры методик оценки рисков отдельных ЧС (пожар).

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4.

#### ОЦЕНКА РИСКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ (АПРИОРНЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ)

Анализ безопасности, выполненный до наступления нежелательных последствий, называется *априорным*. Цель - предупреждение аварий, катастроф, пожаров и т.п.

Анализ безопасности, выполненный после наступления нежелательных последствий, называется *апостериорным*. Цель - разработать рекомендации, направленные на предупреждение (не повторение) подобных событий.

Реализация любой опасности - это цепь случайных событий, реализуемых в данный момент времени и имеющих свою вероятность.

Реализация потенциальной опасности возможна через «причины». Чаще всего имеется целый ряд причин, способствующих проявлению опасности. Причины обычно связаны и образуют совместно с опасностями цепные структуры. Графическое изображение таких структур напоминает ветвящееся дерево.

Как мы уже говорили при анализе безопасности объектов используют понятия: “дерево причин” “дерево отказов”, “дерево событий”, “дерево опасностей” и др. В построенных “деревьях”, как правило, есть ветви причин и ветви опасностей, что соответствует закону причинно-следственных связей в природе.

Построение “деревьев” считается эффективным методом расследования и анализа аварий, травм, пожаров и т.п., поскольку построенное “дерево” даёт целостное представление картины исследуемых нежелательных событий. При этом если мы будем

вводить вероятностные характеристики реализации отдельных событий, тогда “дерево” можно существенно упростить, поскольку можно пренебречь мало вероятными событиями (причинами) и появляется возможность расчёта вероятности наступления любого нежелательного события.

Для построения “деревьев” приняты соответствующие обозначения элементов и логических операций. Например:

1.  $\square$  - выходное событие (иногда конечное);
2. **A, Б** и т.д. - входные события;
3. **И** - логическая операция (**И**) указывает, что выходное событие произойдёт, если все входные события произойдут одновременно;
4. **ИЛИ** - логическая операция (**ИЛИ**) указывает, что для проявления выходного события достаточно свершения любого из входных событий.

**Пример 1. Рассмотрим сложное событие – пожар, реализация которого возможна только при одновременной реализации 3-х независимых событий (рис. 1).**

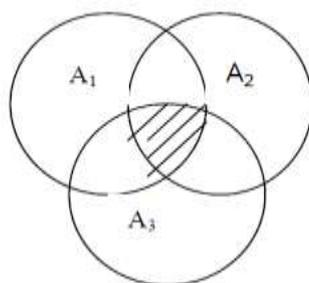


Рис. 1.

$A_1$  – наличие горючего материала;  
 $A_2$  – наличие окислителя ( $O_2$ );  
 $A_3$  – источник огня (тепла).

Риск (вероятность) пожара –  $R(A)$  определяется как произведение вероятностей 3-х событий, изображаемых логической схемой «И», см. рис.2, и определяемый по формуле:

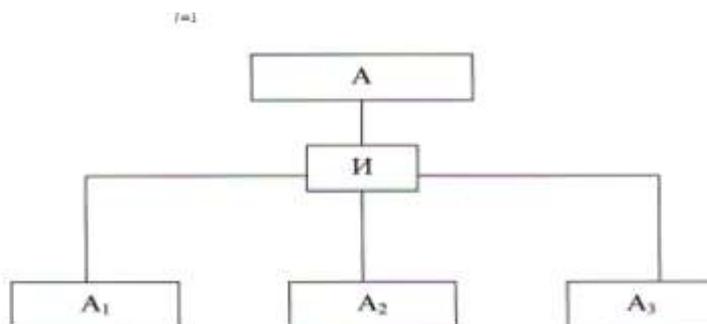


Рис. 2. Логическая схема «И» сложного события (пожар)

Вероятность реализации события при логической операции (**И**) можно получить по формуле:

$$R(A) = \prod_{i=1}^3 R(A_i) = R(A_1) \cdot R(A_2) \cdot R(A_3)$$

**Пример 2. Травма на производстве – событие А при работе с инструментом. Рассмотрим сложное событие А, реализация которого возможна по причине А1 – человеческий фактор или А2 – неисправность инструмента или А1 и А2 одновременно. События А1 и А2 совместны (рис. 3).**

Если события  $A_1$  и  $A_2$  совместны, то вероятность суммы двух совместных событий равна:

$P(A_1 + A_2) = P(A_1) + P(A_2) - P(A_1 \times A_2)$ . Если события  $A_1$  и  $A_2$  несовместны  $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$ .

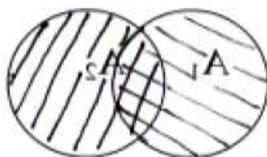


Рис. 3.

Заштрихованные зоны – условия реализации события А (травма)

Логическая схема вероятности события А (травмы) ИЛИ определяется по формуле:

$$R(A) = R(A_1) + R(A_2) - R(A_1) \cdot R(A_2).$$

При этом событие А1 может быть следствием ряда причин: состояние здоровья, утомление, нарушение требований безопасности и т.д. Событие А2 может произойти в результате износа или неисправности инструмента.

Для 3 событий с ИЛИ:

$$P_B = P_G + P_D + P_E - P_G \cdot P_D - P_D \cdot P_E - P_E \cdot P_G + P_G \cdot P_D \cdot P_E$$

**Задание 1. Постройте логическую схему вероятности события «Пожар в лесу».**

Последовательность действий:

1. - Укажите основные (обязательные) условия возникновения пожара.
2. - Определите возможные причины пожара и постройте «дерево опасностей и причин».
3. - Укажите наиболее значимые причины пожара (проранжируйте).
4. - Предположите первоочередные меры предупреждения пожара.

**Задание 2. Постройте логическую схему вероятности события «Пожар в бытовых условиях». Последовательность действий - см. задание 1.**

**Задание 3. Постройте логическую схему вероятности события «Автомобильная авария на дороге».**

Последовательность действий:

1. - Определите «обязательных» участников сложного события (автомобиль, водитель и т.д.).
2. - Раскройте возможные причины аварии по каждому из «участников».
3. - Составьте логическую схему причин аварии (причинно-следственные связи).
4. - Проранжируйте причины по их значимости.
5. - Предложите первоочередные меры по предупреждению аварии.

**Задание 4. Постройте логическую схему причинно-следственных связей «Электротравма на производстве».**

Последовательность действий:

1. - Определите условия, обеспечивающие электротравму (участников события).
2. - Укажите возможные причины электротравмы и постройте логическую схему.
3. - Установите наиболее вероятные причины электротравмы (проранжируйте).

4. - Предложите первоочередные меры предупреждения электротравмы.

### Задание 5. Постройте логическую схему «Авария при транспортировке груза».

Последовательность действий (аналогичен заданиям 1 - 4).

1. Дайте определение рисков: приемлемого (допустимого) и остаточного.
2. Укажите практическую ценность знания вероятности реализации опасных событий в различных сферах жизнедеятельности. Приведите примеры.
3. Укажите причины, которые существенно ограничивают возможности снижения риска опасных событий.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

### ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА ПРОИСШЕСТВИЙ И ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

Как уже упоминалось выше, самое широкое распространение в моделировании опасных процессов получили ныне диаграммы причинно-следственных связей, имеющие ветвящуюся структуру и называемые “деревом происшествия (отказов)” и “деревом событий” – исходов интересующих нас происшествий.

Дерево происшествия (отказов). Модель в форме дерева происшествия (см. рис. 2.1а) обычно включает одно *головное событие*, которое соединяется с помощью конкретных логических условий с промежуточными и исходными предпосылками, обусловившими в совокупности его появление.

Головное событие такого “дерева” представляет собой исследуемую аварию, несчастный случай или катастрофу, а его “ветвями” служат наборы соответствующих предпосылок - их причинные цепи. “Листья” же дерева происшествия - исходные события-предпосылки (ошибки, отказы и неблагоприятные внешние воздействия), дальнейшая детализация которых нецелесообразна.

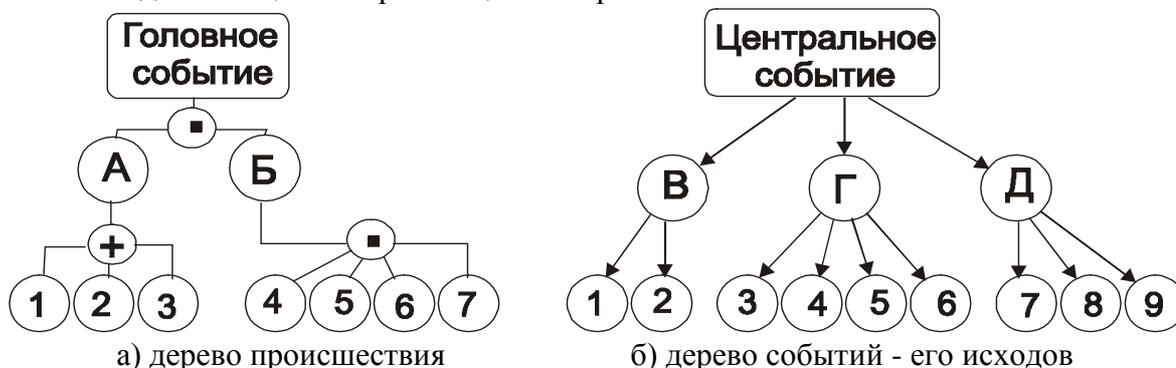


Рис. 2.1. Модели диаграмм типа “дерево”

Процесс появления конкретного происшествия интерпретируется данной моделью как прохождение некоторого сигнала от каких-либо исходных предпосылок, инициирующих причинную цепь (служащих истоками такого сигнала), к головному событию, являющемуся его стоком. В качестве промежуточных состояний рассматриваемого дерева применяются предпосылки верхнего и последующих уровней, а узлов-регуляторов потока - логические условия сложения -"или" и перемножения -"и", используемые в булевой алгебре.

Дерево событий. Подобно дереву происшествия, дерево событий - его исходов (см. рис. 2.1б) также имеет одно событие, называемое *центральным*, и несколько исходящих из него ветвей. В качестве центрального события всегда рассматривается какое-либо происшествие (чаще всего - головное событие соответствующего дерева), а ветвей - сценарии причинения ущерба различным ресурсам, отличающиеся по условиям

нежелательного высвобождения, распространения, трансформации и воздействия на них потоков энергии и вещества, высвободившихся в результате происшествия.

В отличие от дерева происшествия, дерево событий - его возможных разрушительных исходов не имеет логических узлов "и" и "или". В сущности, данная семантическая модель представляет собой вероятностный граф (многоярусное дерево решений), построенное таким образом, что сумма вероятностей каждого разветвления должна составлять единицу. Иначе говоря, все события каждого уровня должны образовывать полную группу независимых событий.

Символика. Как видно из рис. 2.1, при моделировании возможных происшествий и их разрушительных последствий с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа "дерево", обычно используется специальная символика. В ней исследуемые события изображаются в виде прямоугольника или окружности с надписями или цифровыми кодами, логические узлы – кругами с внутренними знаками: "+" (для логического условия "или") и "•" (для условия "и"), а связи между ними – линиями, иногда со стрелками.

Методика прогнозирования техногенного риска. Общая процедура моделирования и априорной количественной оценки среднего ущерба от техногенных происшествий с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа "дерево" обычно включает совокупность итераций, каждая из которых состоит из следующих этапов:

- 1) выбор опасного процесса и уточнение цели его моделирования;
- 2) построение моделей типа "дерево происшествия" и "дерево событий - его исходов";
- 3) проведение качественного анализа моделируемого процесса;
- 4) количественная оценка техногенного риска (величины среднего ущерба), ожидаемого при осуществлении исследуемого процесса;
- 5) обоснование мероприятий по снижению техногенного риска.

Рассмотрим подробнее особенности реализации второго и последующих этапов прогнозирования техногенного риска, полагая, что под выбором опасного процесса подразумевается определение состава и структуры человекомашиной системы, используемой на производстве и транспорте, а также уточнение характера взаимодействия ее компонентов между собой и окружающей их средой.

## **2.2. Построение "деревьев" происшествия и его исходов**

Особенности. Практика свидетельствует - наиболее ответственным и сложным этапом прогнозирования техногенного риска является построение древовидных семантических моделей процессов возникновения происшествий и причинения ими ущерба людским, материальным и природным ресурсам.

Это объясняется тем, что лишь адекватные реальности "деревья" позволят, при последующем их анализе, выявить все наиболее существенные предпосылки, количественно оценить как возможность появления происшествий, так и ожидаемый от них ущерб. Естественно, что без этого не мыслим ни сколько-нибудь точный прогноз соответствующего риска, ни выработка оптимальных мероприятий по снижению сопутствующего ему техногенного ущерба.

Сложность данного этапа обусловлена отсутствием в настоящее время строгих формальных процедур его реализации, что иногда позволяет относить этот этап скорее к искусству (эвристике), чем к науке. Дело в том, что обычно не удастся обеспечить абсолютной идентичности моделей одного и того же происшествия, построенных различными исследователями. А без этого трудно ожидать требуемой в науке воспроизводимости результатов, полученных с помощью таких моделей.

Логика построения. Для преодоления указанных трудностей и облегчения построения рассматриваемых здесь моделей, нами предлагается способ формализации данной процедуры, основанный на использовании принятой выше энергоэнтропийной концепции. Данный способ базируется на двух утверждениях: а) происшествия всегда

связаны с нежелательным высвобождением, трансформацией, распространением и губительным воздействием потоков энергии или вещества на различные объекты, оказавшиеся под их влиянием; б) любое происшествие является одновременно и результатом разрушительного выброса накопленного где-либо энергозапаса, и следствием цепи соответствующих предпосылок.

Каждое из этих утверждений может быть использовано при создании рассматриваемых здесь моделей. В частности, для дерева происшествия – второе, а для дерева его исходов – первое. Сформулируем общие *рекомендации*, пригодные вначале для моделирования происшествий, а затем – и ущерба от них в случае появления.

Из второго утверждения следует, что при определении *состава* элементов дерева происшествия и связей между ними, нужно руководствоваться следующими рекомендациями. Во-первых, данная модель должна состоять из одного, *головного* события - собственно происшествия (нежелательного высвобождения вещества или энергии) и множества предшествующих ему предпосылок - ошибок людей, отказов техники и неблагоприятных для них внешних воздействий. Во-вторых, в *структуру* этого дерева следует включать все те логически условные и безусловные связи между такими предпосылками, соблюдение которых необходимо и достаточно для возникновения конкретного разрушительного выброса энергозапаса.

Мы рекомендуем также использовать не прямую, а *обратную* последовательность прогнозирования предпосылок и условий, в совокупности приводящих к появлению моделируемых происшествий. Иначе говоря, построение дерева происшествия следует начинать не снизу вверх (от исходных ошибок, отказов и опасных внешних воздействий - к головному событию), а наоборот. При этом само головное событие, соответствующие ему предпосылки верхнего и последующих уровней, а также вызвавшие каждую из них причинные цепи необходимо выявлять *дедуктивно* - на основе знания общих закономерностей возникновения техногенных происшествий и особенностей их проявления в конкретных обстоятельствах.

*Учитываемые факторы.* Проведение работ на производстве и транспорте удобно рассматривать как функционирование человекомашинных систем, а основными носителями опасности считать их токсичные и взрывоопасные вещества, источники ионизирующих излучений, движущиеся предметы и сосуды, работающие под высоким давлением. Следовательно, выявление возможных происшествий необходимо увязывать с логикой нежелательного высвобождения их энергии и вещества, т.е. с известными законами энергомассообмена и термодинамики.

В свою очередь старение, загрязнение, увлажнение, перегрев или переохлаждение таких элементов по естественным причинам или в результате внешних воздействий нужно учитывать в качестве *технических предпосылок* к возможным авариям.

Другой важной группой предпосылок к техногенным происшествиям следует считать *ошибочные действия*, произвольные или умышленно допущенные людьми при конструировании, изготовлении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте техники. При прогнозировании подобных предпосылок (в том числе трудно предсказуемых несанкционированных действий человека), нужно помнить, что все они могут быть обусловлены: а) внутренними причинами - отсутствием должных психологических установок, знаний и навыков, б) внешними для человека факторами - несовершенством используемых им оборудования и технологии, высокой напряженностью труда или неблагоприятными условиями рабочей среды.

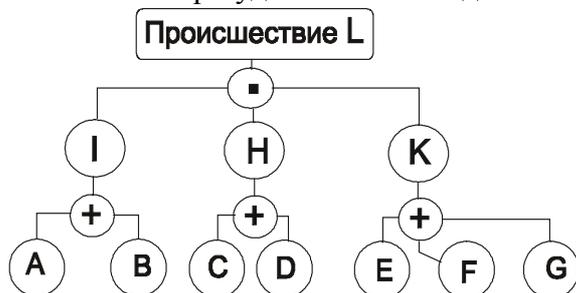
*Принципы контроля и оценки.* Как свидетельствует опыт, при построении дерева происшествия целесообразно руководствоваться следующими *правилами*: 1) как можно четче определять условия появления головного события; 2) декомпозировать все сложные события-предпосылки; 3) уточнять время, место и причины возникновения каждой из них; 4) выявлять совместно действующие факторы и разделять их; 5) учитывать возможность обратных связей между элементами техники; 6) увязывать события-инициаторы

причинных цепей с внешними факторами; 7) проверять достоверность принятых допущений и используемых исходных данных.

Построение дерева происшествия должно заканчиваться *проверкой полноты* образующих его событий и связей между ними. В ряде случаев на этом этапе моделирования проводят также дальнейшую формализацию полученной семантической модели - вводят буквенное или цифровое кодирование всех ее элементов. Использование таких кодов в качестве индексов событий "дерева", а символов " $\wedge$ ", " $\vee$ " - для обозначения их логического перемножения и сложения облегчает в последующем качественный и количественный анализ процесса, моделируемого деревом происшествия.

Анализ дерева происшествия с помощью минимальных сочетаний. Наиболее удобны для качественного анализа дерева происшествия так называемые "минимальные сочетания предпосылок", под которыми подразумевается минимально необходимое и достаточное для достижения конкретного результата их множество. Естественно, что нас интересуют два результата: возникновение и предупреждение происшествий. Поэтому ниже будем иметь дело с двумя типами минимальных сочетаний - *пропускным* (аварийным) и *отсечным* (секущим)<sup>1</sup>.

Первое из них - минимальное пропускное сочетание (МПС) включает в себя наименьшее число тех исходных предпосылок дерева происшествия, одновременное появление которых достаточно для возникновения головного события (прохождения сигнала до него). Напротив, минимальное отсечное сочетание (МОС) формирует условия не появления головного события. Это сочетание состоит из исходных событий рассматриваемого дерева, гарантирующих отсутствие происшествия, при условии не возникновения одновременно всех входящих в него событий-предпосылок. *Особенностью* обоих типов минимальных сочетаний служит то, что они теряют присущие им свойства при удалении из каждого такого сочетания хотя бы одного события.



Примеры. Для иллюстрации качественного анализа моделируемых опасных процессов с помощью минимальных пропускных и отсечных сочетаний, воспользуемся деревом происшествия, изображенным на рис. 2.2.

**Рис. 2.2. Дерево происшествия**

На данном рисунке показаны условия возможного поражения человека электрическим током. Предполагается, что

головное для этой модели событие *L* явилось результатом одновременного наложения трех предпосылок - появления потенциала высокого напряжения на корпусе электроустановки (*H*), нахождения человека на токопроводящем основании (*I*) и его прикосновения к этому корпусу (*K*).

В свою очередь, событие *H* явилось следствием возникновения любого из двух других исходных событий-предпосылок *A* и *B*, например, снижения сопротивления изоляции или касания токоведущими частями электроустановки ее корпуса по причине их раскрепления. Другое событие верхнего (промежуточного) уровня - *I* также могло быть обусловлено двумя исходными предпосылками: *C* - нахождением человека на металлическом полу или *D* - его касанием заземленных элементов здания; а событие *K* - следствием одной из трех предпосылок *E*, *F* и *G*, например, необходимостью ремонта, технического обслуживания или использования электроустановки по прямому назначению.

<sup>1</sup> В англоязычной литературе они именуется - "accident sets" и "cut sets", а ряд отечественных авторов называет их соответственно "минимальными путями к аварийному и безопасному состояниям"

Заметим, что данная модель может имитировать условия появления и *другого происшествия*, в частности - воспламенения паров водорода, выделяющихся из свинцовых аккумуляторов. Предпосылками промежуточного уровня в этом случае могут быть: *H* - накопление этого газа в аккумуляторной станции, *I* - отсутствие вентиляции данного помещения и *K* - появление внутри него источника воспламенения. В свою очередь, первая предпосылка - следствие длительного заряда неисправных аккумуляторных батарей (*A*) или отказа зарядных устройств (*B*); вторая - поломки вентиляторов (*C*) или закрытия воздухопроводов (*D*); третья - искрения электрооборудования (*E*), появления людей с открытым огнем (*F*) или их курения (*G*).

Формализация дерева происшествия. Подготовительным этапом к количественному анализу служит дальнейшая формализация рассматриваемой семантической диаграммы - аналитическое представление заданного ею процесса так называемой *структурной функцией*. В такой аналитической модели, помимо событий и связей между элементами, в качестве исходных данных также используются параметры, характеризующие вероятность или частоту исходных предпосылок на конкретном интервале времени.

Например, для изображенного выше (см. рис. 2.2) дерева, данная функция, увязывающая с помощью алгебры событий моделируемое головное событие с его промежуточными и исходными предпосылками, имеет следующий вид:

$$L = H \cdot I \cdot K = (A+B)(C+D)(E+F+G), \quad (2.3)$$

а в случае использования вероятности  $Q(L)$  в качестве объективной количественной меры появления происшествия, аналитическая формула для нее оказывается такой:

$$Q(L) = P(H) \cdot P(I) \cdot P(K) = P(A+B) \cdot P(C+D) \cdot P(E+F+G), \quad (2.4)$$

где  $P(A), \dots, P(K)$  - вероятности появления его событий - предпосылок.

Преобразование и упрощение структурных функций при необходимости осуществляют с соблюдением правил булевой алгебры. В частности, следуя закону поглощения, получают такие равенства:

$$A \cdot (A \cdot B) = A \cdot B; \quad A + (A \cdot B) = A. \quad (2.5)$$

Общая последовательность анализа. При известных структурных функциях, количественный анализ дерева происшествия и оценку вероятности достижения его головного события рекомендуется осуществлять в таком порядке: 1) аналитическая модель данного процесса декомпозируется на отдельные блоки - сомножители и слагаемые функции; 2) в выбранных блоках выделяются те подмножества событий, которые соединены между собой условиями "и", "или" и имеют известные вероятности появления; 3) проводится расчет вероятностей наступления вершинных для таких блоков событий; 4) структурная функция упрощается путем замены каждого подмножества одним членом, обладающим эквивалентной вероятностью; 5) подобным образом рассчитывается и вероятность появления головного события модели.

Правила расчета параметров. В процессе оценки числовых характеристик декомпозированного дерева происшествия, следует руководствоваться рядом правил:

1. Объединенные логическим условием "и"  $n$  предпосылок заменяют одним событием с вероятностью появления  $-P_K$  (конъюнкция -  $\wedge$ ):

$$P_K = P_1 P_2 P_3 = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (2.6)$$

2. Соединенные логическим условием "или"  $m$  предпосылок заменяют одним событием с вероятностью  $P_D$  (дизъюнкция -  $\vee$ ), равной:

$$P_D = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_m) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i), \quad (2.7)$$

которая при  $m = 2$  и  $m = 3$ , рассчитывается по таким зависимостям:

$$P_{m=2}=P_1+P_2-P_1P_2; P_{m=3}=P_1+P_2+P_3-P_1P_2-P_1P_3-P_2P_3+P_1P_2P_3. \quad (2.8)$$

3. При известных структурных схемах безотказности техники, параллельно соединенные элементы соответствуют логическому условию "и" этого дерева, а последовательно соединенные - "или".

4. В случае объединения логическим условием "и" нескольких событий, одно из которых имеет близкую к единице вероятность, а другие - меньшую 0,01, допускается упрощение данной ветви путем отбрасывания события с большой вероятностью возникновения.

5. При объединении логическим условием "или" нескольких событий, одно из которых имеет близкую к нулю вероятность, а другие - на два-три порядка больше, также можно упрощать соответствующую ветвь, но отбрасывать нужно событие с малой вероятностью.

6. Количественная оценка вероятности головного события может быть проведена также с помощью минимальных сочетаний событий - путем построения нового, эквивалентного исходному дерева, включающего в себя сочетания какого-либо одного типа. Однотипные сочетания соединяются в новом дереве всего одним логическим условием: "или" - для дерева, состоящего из одних МПС, и условием "и" - для дерева из МОС.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

### АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ И РИСКОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ (построение «деревьев событий» и «деревьев отказов»)

При анализе сложной технической системы применяется метод «дерево событий» – организованное графическое представление условий или других факторов, вызывающих нежелательное событие, называемое «вершиной событий». При построении «дерева» используется определённая символика. Состояния элементов или, в более общем смысле, исходные события (которые не могут быть подразделены) представляются окружностями, а последствия – прямоугольниками. Событие наибольшей важности (вершинное событие) представляется в виде прямоугольника, размещаемого на вершине «дерева». Таковым может быть событие, заключающееся в полной неисправности системы или её отказе. Аналогичные события для подсистем также будут обозначаться прямоугольниками.

#### Задание 1

**1. Составить «дерево отказов» вентиляционной системы для отделений просеивания муки и приготовления теста.**

**2. Определить вероятность отказа системы**

*Описание системы.* В проектируемом комплексе наибольшую опасность представляет собой местная вентиляция с системой аспирации, удаляющая запыленный воздух из рабочей зоны мукопросеивательной и тестомесильной машин. Это объясняется тем, что при определенных условиях присутствие мучной пыли в воздухе может привести к взрыву. Надежность системы аспирации рассчитывается на основании приведенных далее начальных условий.

Аспирационная система (рис. 2.1), удаляющая запыленный воздух из рабочей зоны мукопросеивательной и тестомесильной машин, состоит из пылезащищенного вентилятора, системы воздухопроводов с двумя зонтами и устройств очистки от мучной пыли.

Работа мукопросеивательной и тестомесильной машин напрямую зависит от исправности вентиляционной системы. Соединение всех пылящих машин и вентиляции через блок запуска с таймером задержки обеспечивает наибольшую степень защиты от возможного взрыва.

При включении оборудования первой запускается система аспирации, и только через 3 минуты, если блок управления принял сигналы от датчиков системы о исправном

её состоянии, включается оборудование. Такой контроль исключает увеличение концентрации мучной пыли и тем самым уменьшает риск взрыва пылевоздушной смеси.

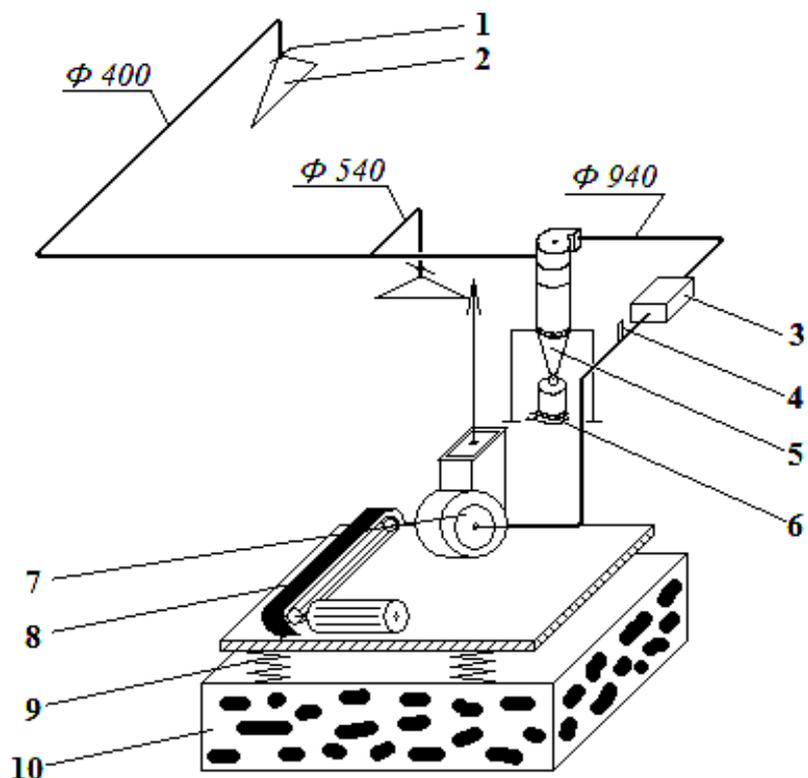


Рис. 2.1. Схема вентиляционной системы:

1 – дроссельная заслонка; 2 – вытяжной зонт; 3 – фильтр карманный;  
4 – датчик засорения фильтра и работы вентилятора; 5 – циклон; 6 – датчик засорения  
циклона; 7 – вентилятор; 8 – ременная передача; 9 – виброопора; 10 – основание

Перечень отказов системы вентиляции:

- 1) снижение давления в воздуховоде после карманного фильтра (засорение фильтра);
- 2) уменьшение концентрации пыли при прохождении воздуха через циклон незначительное (засорение циклона);
- 3) отказ предохранителя;
- 4) выход из строя подшипника электродвигателя;
- 5) выход из строя крыльчатки охлаждения электродвигателя;
- 6) межвитковое замыкание обмотки электродвигателя;
- 7) обрыв обмотки электродвигателя;
- 8) отказ концевого выключателя;
- 9) выход из строя пульта управления;
- 10) выход из строя сигнализатора засорения карманного фильтра;
- 11) выход из строя сигнализатора засорения циклона;
- 12) выход из строя дроссельной заслонки зонта;
- 13) износ сальникового уплотнителя;
- 14) износ соединения вала и блоков ременной передачи;
- 15) износ ременной передачи;
- 16) выход из строя подшипника вала рабочего колеса;
- 17) износ постоянной муфты.

Перечень отказов ведет к следующим событиям

<b>А</b>	<b>Остановка линии</b>
<b>Б</b>	<b>Параметрический отказ</b>
<b>В</b>	<b>Функциональный отказ</b>
<b>Г</b>	<b>Отказ электрооборудования</b>
<b>Д</b>	<b>Отказ механической части</b>
<b>Ж</b>	<b>Отказ систем автоматики</b>
<b>З</b>	<b>Отказ вентилятора</b>
<b>Е</b>	<b>Отказ электродвигателя</b>
<b>И</b>	<b>Отказ механической части</b>
<b>К</b>	<b>Отказ электрической части</b>

1. Вероятность появления события Б (параметрический отказ) определяется по параллельного соединения элементов 1, 2

2. Вероятность появления события И (отказ механической части электродвигателя) определяется по параллельного соединения элементов 4,5

3. Вероятность появления события К (отказ электрической части электродвигателя) определяется по параллельного соединения элементов 6,7

4. Вероятность появления события Е (выход из строя электродвигателя) определяется по параллельного соединения элементов

5. Вероятность появления события Ж (выход из строя систем автоматики) определяется по последовательное соединение элементов 8,9,10,11

6. Событие Г может произойти только тогда, когда произойдет хотя бы одно из трех событий Е, Ж и З.

7. Событие З (выход из строя вентилятора) определяется работой элементов 16 и 17 (последовательное соединение)

8. Событие Д (выход из строя механической части) может произойти только тогда, когда произойдет хотя бы одно из пяти событий 12, 13, 14, 15 и 3, причем соединения осуществлены последовательно.

9. Событие А (отказ вентиляционной системы) может произойти только тогда, когда произойдет хотя бы одно из двух событий Б или В.

Вероятность безотказной работы вентиляционной системы указана в таблице 2

№ п/п	Наименование отказа	Вероятность безотказной работы $P(i)$	Вероятность отказа $P(i)$
1	Снижение давления в воздуховоде	$P(1) = e^{-\lambda T} = 0,88$	
2	Уменьшение концентрации пыли	$P(2) = e^{-\lambda T} = 0,88$	
3	Отказ предохранителя	$P(3) = e^{-\lambda T} = 0,92$	
4	Выход из строя подшипника электродвигателя	$P(4) = e^{-\lambda T} = 0,97$	
5	Выход из строя крыльчатки охлаждения электродвигателя	$P(5) = e^{-\lambda T} = 0,99$	
6	Межвитковое замыкание обмотки электродвигателя	$P(6) = e^{-\lambda T} = 0,99$	
7	Обрыв обмотки электродвигателя	$P(7) = e^{-\lambda T} = 0,99$	
8	Отказ концевого выключателя	$P(8) = e^{-\lambda T} = 0,95$	
9	Выход из строя пульта управления	$P(9) = e^{-\lambda T} = 0,99$	

10	Выход из строя сигнализатора засорения карманного фильтра	$P(10) = e^{-\lambda T} = 0,92$	
11	Выход из строя сигнализатора засорения циклона	$P(11) = e^{-\lambda T} = 0,95$	
12	Выход из строя дроссельной заслонки зонта	$P(12) = e^{-\lambda T} = 0,95$	
13	Износ сальникового уплотнителя	$P(13) = e^{-\lambda T} = 0,94$	
14	Износ соединения вала и блоков ременной передачи	$P(14) = e^{-\lambda T} = 0,99$	
15	Износ ременной передачи	$P(15) = e^{-\lambda T} = 0,94$	
16	Выход из строя подшипника вала рабочего колеса	$P(16) = e^{-\lambda T} = 0,95$	
17	Износ постоянной муфты	$P(17) = e^{-\lambda T} = 0,96$	

### Задача 2 Расчет вероятности причинения ущерба здоровью

Риск причинения ущерба здоровью газосварщика может произойти по следующим причинам:

- поражение электрическим током,
- поражение лучами электрической дуги
- механические травмы
- пожар
- отравление вредными газами
- взрыв газа
- получение ожогов

Вышеописанные риски вызываются следующими событиями (таблица 2)

#### Вероятность событий, приводящих к причинению ущерба здоровью электросварщика

№ п/п	Событие	Вероятность $P(t)$
1	Прикосновение к токоведущим частям сварочного оборудования	$5 \cdot 10^{-4}$
2	Работа без электробезопасных средств	$2 \cdot 10^{-4}$
3	Выполнение работ без защитного щитка	$2 \cdot 10^{-4}$
4	Выполнение работ без спецодежды	$4 \cdot 10^{-4}$
5	Травмирование в процессе сварки при падении изделия	$3 \cdot 10^{-4}$
6	Травмирование в процессе подготовки изделия	$2 \cdot 10^{-4}$
7	Попадание расплавленного металла на легковоспламеняющийся материал	$4 \cdot 10^{-5}$
8	Утечка газа из баллонов	$3 \cdot 10^{-4}$
9	Попадание раскаленного металла на открытые части тела	$2 \cdot 10^{-5}$

10	Прикосновение к открытому огню	$2 \cdot 10^{-5}$
11	Превышение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны	$5 \cdot 10^{-4}$
12	Утечка газа из баллонов	$3 \cdot 10^{-6}$
13	Возникновение взрывоопасной концентрации	$4 \cdot 10^{-5}$
14	Работа вблизи легковоспламеняющихся веществ	$3 \cdot 10^{-4}$
15	Наличие источника огня	$5 \cdot 10^{-4}$

### **Задание**

- 1. Составить «дерево рисков» причинения ущерба здоровью.**
- 2. Оценить риск получения ущерба здоровью газосварщика**

### **Задача 3 Расчет риска травмирования работников**

В процессе трудовой деятельности на работника воздействуют факторы производственной среды и трудового процесса, которые могут оказать отрицательное влияние на здоровье. Вероятность травмирования работника  $R_{тр.р}$  до внедрения мероприятий по ОТ определяется вероятностью самотравмирования  $R_{с.тр.}$ , которая может быть обусловлена одной из следующих причин:

- отравлением парами растворителя ( $5 \cdot 10^{-3}$ );
- травмированием ног перевозимыми деталями ( $0,42 \cdot 10^{-3}$ );
- наездом погрузчика ( $0,1 \cdot 10^{-3}$ ).

После внедрения мероприятия вероятность травмирования работника  $R_{тр.р}$  может быть обусловлена одной из следующих причин:

- ожогом рук горячей деталью ( $0,4 \cdot 10^{-3}$ );
- травмированием ног деталями ( $0,3 \cdot 10^{-3}$ );
- наездом погрузчика ( $0,1 \cdot 10^{-3}$ ).

#### **Задание:**

- 1. Оцените риск получения травм до и после внедрения мероприятия по охране труда (ОТ).**
- 2. Нарисуйте дерево рисков до и после проведения работ по ОТ.**
- 3. Проведите оценку эффективности мероприятий:  $\Delta R = R$  (до внедрен.) –  $R$  (после внедрения)**

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8 АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

Анализ риска аварий на опасных производственных объектах является частью управления промышленной безопасностью.

Объект анализа – сварочный цех.

Цель и задачи анализа риска объекта:

- выявление опасностей и априорная количественная оценка риска с учетом воздействия поражающих факторов аварии на персонал, население, имущество и окружающую природную среду;
- обеспечение информацией для разработки инструкций, технологического регламента и планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций.

Таким образом, основная задача анализа риска заключается в том, чтобы предоставить объективную информацию о состоянии промышленного объекта лицам, принимающим решения в отношении безопасности анализируемого объекта.

Количественная оценка риска относится к задаче, решаемой с использованием методов теории вероятности, она базируется на статистике аварийных ситуаций, происшедших ранее на аналогичных объектах. Основной базой для оценки риска, в связи с ограниченным распространением информации по аварийности на объектах в предшествующий период, является качественная оценка опасностей, основанная на инженерном опыте проектных институтов и эксплуатационных служб, использующих запроектированные объекты в сфере промышленного производства.

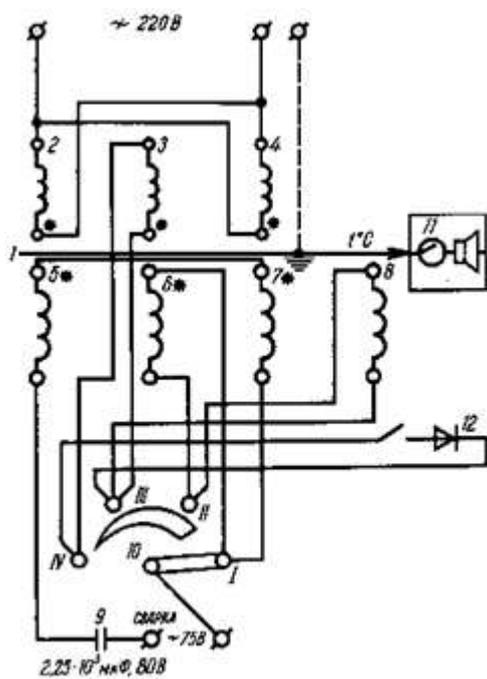
Основные процедуры анализа риска:

- планирование и организация работ;
- идентификация опасностей;
- оценка риска;
- разработка рекомендаций по уменьшению риска.

В качестве источников риска рассматриваются сварочный аппарат-выпрямитель постоянного тока «ДУГА 318 М1» (рис. 2.3 и табл. 2.2) и полуавтомат сварочный «КРИСТАЛЛ ПДГО-570-4К» (рис. 2.4 и табл. 2.4).

Описание объектов

1. Сварочный аппарат-выпрямитель постоянного тока «ДУГА 318 М1» предназначен для ручной дуговой сварки прямого и сложного профиля различных металлов и сплавов на постоянном токе любой полярности всеми видами электродов, а также в среде защитных газов. Его можно использовать в производственных цехах и полевых условиях, в передвижных мастерских, коммунальном хозяйстве и т. п. «ДУГА 318 М1» имеет разные исполнения по подключению к сети 220 и 380 В. Габаритные размеры аппарата 400 × 300 × 360 мм.



Климатическое исполнение аппарата – У, категория размещения – 3, тип атмосферы II по ГОСТ 15150, но для работ при нижнем значении температуры окружающей среды от 258 К (–15 °С) до 313 К (+40 °С).

Не допускается использование аппаратов во взрывоопасной среде, а также содержащей едкие пары и газы, разрушающие металлы и изоляцию.

Допускается кратковременная (не более 6 ч) эксплуатация аппарата при температуре окружающей среды 318 К (+45 °С) и относительной влажности 98 %.

Степень жесткости климатических факторов внешней среды III по ГОСТ 16962.1.

Степень защиты по IP 22 согласно ГОСТ 14254.

Таблица 2.2

Технические характеристики сварочного аппарата «ДУГА 318 М1»

Характеристика	Значение
Напряжение питания, В	220
Максимальный сварочный ток, А	170
Пределы регулирования сварочного тока, А	30–160
Максимальная потребляемая из сети полная мощность, кВА	4,5
Коэффициент мощности (Cos φ) при токах от 80 до 200 А, не хуже	0,95
Продолжительность нагрузки, ПН %, не хуже	60
КПД, %, не хуже	0,8
Масса, кг	25
Габаритные размеры, мм	400 × 200 × 360

## 2. Полуавтомат сварочный «КРИСТАЛЛ ПДГО-570-4К».

В состав сварочного полуавтомата входят (рис. 2.4): горелка 1 (комплект) со шлангом 2; механизм 3 подачи электродной проволоки; кассета 5; катушка или другие устройства, являющиеся емкостями для электродной проволоки; шкаф 4 или блок управления, если он конструктивно не объединен с источником питания; источник питания 7; провода 9 для сварочной цепи и 8 цепей управления; редуктор 10 и аппаратура для регулирования и измерения расхода газа; шланг 6 для газа в полуавтоматах для сварки в защитных газах; подогреватель газа в полуавтоматах для сварки в среде углекислого газа, устройство для подачи флюса в полуавтоматах для сварки под флюсом.

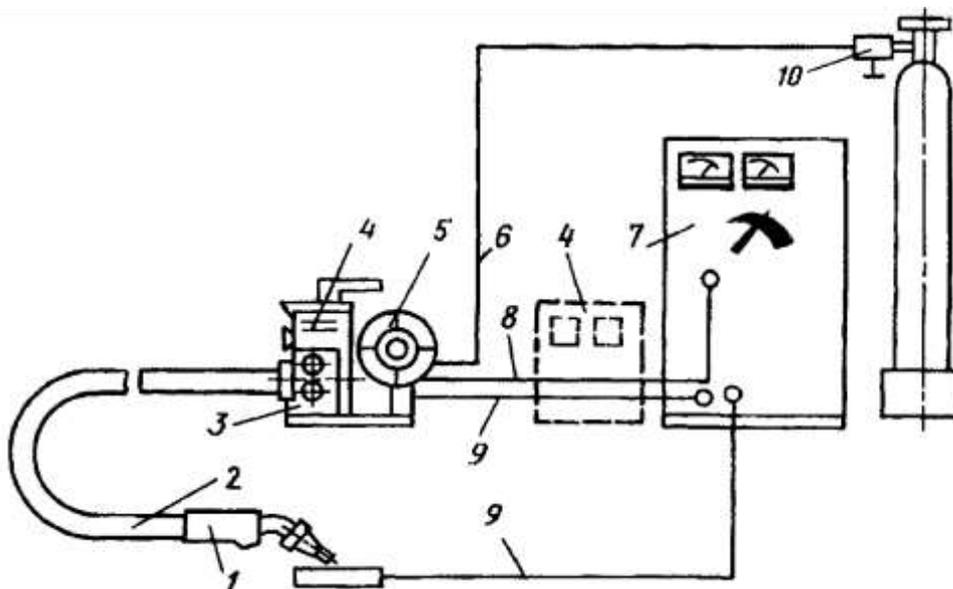


Рис. 2.4. Полуавтомат сварочный «КРИСТАЛЛ ПДГО-570-4К»

Механизм подачи ПДГО-570-4К с четырьмя ведущими роликами предназначен для дуговой сварки в защитных газах (углекислый газ, аргон и т.п.) изделий из малоуглеродистых, низколегированных и легированных сталей, алюминия и его

сплавов протяженным прерывистым швом и электрозаклепками. Сварка осуществляется постоянным током обратной полярности плавящейся электродной проволокой. Допускается использование порошковой проволоки. Встроенный блок управления обеспечивает высокую стабильность скорости подачи проволоки и позволяет регулировать все необходимые параметры сварки. Подающий механизм ПДГО-570-4К оснащен встроенным цифровым унифицированным блоком управления сварочными процессами.

Таблица 2.3  
Технические характеристики полуавтомата сварочного «КРИСТАЛЛ ПДГО-570-4К»

Характеристика	Значение
Напряжение сети, В	220
Сварочный ток, А	60–500
Режим работы, ПВ %	60
Диаметр проволоки, мм	1,0–2,0
Масса, кг	13
Габариты, мм	660 × 185 × 405

Задание:

1. Построить дерево событий развития аварийной ситуации
2. Произвести расчет риска как вероятности возникновения аварийной ситуации с учетом данных таблицы 2.4
3. Произвести расчет риска как вероятности причинения ущерба здоровью с учетом данных таблицы 2.5.

Таблица 2.4  
Вероятность возникновения аварийной ситуации

№ п/п	Событие	Вероятность P(t)
1	Нарушение правил безопасности	$5 \cdot 10^{-4}$
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	$4 \cdot 10^{-5}$
3	Разрыв сварочных резино-тканевых рукавов	$3 \cdot 10^{-5}$
4	Механическое повреждение редуктора	$5 \cdot 10^{-5}$
5	Выход из строя гайки редуктора	$2 \cdot 10^{-6}$
6	Выход из строя прокладки	$4 \cdot 10^{-4}$
7	Превышение давления газа в баллоне	$4 \cdot 10^{-6}$
8	Эксплуатация неисправного баллона	$2 \cdot 10^{-5}$

Таблица 2.5  
Вероятность событий, приводящих к причинению ущерба здоровью электросварщика

№ п/п	Событие	Вероятность P(t)
1	Прикосновение к токоведущим частям сварочного оборудования	$5 \cdot 10^{-4}$
2	Работа без электрозщитных средств	$2 \cdot 10^{-4}$
3	Выполнение работ без защитного щитка	$2 \cdot 10^{-4}$
4	Выполнение работ без спецодежды	$4 \cdot 10^{-4}$
5	Травмирование в процессе сварки при падении изделия	$3 \cdot 10^{-4}$
6	Травмирование в процессе подготовки изделия	$2 \cdot 10^{-4}$

7	Попадание расплавленного металла на легковоспламеняющийся материал	$4 \cdot 10^{-5}$
8	Утечка газа из баллонов	$3 \cdot 10^{-4}$
9	Попадание раскаленного металла на открытые части тела	$2 \cdot 10^{-5}$
10	Прикосновение к открытому огню	$2 \cdot 10^{-5}$
11	Превышение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны	$5 \cdot 10^{-4}$
12	Утечка газа из баллонов	$3 \cdot 10^{-6}$
13	Возникновение взрывоопасной концентрации	$4 \cdot 10^{-5}$
14	Работа вблизи легковоспламеняющихся веществ	$3 \cdot 10^{-4}$
15	Наличие источника огня	$5 \cdot 10^{-4}$

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9  
ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА. ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ ФАКТОРОВ  
РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ**

Задача: Необходимо выполнить комплексную экспертную оценку эколого-экономических рисков промышленного предприятия в соответствии с определенным вкладом по всем факторам возникновения рисков.

№ п/п	Факторы риска	Индивидуальное решение	И.О.	командное решение	К.О.	ИИ
1	Нарушение нормативов (лимитов) образования отходов					
2	Нарушение нормативов (лимит) на размещение отходов					
3	Выбросы в атмосферу (в т.ч. сверхлимитные)					
4	Риски водозабора					
5	Образование промышленных и бытовых отходов					
6	Образование загрязнённых промышленных стоков					
7	Образование загрязнённых поверхностных стоков					
8	Шумовое воздействие					
9	Действие электрического тока					
10	Тепловое воздействие (пожары)					
11	Вращающиеся части оборудования					
12	Химическое воздействие на организм человека (вследствие аварии)					
13	Нарушение нормативов СЗЗ					
14	Техногенная авария (без пострадавших)					

Блок-схема работы

1. Вводная беседа руководителя о целях и задачах работы, изложение правил игровой ситуации.
2. Выполнение каждым участником индивидуального задания - заполнить 1-ю графу в бланке игры "Индивидуальное решение".
3. Формирование команд участников (по 3-4 человек) по их желанию.
4. Выполнение группового задания командой - заполнить 3-ю графу в бланке экспертизы, строго следуя правилу: групповое решение принимается только в случае согласия всех членов команды (экологического совета).
5. Объявление данных, полученных с помощью математического моделирования на компьютере. - заполнить 5-ю графу бланка экспертизы.
6. Расчет индивидуальной ошибки участника.
7. Расчет групповой (командной) ошибки.
8. Сведение данных индивидуальных и групповых ошибок в сводную таблицу.
9. Обсуждение данных сводной таблицы.
10. Подведение итогов работы.

### **Пояснения к проведению Экспертного совета**

В условиях неполноты информации оценка вероятностей проявления негативных факторов выполняется методом экспертных оценок. Гарантия достоверности экспертных оценок обосновывается оценкой согласованности действий экспертов. Оценку согласованности экспертов проводим по нижеизложенной методике.

Важное правило первого этапа игры - не обмениваться репликам, не высказывать вслух своих суждений и догадок. Выполнение индивидуального задания - заполнение 1-й графы - должно проходить в тишине!

Затем объясняется игровая ситуация: каждый участник игры выполняет роль эксперта-эколога, которому необходимо подготовить программу мер по разрешению экологических проблем на уровне среднего промышленного предприятия, региона, На международном (глобальном) уровне и предложить ее "экологическому совету" (коллегам по команде), который принимает окончательное решение.

Участникам игры предлагаются три бланка с перечнем необходимых экологических мероприятий: № 1 - на уровне промышленного предприятия, № 2 - на уровне крупного региона, № 3 - на международном уровне, перечисленных в произвольной последовательности. Участникам игры (экспертам-экологам) необходимо обдумать и выбрать последовательность мероприятий, которые следует осуществить с учетом имеющейся в распоряжении исполнителей возможностей. В 1-й графе "Индивидуальное решение" участник проставляет порядковый номер (ранг) природоохранного мероприятия по степени важности его в решении экологических вопросов на конкретном деятельном уровне (предприятие, регион, планета). Наиболее важные мероприятия должны иметь более высокий ранг (низкий номер): 1б1б3б4 и т.д.

На следующем этапе каждый участник рассчитывает свою индивидуальную ошибку и заносит ее значение во 2-ю графу бланков № 1, 2, 3:

$$И.О. = |(1) - (5)|$$

Затем все цифры 2-й графы складывают и получают индивидуальную ошибку участника игры на конкретном уровне принятия решений. Суммируя И.О. 1-3-го бланков, получают итоговую индивидуальную ошибку конкретного участника игры:

$$И.О._{итог} = \Sigma_1^2 + \Sigma_2^2 + \Sigma_3^2$$

где  $\Sigma_1^2$  ;  $\Sigma_2^2$  ;  $\Sigma_3^2$  - индивидуальные ошибки (2-я графа), допущенные участниками игры на разных уровнях (бланки № 1, 2, 3) природоохранной деятельности.

№ п/п	Мероприятие	Индивидуальное решение (графа 1)	И.О. (графа 2)	командное решение (графа3)	К.О. (графа4)	ИИ (графа5)
3	Принятие жестких мер к экономии ресурсов	2	1			3
4	Окружение предприятия лесным массивом	7	3			4
			$\Sigma_1^2 =$		$\Sigma_1^4 =$	

Групповая (командная) ошибка "экологического совета" рассчитывается аналогично по формулам:

$$К.О. = |(3) - (5)|$$

$$К.О._{итог} = \Sigma_1^4 + \Sigma_2^4 + \Sigma_3^4$$

где  $\Sigma_1^4$  ;  $\Sigma_2^4$  ;  $\Sigma_3^4$  - групповые ошибки (4-я графа), допущенные командой ("экологическим советом") на разных уровнях (бланки № 1, 2, 3) природоохранной деятельности.

Далее все команды по очереди называют индивидуальные и командные ошибки. Эти данные заносятся в сводную таблицу.

Заключение. Проанализировав результаты сводной таблицы, можно сделать вывод об умении участников игры коллективно обсуждать проблемы и принимать оптимальное решение, о психологической совместимости членов команды. Команда, у которой командная ошибка ниже любой из индивидуальных, считается психологически хорошо совместимой и способной эффективно решать серьезные экологические задачи. Победителем является команда, допустившая самую малую командную ошибку.

### Сводная таблица

Команда	Индивидуальные ошибки							групповая (командная) ошибка
	1	2	3	4	5	6	7	
ЭКОС	38	24	56	45	65	45	63	23
ЗЕМЛЯ	43	25	44	43	84	35	43	54

### Данные ИИ (Статистические данные)

№ п/п	Факторы риска	РАНГ риска
1	Нарушение нормативов (лимитов) образования отходов	1
2	Нарушение нормативов (лимит) на размещение отходов	2
3	Выбросы в атмосферу (в т.ч. сверхлимитные)	3
4	Риски водозабора	12
5	Образование промышленных и бытовых отходов	8
6	Образование загрязнённых промышленных стоков	9
7	Образование загрязнённых поверхностных стоков	7
8	Шумовое воздействие	5
9	Действие электрического тока	6
10	Тепловое воздействие (пожары)	11
11	Вращающиеся части оборудования	4
12	Химическое воздействие на организм человека (вследствие аварии)	13
13	Нарушение нормативов СЗЗ	10
14	Техногенная авария ( без пострадавших)	14

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РИСКА. БАЗОВЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

#### Понятие модели

Множество окружающих нас предметов и явлений обладают различными свойствами. Процесс познания этих свойств состоит в том, что мы создаем для себя некоторое представление об изучаемом объекте, помогающее лучше понять его внутреннее состояние, законы функционирования, основные характеристики. Такое представление, выраженное в той либо иной форме, называется **моделью**. В целом, *под моделью следует понимать любую другую систему, обладающую той же формальной структурой, при условии, что между системными характеристиками модели и оригиналом существует соответствие, и она более проста и доступна для изучения и исследования основных свойств объекта-оригинала.*

Любая модель есть объект-заменитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.

*Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели можно назвать **моделированием**, т.е. моделирование - это представление объекта моделью для получения информации об объекте путем проведения эксперимента с его моделью.*

Как правило, моделирование используется на следующих этапах:

- исследования системы до того, как она спроектирована, с целью определения ее основных характеристик и правил взаимодействия элементов между собой и с внешней средой;
- проектирования системы для анализа и синтеза различных видов структур и выбора наилучшего варианта реализации с учетом сформулированных критериев оптимальности и ограничений;
- эксплуатации системы для получения оптимальных режимов функционирования и прогнозируемых оценок ее развития.

*При этом одну и ту же систему можно описать различными типами моделей.*

Например, транспортную сеть некоторого района можно промоделировать электрической схемой, гидравлической системой, математической моделью с использованием аппарата теории графов.

Для исследования систем широко используются следующие типы моделей: физические (геометрического подобия, электрические, механические и др.) и символические (содержательные и математические).

Под *математической моделью* понимается *совокупность математических выражений, описывающих поведение (структуру) системы и те условия (возмущения, ограничения), в которых она работает*. В свою очередь, математические модели в зависимости от используемого математического аппарата подразделяются, например:

- на статические и динамические;
- детерминированные и вероятностные;
- дискретные и непрерывные;
- аналитические и численные.

*Статические модели* описывают объект в какой-либо момент времени, а динамические отражают поведение объекта во времени.

*Детерминированные модели* описывают процессы, в которых отсутствуют (не учитываются) случайные факторы, а *вероятностные модели* отражают случайные процессы - события. *Дискретные модели* характеризуют процессы, описываемые дискретными переменными, непрерывные - непрерывными. *Аналитические модели* описывают процесс в виде некоторых функциональных отношений или (и) логических условий. *Численные модели* отражают элементарные этапы вычислений и последовательность их проведения.

Если для описания системы используется *естественный язык (язык общения между людьми)*, то такое описание называется *содержательной моделью*.

Примерами содержательных моделей являются словесные постановки задач, программы и планы развития систем, деревья 30 целей организации и др. Содержательные модели имеют самостоятельную ценность при решении задач исследования и управления системами, а также используются в качестве предварительного шага при разработке математических моделей.

В качестве языковых средств описания содержательных моделей используются естественный язык (язык общения между людьми), диаграммы, таблицы, блок-схемы, графы.

Сложные системы потому и называются сложными, что они плохо поддаются формализации. Для них целесообразно использовать содержательные модели. Содержательные модели незаменимы на ранних этапах проектирования сложных систем, когда формируется концепция системы. Методы системного анализа, используя декомпозиционный подход, позволяют выявить упорядоченное множество подсистем, элементов, свойств системы и их связей. Интегрированная содержательная модель системы позволяет представить общую картину, составить обобщенное описание, в котором подчеркнуты основные сущности, а детали скрыты. Главное в такой модели - краткость и понятность. Такая модель может служить основой для построения более детальных моделей, описывающих отдельные аспекты, подсистемы. Таким образом, содержательная модель может служить каркасом для построения других моделей, в том числе и математических. Она служит также для структуризации информации об объекте.

#### **Классификация моделей и методов системного анализа**

Все понятия, методы, модели и технологии можно объединить в несколько укрупненных блоков. На рис. 2.1. приведена схема, представленная в виде многоуровневой структуры. Блоки расположены так, что чем выше уровень, тем

более прикладной, узко направленный характер носят его составляющие методы и модели. Связи между уровнями имеют смысл “использует”, причем имеется ввиду использование не только знаний соседнего уровня, но и всех нижерасположенных уровней.

Базисный уровень составляют основополагающие понятия системного анализа: система, подсистема, элемент, окружающая среда, проблема, цель, функция, структура, внешние условия системы. К базовым понятиям относятся и основные свойства систем - свойства иерархичности, эмерджентности, динамичности, целенаправленности.

Следующий уровень составляют базовые модели системного анализа. Практически любая методика системного анализа в качестве основы использует одну из базовых моделей или их некоторую комбинацию. Высокий уровень абстрактности этих моделей позволяет использовать их для любых типов систем, причем для описания различных аспектов систем, таких как цели, задачи, функции, структуры. Конкретные методики, используя базовые модели, наполняют их более конкретным содержанием, накладывая определенные ограничения на синтаксис и семантику моделей.

Одна из базовых моделей систем – модель в виде этапов системной деятельности - рассмотрена в п. 1.7.

К базовым моделям относятся также модель черного ящика, модель состава системы и модель структуры (см. рис. 2.2). Эти виды моделей широко используются для формирования моделей организаций. Например, модель черного ящика используется для описания взаимодействия организации с окружающей средой. Модель состава используется для отображения состава функций организации, целей, задач, персонала и т.д. Модель структуры используется для отображения структуры подчиненности в организации, коммуникационных взаимодействий и т.д.

Указанные виды моделей систем используются чаще всего в статическом варианте, однако они могут использоваться и в динамическом варианте. Например, динамическая модель черного ящика может быть использована для отображения динамики изменения некоторых основных параметров, характеризующих состояние организации. Динамический вариант модели структуры используется, например, при формировании сетевого графика выполнения программы развития организации.

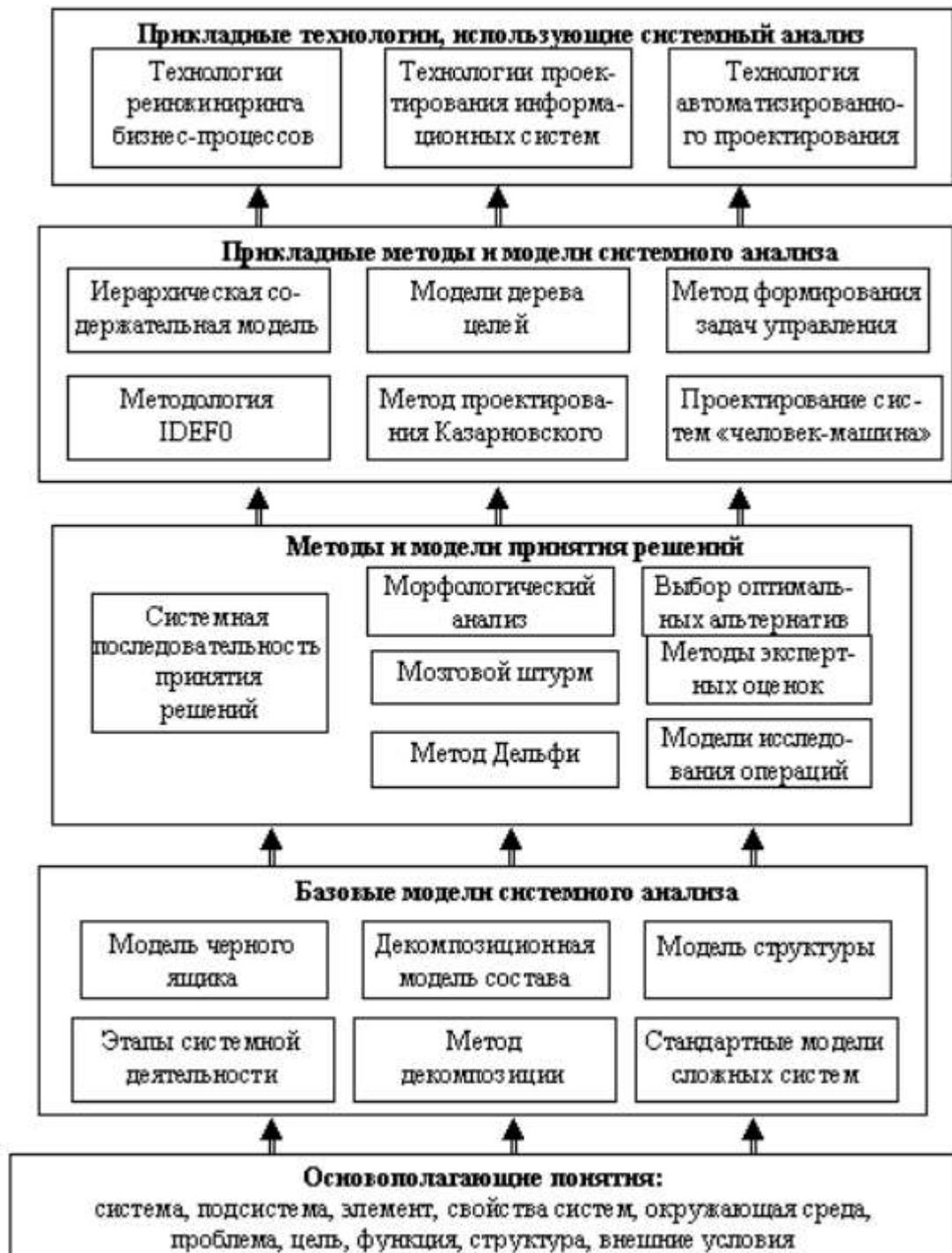


Рис.2.1. Классификация моделей и методов системного анализа

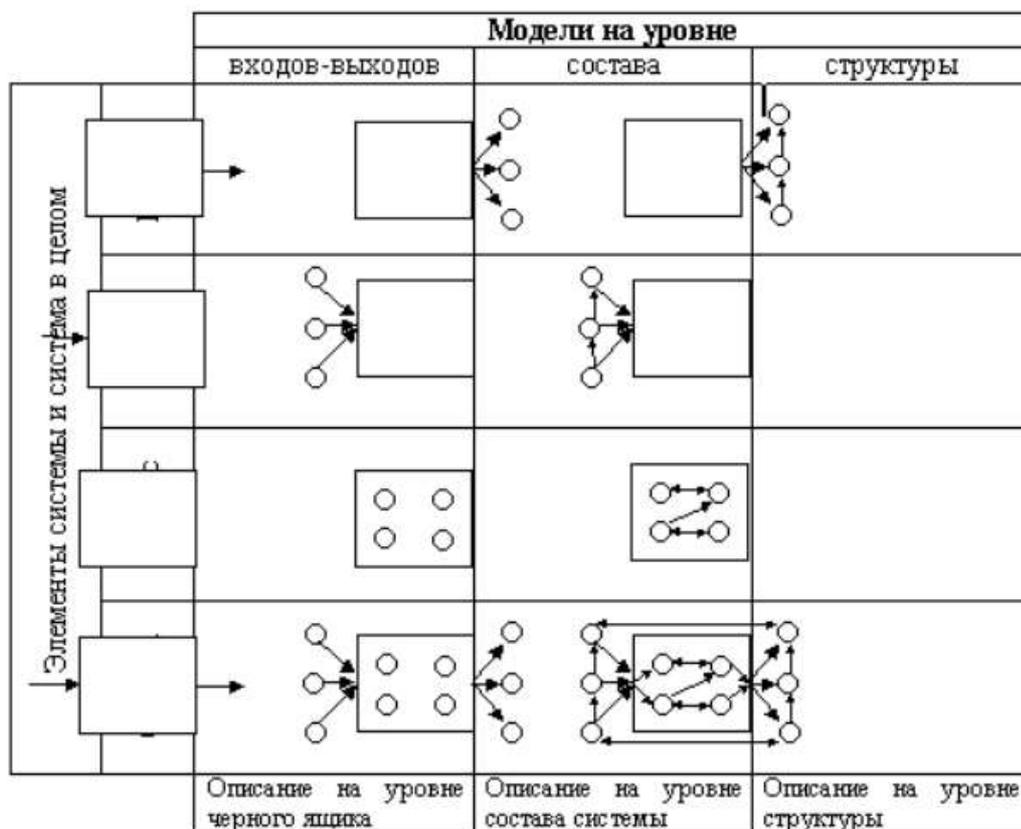


Рис.2.2. Основные виды моделей систем

Для построения этих моделей применяется метод декомпозиции. В свою очередь, для проведения декомпозиции используются так называемые стандартные модели, описывающие инвариантные характеристики сложных систем.

В следующий уровень компонент системного анализа включены модели и методы принятия решений. В самом общем виде последовательность принятия решений включает этапы выявления проблемной ситуации, целевыявления, формирования критериев выбора решений, выработки (генерации) решений, согласования и выбора решений, реализации решений и оценки результатов. Данная последовательность применима для создания самых различных сложных систем.

К этому уровню будем относить и методы принятия решений. Как правило, эти методы не привязаны к объекту проектирования, в них делается акцент на способы организации группового или индивидуального поиска решений. К методам поиска решений относятся, в частности, методы активизации мышления (мозговой штурм, синектика), методы генерации вариантов (морфологический анализ, метод Дельфи), а также методы выбора (например метод экспертных оценок), модели выбора оптимальных альтернатив, модели исследования операций.

Перейдем к рассмотрению следующего уровня компонент системного анализа. Его составляют прикладные методологии системного анализа, центральным моментом которых является модель сложной системы. Примерами таких методологий могут служить модель дерева целей, модель задач управления, метод построения иерархических содержательных моделей сложных систем, метод структурно-функционального проектирования Казарновского и т.д.

Различные методологии, используя те или иные сочетания базовых моделей системного анализа применительно к тем или иным аспектам сложной системы, предлагают более конкретные способы формирования моделей. Например, методика дерева целей, предназначенная для этапа целевыявления, использует как основу

декомпозиционную модель состава применительно к целям сложной системы. При этом предлагаются конкретные способы формирования модели, в частности с использованием стандартных оснований декомпозиции, даются определенные рекомендации по проведению декомпозиции.

Верхний уровень компонент системного анализа составляют технологии проектирования, использующие системный анализ. К ним относятся технологии, ориентированные на конкретный вид систем, например: CASE-технологии проектирования программных информационных систем, технологии автоматизированного проектирования технических систем различного назначения, технологии реинжиниринга бизнес-процессов. Отличительной особенностью технологий является наличие регламентирующей процедуры проектирования, предусматривающей выполнение определенных этапов, для каждого из которых определены стандартизированные методики и стандартный набор документации. Как правило, на некоторых этапах предусматривается формирование различного рода моделей.

Практически любая технология явно или неявно использует системный подход. Так, в основе регламентирующих процедур проектирования, как правило, лежит системная последовательность принятия решений. Методики проектирования зачастую базируются на различных методологиях системного анализа и общих процедурах принятия решений.

Многие технологии подкреплены автоматизированными средствами поддержки. Например, для проектирования информационных систем широко используются CASE-средства, автоматизирующие создание программного обеспечения, для проектирования технических комплексов разработаны различные системы автоматизированного проектирования (САПР), для проектирования бизнес-систем все активнее начинают применяться инструментальные BPR-средства.

#### **Задание:**

**Задание выполняется в письменном виде. Ответить на контрольные вопросы:**

1. Дайте понятие модели системы, приведите примеры объективной необходимости использования моделей для анализа функционирования различных систем.
2. Приведите примеры содержательных моделей. Как соотносятся содержательные и формальные модели?
3. Какие модели системного анализа относятся к базовым?
4. Приведите классификацию моделей и методов системного анализа.
5. Приведите примеры моделей “черного ящика”, моделей состава и моделей структуры для конкретной системы (кафе, ателье, фотосалон и т.д.)
6. Поясните на примерах отличия типов иерархических систем (страты, слои, эшелоны, классы).
7. В чем отличия отношений в модели состава деятельности компании от отношений в модели структуры подчиненности компании?
8. Дайте понятие декомпозиции, модели декомпозиции, поясните это на конкретном примере.
9. Поясните основные этапы жизненного цикла конечного продукта на примере.
10. Приведите иерархию подсистем конкретной системы (МГТУ, организация, производственное предприятие и т.д.), построенную с использованием стандартных моделей организационной системы.
11. Приведите модель связей подсистем системы и окружающей среды

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11**

### **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА КАК РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

Практика анализа и оценки риска в области охраны и окружающей среды

предполагает учет, как известно, двух типов риска:

- риск загрязнения, рассматриваемый как вероятность загрязнения окружающей среды в результате плановой или аварийной деятельности промышленных предприятий (экологический риск);
- риск для здоровья, который характеризует собой вероятность развития у населения неблагоприятных для здоровья эффектов в результате реального или потенциального загрязнения окружающей среды.

В рамках настоящего занятия мы уделим внимание второму типу риска, его анализу и оценке.

Хорошо известно, что установление причинно-следственных связей в системе “средоздоровье” требует проведения весьма объемных исследований в течение достаточно длительного периода даже в случае изучения влияния единичного фактора. При комбинированном действии различных агентов решение задачи усложняется и требует еще больших усилий. В связи с этим принятие оперативных управленческих решений в области охраны окружающей среды на основе лишь установления причинно-следственных связей, является не всегда возможным в силу временных или финансовых ограничений. Вместе с тем, длительное наблюдение и анализ факторов среды обитания человека и его здоровья в рамках единого информационного пространства, как это предполагается осуществлять в системе социально-гигиенического мониторинга, способны создать основу для использования результатов этого вида работ и для решения перспективных задач.

Расчет потенциального риска, на наш взгляд, наиболее успешно может быть использован для оперативной медико-экологической оценки ожидаемых последствий загрязнения окружающей среды. В этом аспекте оценка потенциального риска имеет свои преимущества, так как она сориентирована на конкретный “управляемый” (известный и измеряемый) фактор среды. По сути дела, практическое использование расчета потенциального риска в нашей стране началось достаточно давно, с внедрением концепции ПДК, когда врач-гигиенист получил возможность, опираясь на цифры содержания вредных примесей в объектах среды обитания человека, судить о допустимости тех или иных ситуаций. Дальнейшее развитие такого подхода позволило ранжировать уровни загрязнения на несколько степеней - от допустимой (или приемлемой) до чрезвычайно опасной, ориентируясь на кратность превышения норматива. В современных условиях специалисту необходимо отвечать на более сложные вопросы, что требует дальнейшего развития концепции риска. Так, система оценки риска здоровью должна органично вливаться в систему общего управления и принятия решений в административной практике, риск должен измеряться, иметь стоимость, быть понятен по смыслу чиновникам и общественности, позволять проводить сравнения (а, следовательно, выбор решений).

### **Методология.**

Оценка риска здоровью при анализе качества окружающей среды подразумевает выполнение четырех основных этапов:

1. Идентификация опасности;
2. Оценка экспозиции;
3. Оценка зависимости "доза-эффект"
4. Характеристика риска.

#### **1 Идентификация опасности**

**Идентификация опасности** подразумевает учет тех факторов, которые способны оказать неблагоприятное воздействие на здоровье человека. Идентификация опасности - это сложный и многосторонний процесс, требующий анализа разнородной информации. Целью выполнения этого этапа является выявление факторов физической, химической или биологической природы, представляющих наибольшую угрозу для здоровья человека.

В результате осуществления первого этапа оценки риска должны быть получены ответы на вопросы:

- Какие факторы (химические вещества, физические воздействия и пр.), присутствующие в окружающей среде исследуемого района, могут вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты?
- Какое неблагоприятное воздействие могут оказать эти факторы?
- Какая новая информация необходима для суждения об опасности этих факторов?

При выполнении работ по идентификации опасности принято выделять два основных аспекта: теоретический и практический. Теоретический аспект включает методологию установления тех признаков или свойств химических веществ, которые позволяют отнести их к вредным для здоровья человека факторам. Практический аспект заключается в рассмотрении принципов выбора из всего многообразия загрязнения конкретного вредного агента или группы веществ для проведения исследований по оценке риска в определенном регионе.

Следует подчеркнуть, что применительно к практической деятельности этот этап работы, как правило, подразумевает инвентаризацию промышленных выбросов в объекты окружающей среды, а также учет и регистрацию химических веществ, используемых в промышленных и других целях.

В соответствии с Информационно-методическим письмом Департамента Госсанэпиднадзора МЗ РФ №1100/731-01-111 от 26.03.2001 «Оценка риска многосредового воздействия химических веществ (расчет дозовой нагрузки, критерии оценки риска канцерогенных и неканцерогенных эффектов)» для проведения работ по этапу идентификации опасности целесообразно пользоваться следующими подходами. При выявлении в ходе инвентаризации выбросов канцерогенов вычисляется ранговый индекс канцерогенной опасности ( $HRi_{\text{канц.}}$ ) по формуле:

$$HRi_{\text{канц.}} = E \times Wc \times P / 10000,$$

- где **Wc** – весовой коэффициент канцерогенной активности (табл. 2.1.1);  
**P** – численность популяции под воздействием;  
**E** – величина условной экспозиции (объем годового выброса, т/год).

**Таблица 2.1.1**

**Весовые коэффициенты для оценки канцерогенных эффектов (Wc)**

Фактор канцерогенного потенциала (мг/кг)	Группа по классификации US EPA	
	A/B	C
< 0.005	10	1
0.005 – 0.05	100	10
0.05 – 0.5	1000	100
0.5 – 5.0	10000	1000
5.0 – 50.0	100000	10000
> 50.0	1000000	1000000

Для неканцерогенов вычисляется ранговый индекс неканцерогенной опасности ( $HRi_{\text{неканц.}}$ ) по формуле:

$$HRi_{\text{неканц.}} = E \times TW \times P / 10000,$$

- где **TW** – весовой коэффициент неканцерогенной активности (табл. 2.1.2);  
**P** – численность популяции под воздействием;  
**E** – величина условной экспозиции (объем годового выброса, т/год).

**Таблица 2.1.1**

**Весовые коэффициенты для оценки неканцерогенных эффектов (TW)**

Безопасная доза,	Безопасная концентрация,	Весовой
------------------	--------------------------	---------

мг/кг	мг/м <sup>3</sup> .	коэффициент
< 0.00005	< 0.000175	100000
0.00005 – 0.0005	0.000175 – 0.00175	10000
0.0005 – 0.005	0.00175 – 0.0175	1000
0.005 – 0.05	0.0175 – 0.175	100
0.05 – 0.5	0.175 – 1.75	10
> 0.5	> 1.75	1

На этом же этапе возможно проведение выборочных скрининговых исследований окружающей среды с целью выявления тех "опасностей", которые могут быть и не учтены при инвентаризации. Здесь же привлекаются данные фундаментальных исследований о неблагоприятном действии тех или иных факторов. Важно заметить, что на рассматриваемом этапе процедуры оценки риска анализ ведется на качественном уровне.

## 2 Оценка экспозиции.

Второй этап - **оценка экспозиции** - это получение информации о том, с какими реальными дозовыми нагрузками сталкиваются те или иные группы населения. Под оценкой экспозиции как правило понимают процесс измерения количества агента в конкретном объекте среды обитания, находящееся в соприкосновении с так называемыми пограничными органами человека (легкие, желудочно-кишечный тракт, кожа) в течение какого-либо точно установленного времени, сопровождающийся оценкой частоты, продолжительности и путей воздействия. Экспозиция химической природы может быть выражена как общее количество вещества в окружающей среде (в единицах массы, например, мг) или как величина воздействия (масса вещества, отнесенная к единице времени - например, мг/сут), или как величина воздействия, нормализованная с учетом массы тела (например, мг/кг-день).

Наиболее важными шагами при оценке экспозиции являются:

- уточнение вероятных источников загрязнения окружающей среды или их определение, если это не было выполнено на первом этапе;
- оценка маршрутов воздействия с учетом качественных и количественных изменений при переносах токсичного агента;
- оценка вероятных путей контакта (поступления) агента с организмом человека;
- анализ частоты и продолжительности воздействия;
- определение количественных характеристик экспозиции (концентрации, дозы);
- идентификация групп населения, подвергающегося воздействию, с учетом возраста, пола, образа жизни, профессионального, социального статуса и пр.

Хорошо известно, что объекты окружающей среды являются, с одной стороны, аккумуляторами вредных веществ и, с другой стороны, путями передачи этих веществ от источника загрязнения к человеку. При этом маршрут движения вредных субстанций часто довольно сложен и не всегда поддается четкой конкретизации.

При оценке экспозиционных нагрузок принято выделять, как минимум, три типа воздействия:

- острое - при продолжительности воздействия менее 2 недель;
- подострое - при продолжительности воздействия до 7 лет;
- хроническое - при продолжительности воздействия более 7 лет.

Источниками информации о количественных характеристиках экспозиции служат, во-первых, данные лабораторного мониторинга, и, во-вторых, результаты расчетов. Лабораторные измерения, выполненные в соответствии с действующими нормативными документами в режиме мониторинга, могут дать объективную информацию о состоянии окружающей среды. Однако, эти данные охватывают лишь часть тех примесей, которые действительно присутствуют в том или ином оцениваемом объекте, и привязаны к конкретному посту наблюдения, что при недостаточном числе этих постов затрудняет достоверную интерполяцию. В определенной степени эти недостатки могут быть компенсированы организацией выборочного персонального мониторинга. Но даже в этом случае результаты таких исследований представляют лишь интегральную оценку, без точного выхода на конкретный источник. Идентификацию последнего необходимо выполнять, ориентируясь на экспертные подходы, и достоверность результатов таких работ во многом определяются квалификацией эксперта.

Расчетные методы позволяют построить полноценную модель загрязнения объекта окружающей среды с возможностью ее оценки в любой точке изучаемого пространства. Вместе с тем, точность расчетов зависит от двух основных аспектов - качества исходной информации и точностью выбранной модели.

В настоящее время существует большое количество разнообразных прикладных программ, которые реализуют на ЭВМ различные математические модели. С помощью глобальной сети Internet удалось найти упоминания о более чем 90 моделей, реализованных в настоящее время на ЭВМ. Представить все имеющиеся ссылки и краткое описание программ в рамках данной работы не представляется возможным, поэтому ограничимся лишь некоторыми, которые демонстрируют разные подходы. Данные приводятся в табл.2.2.1.

Табл. 2.2.1

Название	Дата последнего обновления	Автор	Краткое описание
1	2	3	4
BUO-FMI	март 1997	Finnish Meteorological Institute, Air Quality Research,	Реализация гауссовой модели и градиентной К-модели (одномерная модель).
GASTAR Dense Gas Dispersion Model	Декабрь 1997	Cambridge Environmental Research Consultants Ltd.	Моделирование эволюции облака при его рассеивания (одномерная модель).
DISPLAY-2	Ноябрь 97	Environmental Research Laboratory, Institute of Nuclear Technology and Radiation Protection, National Centre for Scientific Research DEMOKRITOS Athens Greece	Двухмерная модель приземного слоя.
United Kingdom Photochemical Trajectory Model	1995	United Kingdom Meteorological Office University of Leeds NETCEN	Двухслойная траекторная модель.
PolluMap	Декабрь 1997	METEOTEST Fabrikstr. 14CH-3012 Bern Switzerland	Двумерная эмпирическая модель для оценки загрязнения воздуха
TNO-Isaksen model	1999	TNO Institute of Environmental Sciences,Energy	Модификационная двумерная модель Isaksen и Rodhe (1978).

Название	Дата последнего обновления	Автор	Краткое описание
1	2	3	4
		Research and Process Innovation	
TROPOS Version D	1999	UK Meteorological Office Global Two-dimensional Chemistry Model	Двумерная эйлерова модель для химических источников.
AIPOC	Февраль 1997	Laboratory of Aerodynamics Department of Mechanical Engineering National Technical University of Athens (NTUA)	Статистическая модель, описывающая временное изменение концентрации примеси (боксовая стохастическая модель).
AEROPOL	1999	Tartu Observatory, Aruka Ltd.	Гауссова модель, основанная на классификации Пэскуила.
EK100W	Март 1999	ATMOTERM Ltd	Трехмерная гауссова модель.
PLUME	1999	Institute of Geophysics, Bulgarian Academy of Sciences	Гауссова модель факела от источника.
SPRAY	1999	ENEL-SRI-Area Ambiente	Стохастическая лагранжева модель распространения примеси.
"Эколог" v2.2	1999	"Интеграл"	Нормативная методика ОНД-86.
ЭПК "Zone"	Декабрь 1999	«ЛенЭкоСофт»	Трехмерная численная модель со стохастической моделью диффузии
LED	1993	National Institute of Meteorology and Hydrology Bulgarian Academy of Sciences	Объединенная модель лагранжевого факела с эйлеровым рассеянием примеси.

Анализ собранных данных, часть из которых приведена в табл. 3.2.1, показывает, что наиболее активно в настоящее время внедряются численные трехмерные гидродинамические модели (около 50%), на втором месте по распространению – широко известные гауссовы модели, развивающие нормативные методики EPA-US и МАГАТЭ (около 25%), остальная часть приходится на двумерные, одномерные и аналитические модели. К числу последних относится, в частности, и используемая в РФ нормативная методика ОНД-86.

В качестве итога выполнения второго этапа оценки риска, как правило, следует рассматривать расчет среднесуточной дозы (ADD) или поступления (I) Стандартное уравнение для расчета среднесуточной дозы или среднесуточного поступления имеет следующий вид:

$$ADD (I) = (C \times CR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365)$$

где ADD – среднесуточная доза (I – среднесуточное поступление);

C – концентрация вещества в среде обитания;

CR – скорость поступления (объем ежедневно вдыхаемого воздуха м<sup>3</sup>/день или количество потребляемой питьевой воды л/сут и пр.);

ED – продолжительность воздействия, лет;  
 EF – частота воздействия, дней/год;  
 BW – масса тела человека;  
 AT - период осреднения экспозиции, лет;  
 365 – число дней в году.

В целом же, реализация второго этапа системы оценки риска зависит от целей и задач оценки, а также материального обеспечения этого вида работ. По мнению многих экспертов, наиболее надежным источником получения информации о реальных и потенциальных дозовых нагрузках является разумная комбинация лабораторных и расчетных методов на основе единого информационного пространства, основой для которого могут стать муниципальные геоинформационные системы.

## 2.3 Оценка зависимости "доза-эффект"

### 2.3.1 Модели

Наибольшее количество вопросов и споров вокруг них связано с реализацией третьего этапа оценки риска - оценки зависимости "доза-эффект". Попробуем систематизировать эти вопросы.

Как уже указывалось выше, дозо-зависимая реакция организма обычно определяется экспериментально на уровне достаточно высоких, явно действующих, доз, а оценка реального уровня загрязнения осуществляется методом экстраполяции. В то же время, знания о характере поведения таких веществ на уровне малых доз часто является не результатом научного доказательства, а следствием принятия той или иной научно-теоретической концепции. По мнению ряда авторов, задача описания всего многообразия и сложности процессов, протекающих в организме, может быть решена на основе фундаментальных закономерностей, которым подчиняются биологические системы. Учитывая ограниченность существующих к настоящему времени знаний о механизме процессов, протекающих в организме, а также сложность математического аппарата, применяемого для описания токсических эффектов, очевидно, что получить точное и в то же время достаточно простое математическое выражение, которое связывает величину эффекта с уровнем и продолжительностью воздействия (зависимость "доза-время-эффект"), можно лишь в рамках определенных ограничений - как по механизму, так и по экспериментальным условиям. Так, при относительно длительном воздействии токсического вещества в стабильных уровневых условиях зависимость "доза-время-эффект" выражается следующим уравнением [31]:

$$E = E_m - \exp [-k^n \lambda C^n (t_{\text{общ}} - t_{\text{равн}})], \quad (1)$$

где

$E$  - токсический эффект при данной концентрации и данном времени воздействия;

$E_m$  - максимальный эффект;

$n$  - стехиометрический коэффициент биологической реакции;

$k$  - константа скорости лимитирующей реакции;

$t_{\text{общ}}$  - общее время воздействия ксенобиотика;

$t_{\text{равн}}$  - время установления равновесия между концентрациями ксенобиотика во внешней среде и в организме;

$\lambda$  - коэффициент распределения организм/окружающая среда;

$C$  - концентрация токсического вещества в окружающей среде.

Это уравнение применимо для веществ общетоксического действия. Для химических веществ, обладающих избирательной токсичностью, необходимо ввести в экспоненциальный множитель дополнительный коэффициент, учитывающий эту специфичность.

Для практического применения системы оценки риска пользуются более простыми формулами, основными из которых являются следующие (описание моделей цитируются по [5]):

1). **Линейная или линейно-экспоненциальная модели.**

$$Risk = UR \times C \times t \quad (2)$$

$$Risk = 1 - \exp(-UR \times C \times t) \quad (3)$$

где *Risk* - риск возникновения неблагоприятного эффекта, определяемый как вероятность возникновения этого эффекта при заданных условиях;

*C* - реальная концентрация (или доза) вещества, оказывающая воздействие за время *t*;

*UR* - единица риска, определяемая как фактор пропорции роста риска в зависимости от величины действующей концентрации (дозы). Как правило определяется экспертными методами при статистическом анализе экспериментального или медико-статистического материала, полученного различными авторами в сравнимых ситуациях.

2) **Пороговая модель** предполагает наличие порога, ниже которого изучаемый фактор практически не действует.

$$Risk = H(C - C_t) \quad (4)$$

где *H* - функция Хевисайда ( $H(x)=0$  при  $x < 0$  и  $H(x)=1$  при  $x > 0$ );

*C* - концентрация воздействия; *C<sub>t</sub>* - пороговая концентрация.

3) **Модель индивидуальных порогов** действия (нормально-вероятностное распределение частоты эффектов, пробит-анализ) впервые использована и с успехом применяется для определения острой токсичности химических веществ. Однако может быть использована и в ряде других случаев.

$$Risk = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \times \int_{-\infty}^{(a+b \cdot \lg(C))} e^{-t^2/2} dt \quad (5)$$

$\pi$  - число пи (3.14.....);

*C* - воздействующая концентрация.

*a* и *b* - эмпирические коэффициенты.

Фактически, выбор модели зависит от той концептуальной системы, которая принята для оценки риска. На территории России применяются следующие:

- система гигиенического регламентирования (система предельно допустимых концентраций - ПДК);
- международный подход (разработанный EPA US);
- методы оценки риска, основанные на отечественных принципах гигиенического регламентирования вредных факторов окружающей среды, частных моделях и результатах эпидемиологических исследований.

### 3.2. Система ПДК

- Принцип пороговости распространяется на все эффекты неблагоприятного воздействия;
- Соблюдение норматива (ПДК и др.) гарантирует отсутствие неблагоприятных для здоровья эффектов;
- Превышение норматива может вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты, при этом до последнего времени отсутствовал практический механизм определения конкретных формы этих эффектов и их количественного выражения.

В качестве примера приведем подходы к оценке загрязнения атмосферного воздуха, основываясь на "Санитарно-гигиенических нормативах загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест и правилах их применения" М., 1990 г. Основные примеси, которые разрешены к использованию и выбросу в атмосферу обеспечены соответствующими медико-экологическими регламентами (ПДК). Если содержание вредных примесей не превышает указанные регламенты, то это расценивается как ситуацию, при которой риск неблагоприятных для здоровья эффектов отсутствует. В том случае, когда этот риск имеет место быть, то вычисляется суммарный показатель загрязнения (Р), а степень медико-экологического неблагоприятия оценивается в соответствии со следующей таблицей.

**Таблица 2.3.1**

**Оценка загрязнения атмосферного воздуха**

Оценка загрязнения	Величина индекса Р при числе веществ, загрязняющих воздух			
	2- 4	5- 9	10 - 20	> 20
Допустимая	<= 2	<= 3	<= 4	<= 5
Слабая	> 2 - 4	> 3 - 6	> 4 - 8	> 5 - 10
Умеренная	> 4 - 8	> 6 - 12	> 8 - 16	> 10 - 20
Сильная	> 8 - 16	> 12 - 24	> 16 - 32	> 20 - 40
Очень сильная	> 16	> 24	> 32	> 40

**3.3 Международная практика (в соответствии с подходом EPA US - Американского Агентства по охране окружающей среды).**

- Принцип пороговости распространяется на все виды неканцерогенного воздействия, при этом нормирование качества среды осуществляется в соответствии со следующими регламентами

**REL** - Cal/EPA Reference Exposure Levels (Референтные экспозиционные уровни, утвержденные для Калифорнии или на уровне Американского Агентства по Охране Окружающей среды)

**RfC<sub>c</sub>** - Chronic Inhalation Reference Concentration (Референтная концентрация при хроническом ингаляционном воздействии)

**RfC<sub>s</sub>** - Subchronic Inhalation Reference Concentration (Референтная концентрация при субхроническом ингаляционном воздействии)

**RfD<sub>co</sub>** - Chronic Oral Reference Dose (Референтная доза при хроническом пероральном воздействии)

**RfD<sub>so</sub>** - Subchronic Oral Reference Dose (Референтная доза при субхроническом пероральном воздействии)

В качестве примера приведем оценку неканцерогенного риска, связанного с загрязнением воздуха медью. В официальных материалах EPA, которые, в частности, доступны в Интернете по адресу <http://www.scorecard.org/>, приводится следующая информация:

<b>Chemical:</b>	COPPER
<b>CAS Number:</b>	7440-50-8

#### Risk Assessment Values or Standards

	Value	Units	Reference
Inhalation cancer risk value (potency)	Not a recognized or suspect carcinogen		
Inhalation noncancer risk value (reference concentration)	0.02	ug/m3	ОЕННА-REL

Соответственно в русском переводе:

<b>Название вещества:</b>	МЕДЬ
<b>Номер классификации CAS</b>	7440-50-8

#### Значение для оценки риска или Стандарты

	Значение	Единицы	Ссылка
Величина для расчета потенциального канцерогенного ингаляционного риска	Не признан или не подозревается в качестве канцерогена		
Величина для расчета потенциального неканцерогенного ингаляционного риска (референтная концентрация)	0,02	мкг/м <sup>3</sup>	ОЕННА-REL

Таким образом, концентрация меди в воздухе на уровне 0,02 мкг/м<sup>3</sup> расценивается как безопасная по риску неканцерогенного воздействия, а превышение ее опасно с точки зрения возникновения эффектов неканцерогенного (общетоксического) действия. Иными словами, с точки зрения американских подходов при концентрации меди в воздухе 0,01 мкг/м<sup>3</sup> риск отсутствует, а при концентрации 0,04 мкг/м<sup>3</sup> риск есть.

- Канцерогенные эффекты оцениваются по беспороговому принципу, при этом нормирование осуществляется по уровню приемлемого риска. Сам же риск представляет собой вероятность (или при другой интерпретации - количество дополнительных случаев) заболеваний раком при воздействии оцениваемого фактора.

Для расчета этого типа риска используются следующие величины:

*SFi* - Inhalation cancer slope factor (Фактор канцерогенного риска при ингаляционном воздействии)

*SFo* - Oral cancer slope factor (Фактор канцерогенного риска при пероральном воздействии)

*SFse* - External exposure slope factor to radionuclides in soil (Фактор канцерогенного риска внешней экспозиции для радионуклеидов в почве)

*URFi* - Unit Risk factor inhalation (Модуль канцерогенного риска при ингаляции)

В качестве примера приведем оценку канцерогенного риска, связанного с загрязнением питьевой воды хлороформом. В официальных материалах EPA, которые, как указывалось выше, доступны в Интернете, приводится следующая информация:

<b>Chemical:</b>	CHLOROFORM
<b>CAS Number:</b>	67-66-3

Risk Assessment Values or Standards	Value	Units	Reference
-------------------------------------	-------	-------	-----------

Inhalation cancer risk value (potency)	0.019	kg-day/mg	<a href="#">CRICAR</a>
Inhalation noncancer risk value (reference concentration)	300	ug/m3	<a href="#">OEHHA-REL</a>
National ambient air quality standard	Gap in regulatory coverage		
Ingestion cancer risk value (potency)	0.031	kg-day/mg	<a href="#">CRICAR</a>
Ingestion noncancer risk value (reference dose)	0.01	mg/kg-day	<a href="#">IRIS-HEAST</a>
National water quality standard	0.1	mg/L	<a href="#">SDWA-MCL</a>

Вещество:	ХЛОРОФОРМ
Номер классификации CAS:	67-66-3

#### **Значения для оценки риска или Стандарты**

	<b>Значение</b>	<b>Единицы</b>	<b>Ссылка</b>
Величина для расчета потенциального канцерогенного ингаляционного риска	0.019	кг-день/мг	<a href="#">CRICAR</a>
Величина для расчета потенциального неканцерогенного ингаляционного риска (референтная концентрация)	300	мкг/м <sup>3</sup>	<a href="#">OEHHA-REL</a>
Национальный стандарт на содержание в воздухе	Отсутствует		
Величина для расчета потенциального канцерогенного перорального риска	0.031	кг-день/мг	<a href="#">CRICAR</a>
Величина для расчета потенциального неканцерогенного перорального риска (референтная доза)	0.01	мг/кг-день	<a href="#">IRIS-HEAST</a>
Национальный стандарт в питьевой воде	0.1	мг/л	<a href="#">SDWA-MCL</a>

Для примера, попробуем, используя вышеприведенные данные, рассчитать канцерогенный риск при содержании хлороформа в питьевой воде на уровне 1 мг/л, используя методику Американского Агентства по охране окружающей среды [30]. В соответствии с этой методикой принимается во внимание следующее. Риск рассчитывается на условие ежедневного потребления данной воды на протяжении всей жизни человека. На этот же срок определен и норматив для расчета риска. Среднее количество ежедневно потребляемой внутрь воды примем как 3 л, средний вес человека - 70 кг. Таким образом, ежедневно в этих условиях человек потребляет с питьевой водой хлороформ в дозе (Lifetime daily average dose - ADD):

$$ADD = 3_{\text{л}} \times 1_{\text{мг/л}} / 70_{\text{кг}} = 0,043_{\text{мг/кг}} \quad (6)$$

Величина риска составляет, при использовании линейной модели:

$$Risk = 0.031 \times 0.043 = 0.00133 \quad (7)$$

При использовании экспоненциальной модели значение аналогично:

$$Risk = 1 - \exp(- 0.031 \times 0.043) = 0.00133 \quad (8)$$

Это равноценно 1330 дополнительным случаям заболеваний раком на миллион человек, постоянно потребляющих такую воду.

- Возможна оценка риска комплексного и комбинированного ( в случае воздействия однотипных ядов) действия.

В качестве примера приведем оценку канцерогенного риска, связанного с загрязнением мышьяком атмосферного воздуха (0,0001 мг/м<sup>3</sup>) и питьевой воды (0,5 мг/л). В официальных материалах EPA по поводу мышьяка приводится следующая информация:

<b>Chemical:</b>	ARSENIC
<b>CAS Number:</b>	7440-38-2

#### Risk Assessment Values or Standards

	Value	Units	Reference
Inhalation cancer risk value (potency)	12	Kg-day/mg	<a href="#">CRICAR</a>
Inhalation noncancer risk value (reference concentration)	0.03	Ug/m3	<a href="#">ОЕННА-REL</a>
National ambient air quality standard	Gap in regulatory coverage		
Ingestion cancer risk value (potency)	1.5	kg-day/mg	<a href="#">IRIS-HEAST</a>
Ingestion noncancer risk value (reference dose)	0.0003	mg/kg-day	<a href="#">IRIS-HEAST</a>
National water quality standard	0.05	mg/L	<a href="#">SDWA-MCL</a>

<b>Вещество:</b>	МЫШЬЯК
<b>Номер классификации CAS:</b>	7440-38-2

<u>Значения для оценки риска или Стандарты</u>	Значение	Единицы	Ссылка
Величина для расчета потенциального канцерогенного ингаляционного риска	12	кг-день/мг	<a href="#">CRICAR</a>
Величина для расчета потенциального неканцерогенного ингаляционного риска (референтная концентрация)	0.03	мкг/м <sup>3</sup>	<a href="#">ОЕННА-REL</a>
Национальный стандарт на содержание в воздухе	Отсутствует		
Величина для расчета потенциального канцерогенного перорального риска	1.5	кг-день/мг	<a href="#">IRIS-HEAST</a>
Величина для расчета потенциального неканцерогенного перорального риска (референтная доза)	0.0003	мг/кг-день	<a href="#">IRIS-HEAST</a>
Национальный стандарт в питьевой воде	0.05	мг/л	<a href="#">SDWA-MCL</a>

В соответствии с подходами американского Агентства по охране окружающей среды [30] определяем дозу мышьяка, поглощаемую из воздуха (ADDa): вес человека (BW)- 70 кг, средний объем ежедневно вдыхаемого воздуха (DAV) - 22 м<sup>3</sup>, концентрация мышьяка в воздухе (C) - 0,0001 мг/м<sup>3</sup>.

$$ADDa = C \times DAV / BW = 0.0001 \times 22 / 70 = 0.0000314 \text{ мг/кг} \quad (9)$$

Определяем дозу мышьяка, поглощаемую с питьевой водой (ADDd) - вес человека (BW)- 70 кг, средний объем ежедневно потребляемой воды (DW) - 3 л, концентрация мышьяка в воде (C) - 0,5 мг/л.

$$ADDd = DW \times C / BW = 3 \text{ л} \times 0,5_{\text{мг/л}} / 70_{\text{кг}} = 0,0214 \text{ мг/кг} \quad (10)$$

Определяем суммарную (Risk) величину канцерогенного риска при ингаляционном (RiskA) и пероральном (RiskW) путях поступления:

$$Risk = RiskA + RiskW = 0.0000314 \times 12 + 0.0214 \times 1.5 = 0.000377 + 0.0321 = 0.0325 \quad (11)$$

Это равноценно 32500 дополнительным случаям заболеваний раком на миллион человек. Аналогично осуществляется расчет и для комбинированного действия веществ (когда разные вещества поступают из одного и того же объекта среды).

### 3.4 Методы оценки риска, основанные на отечественных принципах гигиенического регламентирования вредных факторов окружающей среды, частных моделях и результатах эпидемиологических исследований.

- Индекс относительного условного риска ( $R_i$ ).

Данный подход разработан проф. С.М.Новиковым (НИИ ЭЧ и ГОС им. Сысина). Рассматриваемая методика основана на следующих исходных положениях:

- Опасность для здоровья, обусловленная превышением ПДК с.с. (среднесуточных), может быть оценена на основе анализа зависимости риска и тяжести эффектов от уровней воздействия во всем диапазоне эффективных концентраций: от смертельных до пороговых или максимальных недействующих. Мерой условного риска ( $R$ ) является некоторая функция от вероятности появления эффекта определенной степени тяжести.
- Опасность для здоровья, вызванная воздействием  $i$ -го загрязнителя, имеет степенную (логарифмическую) зависимость от уровней воздействия или степени превышения ПДК с.с. :

$$R_i = b \lg(C_i / \text{ПДК с.с.})$$

или

$$R_i = a + b \lg(C_i),$$

где

$C_i$  - фактическая концентрация  $i$ -го загрязнителя,

$a = -\lg(\text{ПДК с.с.})$ ,

$b$  - показатель угла наклона зависимости "концентрация-условный риск", интегрально характеризующий опасность, связанную с превышением концентрацией ПДК.

- Степень возрастания опасности при превышении ПДК с.с. определяется углом наклона зависимости риска от уровней воздействия (т.е. величиной  $b$ ).
- Опасность для здоровья, обусловленная превышением ПДК, не зависит от существующих классов опасности и должна оцениваться с учетом индивидуальных характеристик каждого вещества.
- С увеличением продолжительности воздействия риск и тяжесть эффектов либо возрастают, либо остаются на уровне, наблюдавшемся при исходном времени экспозиции данной концентрации.

За 0-й уровень относительного риска ( $R = 0$ ) были приняты эффекты действия химического вещества в концентрации, не превышающей ПДК с.с. Эффект воздействия концентрации, соответствующей порогу хронического действия при круглосуточной ингаляции, был принят равным 1/5. Воздействие концентрации на уровне ПДК р.з. (рабочей зоны) соответствовало эффекту, равному 2.5 условных единиц. Уровни воздействия, близкие к среднесмертельным концентрациям или американским аварийным нормативам для воздуха рабочей зоны (Immediately Dangerous to Life and Health Values - IDLH), соответствовали 1. Для стандартизации других параметров токсикометрии была использована построенная по вышеприведенным точкам зависимость "концентрация - условный риск (эффект)".

При построении графиков в координатах:  $R_i - \lg(C_i / \text{ПДК с.с.})$  для наиболее приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха, практически во всех случаях были получены линейные зависимости риска от логарифма отношения концентрации к ПДК.

При трактовке полученных величин индекса риска пользуются следующей ранговой шкалой.

Тяжесть эффектов	<i>Ri</i>
Смертельные эффекты	1.0 – 0.9
Тяжелые острые эффекты	0.8 – 0.6
Пороговые острые эффекты	0.6 - 0.5
Тяжелые хронические эффекты	0.5 – 0.2
Пороговые хронические эффекты	0.2 – 0.1
Реакции суперчувствительных подгрупп	0.1 – 0.3
Уровни минимального риска	0 – 0.05

- Расчет вероятности рефлекторных реакций (как правило, ощущение запаха и других органолептических эффектов) на основе использования отечественной нормативной базы предельного содержания вредных веществ в объектах окружающей среды.

Данный подход нормативно закреплен в МР «Комплексная гигиеническая оценка степени напряженности медико-экологической ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами среды обитания населения», Методические рекомендации, Утверждены Главным государственным санитарным врачом России Г.Г.Онищенко “30”июля 1997 г. №2510/5716-97-32. Применим при уровне загрязнения объекта среды обитания до 10 – 15 ПДК. В качестве эффекта оценивается не риск появления дополнительных случаев заболеваний, а вероятность рефлекторных реакций (ощущение раздражения, неприятного запаха и пр.) или эффектов психологического дискомфорта, что также расценивается факт как нарушения здоровья. В пользу этого суждения свидетельствует ряд соображений практического свойства.

Так, с одной стороны, основной поток жалоб населения в органы госсанэпиднадзора вызывает такое изменение качества окружающей среды, которое фиксируется населением органами чувств. С другой стороны, вредные примеси и другие факторы, обладающие свойствами вызывать такие ощущения, нормируются с учетом этих эффектов. При этом, как правило, в экспериментах используется беспороговая [8] модель интенсивности нарастания тех или иных эффектов при увеличении уровня воздействия, а норматив определяется как вероятностная величина.

Так, при нормировании допустимого содержания вредных примесей, обладающих рефлекторным эффектом, для атмосферного воздуха обосновывается ПДК м.р, служащая для предупреждения развития немедленных токсических эффектов. В соответствии с "Временными методическими указаниями.." [8], ПДК м.р определяется как

$$ПДК_{м.р} = EC_{.16} / K_3 \quad (12)$$

где  $EC_{.16}$  - концентрация вещества, принятая в качестве пороговой при однократном воздействии и вызывающая токсический (рефлекторный, раздражающий и др.) эффект с вероятностью 16%;

$K_3$  - коэффициент запаса, определяемый в соответствии с углом наклона графика зависимости "концентрация-эффект", который на логарифмически-пробитной сетке аппроксимируется прямой.

Значения  $K_3$  и  $tg$  угла наклона графика служат основанием для отнесения рассматриваемого вещества к одному из четырех классов опасности. В таблице 2.3.4.1. (цитируется по [8]) представлены величины указанных параметров в соответствии с классом опасности

**Таблица 2.3.4.1**

**$K_3$ , угол наклона графика зависимости "концентрация-эффект" ( $\angle\alpha$ ) при отнесении веществ к различным классам опасности.**

Класс опасности	$K_3$	$\angle\alpha$ ,градусы
1	5,0	от 71 и выше
2	4,0	от 62 и выше
3	2,3	от 43 и выше
4	1,5	до 43

Для математического описания зависимости "концентрация-эффект" применима модель индивидуальных порогов (см. гл. 3.3.1), которая для удобства практического использования может быть разбита на две формулы [32]. Первая из них описывает эту зависимость в виде прямой при условии, что концентрация выражается в десятичных логарифмах, а вероятность неблагоприятного эффекта (риск) в "пробитах" (Prob), т.е. в виде нормально-вероятностной шкалы [13]. Соответствие "пробитов" и вероятности эффекта показано в таблице 2.3.4.2.

**Таблица 2.3.4.2**

**Таблица нормально-вероятностного распределения**

Prob	Risk	Prob	Risk
-3.0	0.001	0.1	0.540
-2.5	0.006	0.2	0.579
-2.0	0.023	0.3	0.618
-1.9	0.029	0.4	0.655
-1.8	0.036	0.5	0.692
-1.7	0.045	0.6	0.726
-1.6	0.055	0.7	0.758
-1.5	0.067	0.8	0.788
-1.4	0.081	0.9	0.816
-1.3	0.097	1.0	0.841
-1.2	0.115	1.1	0.864
-1.1	0.136	1.2	0.885
-1.0	0.157	1.3	0.903
-0.9	0.184	1.4	0.919
-0.8	0.212	1.5	0.933
-0.7	0.242	1.6	0.945
-0.6	0.274	1.7	0.955
-0.5	0.309	1.8	0.964
-0.4	0.345	1.9	0.971
-0.3	0.382	2.0	0.977
-0.2	0.421	2.5	0.994
-0.1	0.460	3.0	0.999
0.0	0.50		

Как известно, математически график, аппроксимирующийся прямой, описывается уравнением общего вида:

$$Y = a + b \times X \quad (13)$$

Для конкретизации этого уравнения, применительно к нормативам атмосферного воздуха следует принять во внимание, что коэффициент  $b$  - это тангенс угла наклона графика зависимости "концентрация-эффект"[8], а коэффициент  $a$  - это логарифм концентрации с эффектом действия 0 % - ЕС.о, который соответственно может быть определен как

$$\lg EC_0 = (\lg(\alpha) * \lg K_3) - 1 \quad (14)$$

Несложные математические преобразования позволили автору настоящей статьи [32, 36] показать применимость следующих формул для прогнозирования риска возникновения рефлекторных эффектов при загрязнении атмосферного воздуха:

$$1 \text{ класс} \quad Prob = -9.15 + 11.66 * \lg (C/ПДК_{м.р}) \quad (15)$$

$$2 \text{ класс} \quad Prob = -5.51 + 7.49 * \lg (C/ПДК_{м.р}) \quad (16)$$

$$3 \text{ класс} \quad Prob = -2.35 + 3.73 * \lg (C/ПДК_{м.р}) \quad (17)$$

$$4 \text{ класс} \quad Prob = -1.41 + 2.33 * \lg (C/ПДК_{м.р}) \quad (18)$$

**Пример.** Требуется определить вероятность возникновения рефлекторных реакций при концентрации сероводорода в воздухе - 0.028 мг/м<sup>3</sup>. Сероводород относится ко второму классу опасности, ПДК м.р. - 0.008 мг/м<sup>3</sup>.

$$Prob = -5.51 + 7.49 * \lg(0.028/0.008) = -1,435 \quad (19)$$

Полученное значение Prob находится в пределах между -1.5 -- -1.4, что соответствует вероятности 0,075. Таким образом, при обнаружении в воздухе сероводорода в концентрации 0,028 мг/м<sup>3</sup>, 75 человек из 1000, находящихся в зоне воздействия, почувствуют запах, что и является целью оценки риска в данном случае.

Аналогичные подходы применимы и при оценке качества питьевой воды, в случае присутствия веществ, отнормированных по органолептическому воздействию. Влияние химических веществ на органолептические свойства воды может проявиться в изменении ее запаха, привкуса и окраски, а также в образовании поверхностной пленки или пены. Принципиальное значение имеет взгляд на перечисленные показатели не на как физические свойства, а именно как на органолептические [19]. Только то ощущение изменений органолептических свойств воды, которое воспринято человеком, может иметь значение и служить мерилем при решении вопросов регламентации содержания вещества в воде. Теоретической основой поиска пороговых концентраций по влиянию на запах и привкус воды является психофизический закон Вебера-Фехнера, согласно которому интенсивность ощущения в баллах пропорциональна логарифму концентрации вещества [17-20]. Согласно [17 и 18], переход от одного балла к другому, как правило, осуществляется при изменении концентрации веществ, определяющих запах или привкус, в 1.5 - 2.5 (в среднем 2) раза. С учетом изложенного выше, автором было обосновано следующее уравнение расчета риска развития неблагоприятных органолептических эффектов [32]:

$$Prob = -2 + 3.32 * \lg(\text{Концентрация/норматив}) \quad (20)$$

В ряде случаев, этот риск помогает оценить потребность дополнительных ресурсах питьевой воды при "залповом" загрязнении источника примесями, придающими воде неприятный запах или привкус. Так, например, норматив фенола в питьевой воде составляет 0,001 мг/л, при кратковременном увеличении его концентрации до 0,003 мг/л, риск появления запаха составляет :

$$Prob = -2 + 3.32 * \lg(0.003/0.001) = -0,416, \text{ что соответствует риску } 0,34$$

Таким образом, при таком загрязнении питьевой воды примерно 34% населения будут воспринимать эту воду как неблагоприятной по органолептическим свойствам и в первую очередь нуждаться в альтернативных источниках. По мере снижения концентрации фенола доля населения, нуждающегося в этой воде, будет снижаться, что позволяет оптимальным образом спланировать мероприятия по купированию экологического неблагополучия.

В основу оценки риска возникновения эффектов немедленного действия от физических факторов (шума и пр.) следует так же ориентироваться на вероятность возникновения неспецифических эффектов и жалоб населения. В случае оценки шума здесь применимо следующее уравнение [32]:

$$Prob = -6.5027 + 0.0889 * L_{зв.} \quad (21)$$

- Вероятностная (беспороговая) модель неканцерогенного риска при хроническом воздействии на основе использования отечественной нормативной базы предельного содержания вредных веществ в объектах окружающей среды.

Данный подход также нормативно закреплен в МР «Комплексная гигиеническая оценка степени напряженности медико-экологической ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами среды обитания населения», Методические рекомендации, Утверждены Главным государственным санитарным врачом России Г.Г.Онищенко “30”июля 1997 г. №2510/5716-97-32. Применим при уровне загрязнения объекта среды обитания до 10 – 15 ПДК. Для расчета эффектов, связанных с длительным (хроническим) воздействием веществ, загрязняющих воздух, воду и пр., используется информация об их осредненных (как минимум за год) концентрациях.

Так, в случае экспериментального обосновании нормативов предельного содержания вредных примесей в атмосферном воздухе, питьевой воде и пр. по эффекту хронического воздействия математическая обработка результатов, как правило, строится по принципу определения зависимости "концентрация-время-эффект" [8,9,17,18]. Как уже указывалось выше, для практического использования этой модели при фиксированном времени воздействия (в случае хронического воздействия это средняя продолжительность жизни человека) применяют упрощенные формулы:

$$Risk = 1 - exp(-UR \times C) \quad (22)$$

где

**Risk** - риск возникновения неблагоприятного эффекта, определяемый как вероятность возникновения этого эффекта при заданных условиях;

**C** - реальная концентрация (или доза) вещества, оказывающая воздействие за заданное время;

**UR** - единица риска, определяемая как фактор пропорции роста риска в зависимости от величины действующей концентрации (дозы).

Попробуем преобразовать эту формулу для целей расчета риска неспецифической хронической интоксикации (неканцерогенного риска), основываясь на информации о величине осредненной концентрации. Первой отправной точкой будет служить допущение, что при  $C=0$ ,  $Risk = 0$ . Второй отправной точкой будет служить информация, что пороговая концентрация примеси (**C.lim**) связана с нормативом (**ПДК**) через коэффициент запаса (**Kз**).

$$C.lim = ПДК \times Kз \quad (23)$$

Величина коэффициента запаса при нормировании примесей в питьевой воде составляет, как правило, 10. В ряде случаев может быть меньше (например, свинец - 3) или больше (ряд канцерогенов, пестицидов до 100). При нормировании примесей атмосферного воздуха предлагается [8] принимать значения коэффициентов в зависимости от класса опасности - для веществ 1 класса опасности на уровне (как минимум) 7.5; 2 класса - 6; 3 класса 4.5 и 4 класса - 3.

Пороговой концентрацией считается такая минимальная концентрация, при которой в условиях эксперимента в опытной группе были выявлены достоверные отклонения тех или иных показателей, характеризующих состояние организма, от аналогичных в контрольной группе. Вполне вероятно, что при больших концентрациях эти различия могут исчезнуть, а при еще больших - появиться вновь. По мнению многих авторов, это является проявлением адаптационных процессов, и также должно расцениваться как различные фазы интоксикации. В собственных исследованиях автора, а также в работах других авторов [8,9,13,14,29] было показано, что первые достоверные изменения показателей, характеризующих состояние организма, возникают тогда, когда они затрагивают примерно 16% испытуемых. Иначе говоря, при хроническом воздействии примеси на уровне пороговой концентрации (дозы) риск проявления неспецифических

токсических эффектов составляет 16% (или 0.16, если его выражать в долях единицы). Таким образом, уравнение расчета риска принимает вид:

$$Risk = 1 - \exp(\ln(1-0.16) \times C / (ПДК \cdot K_3)) \quad \text{или} \quad (24)$$

$$Risk = 1 - \exp(\ln(0.84) \times C / (ПДК \cdot K_3)) \quad (25)$$

Применительно к атмосферному воздуху ряд авторов [9,10] предлагает учитывать особенности кумулятивного действия примесей, вводя дополнительный коэффициент  $b$ , позволяющий оценивать изоэффективные эффекты примесей различных классов опасности:

$$E(C_3) = E(C_n)^b \quad (26)$$

(Эффект при воздействии примеси третьего класса опасности в концентрации  $C_3$  равен эффекту при воздействии примеси другого класса опасности в концентрации  $C_n$  в степени  $b$ ).

При этом считается [9,10,11,32], что значения коэффициента  $b$  должно быть принято для веществ **1, 2, 3 и 4 классов** соответственно на уровне **2.35, 1.28, 1.00 и 0.87**. Таким образом для оценки риска неспецифических хронических эффектов при загрязнении атмосферного воздуха уравнение расчета риска приобретает вид:

$$Risk = 1 - \exp(\ln(0.84) \times (C / ПДК)^b / K_3)$$

**Пример.** Требуется определить вероятностный риск развития хронических неспецифических эффектов при средней концентрации серной кислоты в воздухе на селитебной территории  $0,4 \text{ мг/м}^3$ . Серная кислота относится ко второму классу опасности ( $b=1.28$ ,  $K_3 = 6$ ), ПДК сс =  $0,1 \text{ мг/м}^3$ .

$$Risk = 1 - \exp(\ln(0.84) \times (0.4/0.1)^{1.28} / 6) = 0.157$$

В данном случае при постоянном воздействии атмосферного воздуха, загрязненного серной кислотой в концентрации  $0,4 \text{ мг/м}^3$  у 157 человек из 1000 постоянно проживающих на исследуемой территории на протяжении своей жизни могут проявиться симптомы хронической интоксикации. Формально это корреспондирует с эквивалентным увеличением общей заболеваемости, однако это медико-статистический показатель, и он в значительной степени зависит от того, обратятся ли каждый из этих людей за медицинской помощью и зарегистрирует ли при этом лечащий врач заболевание.

- Модель оценки загрязнения окружающей среды свинцом.

В основу модели оценки загрязнения окружающей среды свинцом положена информация о том, что эффекты воздействия зависят от концентрации данного вещества в крови человека. Так в соответствии с данными ATSDR, при увеличении содержания свинца в почве урбанизированных территорий на каждые  $1000 \text{ мг/кг}$ , его содержание в крови увеличивается соответственно на  $10 \text{ ug/dL}$  ( $10 \text{ микрограмм}$  на децелистр, т.е.  $100 \text{ мл}$ ). При возрастании концентрации свинца в воздухе на  $1 \text{ мкг/м}^3$  его концентрация в крови увеличивается: у взрослых на  $1,8 \text{ мкг/100 мл}$ , у детей на  $4,2$  ( $3,3-5,2$ )  $\text{мкг/100 мл}$ . В качестве допустимой концентрации этого элемента в крови, как правило, принимается величина  $10 \text{ мкг/100 мл}$ . При превышении этой величины пользуются следующей шкалой (рис. 1).

Поскольку прирост концентрации свинца в крови при его поступлении в организм из внешней среды зависит от исходного уровня содержания элемента в биосубстратах человека, при углубленных исследованиях рекомендуется пользоваться специализированными моделями, такими как биокинетическая модель для свинца (IEUBK Model, Научный центр «Окружающая среда - риск - здоровье»), или LRISK (НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина РАМН).

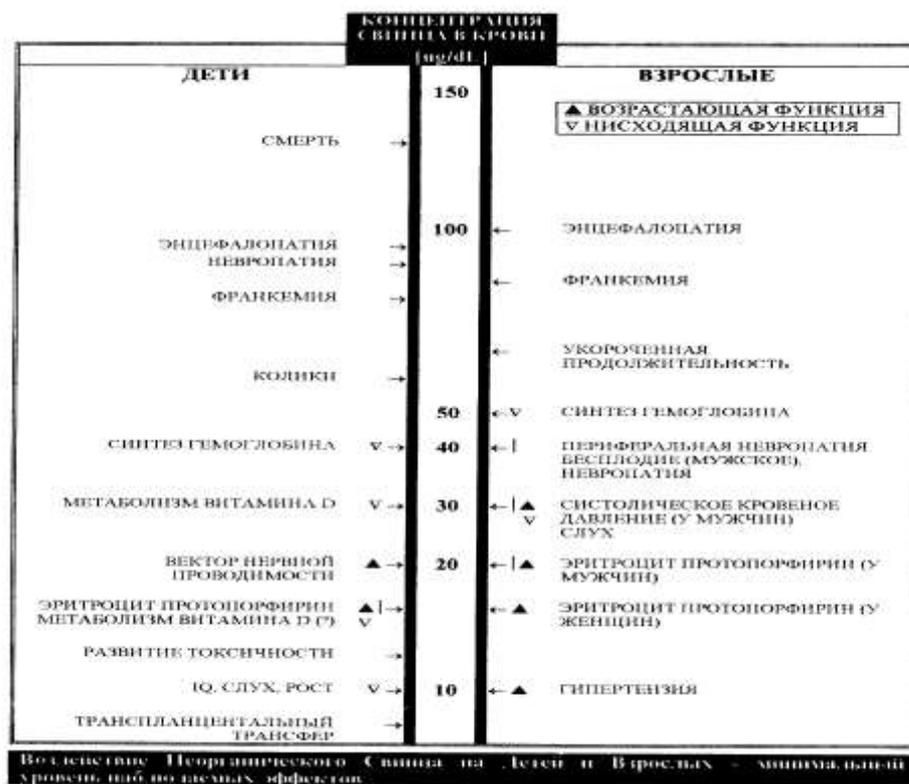


Рис. 1 Эффекты неблагоприятного воздействия при разном уровне содержания свинца в крови.

- Методика ВОЗ для оценки загрязнения воздуха взвешенными веществами.

В соответствии с инструктивными документами ВОЗ риск для здоровья при ингаляционном воздействии взвешенных веществ определяется размерами частиц взвесей. Существуют примерные предположения о стандартном процентном соотношении разных частиц пылей в воздухе урбанизированной территории, однако по нашему мнению, это требует обязательного лабораторного уточнения на конкретной изучаемой территории скрининговыми исследованиями.

В соответствии с данными ВОЗ [36] увеличение среднегодовой концентрации пыли (общая пылевая фракция) на  $10 \text{ мкг/м}^3$  приводит к возрастанию частоты заболеваний бронхитом у детей на 11%. При увеличении среднесуточной концентрации пылевых частиц размером менее  $10 \text{ мкм}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$  частота симптомов со стороны верхних дыхательных путей возрастает на 3,5%, обращаемость и госпитализация по поводу респираторных заболеваний - на 0,84%, частота применения бронходилататоров - на 2%, смертность от заболеваний органов дыхания - на 1,2%, смертность от сердечно-сосудистых заболеваний - на 0,8%.

- Методика ВОЗ для оценки загрязнения воздуха диоксидом азота.

По данным ВОЗ [36] при увеличении среднесуточной концентрации на  $30 \text{ мкг/м}^3$  число заболеваний нижних дыхательных путей у детей в возрасте 5-12 лет возрастает на 20%. В случае хронического воздействия данного газа для расчета прироста частоты случаев заболеваний органов дыхания у детей в возрасте 6-7 лет используется уравнение:

$$Y = 1 / (1 + \exp(0.536 - 0,0275 \times \text{NO}_2 + 0,0295 \times k))$$

где: Y - прирост случаев/численность популяции, exp – символ экспоненты (основание натурального логарифма в степени выражения, стоящего в скобках),  $\text{NO}_2$  - концентрация диоксида азота в  $\text{мкг/м}^3$ ; величина коэффициента "k" для мальчиков составляет -1, для девочек k = 0.

При увеличении среднесуточной концентрации диоксида азота на 10 мкг/м<sup>3</sup> продолжительность приступов обострения заболеваний верхних дыхательных путей (в частности, бронхиальной астмой) возрастает на 6,5 %.

- Методика ВОЗ для оценки загрязнения воздуха диоксидом серы.

По данным ВОЗ [36] увеличение среднесуточной концентрации диоксида серы на 10 мкг/м<sup>3</sup> приводит к росту общей смертности на 0,6% (ВОЗ), смертности от болезней органов дыхания на 1,2%, смертности от сердечно-сосудистых заболеваний на 0,6%. У людей в возрасте 65 лет и более прослеживается увеличение госпитализации и/или обращаемости за скорой медицинской помощью по поводу респираторных заболеваний на 0,5 % на каждые дополнительные 10 мкг/м<sup>3</sup>.

- Методика ВОЗ для оценки загрязнения воздуха оксидом углерода.

По данным ВОЗ [36] прирост частоты госпитализации и/или обращаемости по поводу заболеваний сердца (в возрасте 65 лет и более), выраженный в виде отношения: дополнительное число случаев госпитализации/численность экспонируемого населения, составляет:  $0,00000011 \times CO/1,15$ , где CO - концентрация в мг/м<sup>3</sup>. Изменение частоты приступов у некурящих больных стенокардией в возрасте 35 - 37 лет (снижение межприступного периода, %) описывается уравнением:

$$\text{Увеличения частоты приступов (в \%)} = -1,89 \times 0,45 \times CO/1,15$$

Изменение содержания карбоксигемоглобина (COHb) в крови (исходное содержание 0,5 %) при увеличении концентрации CO в воздухе характеризуется следующей зависимостью:

$$\text{Прирост COHb} = 0,45 \times CO/1,15$$

Таким образом, суть третьего этапа оценки риска применительно к практической деятельности врача-гигиениста, заключается в том, что здесь необходимо выявить количественные значения вероятности проявления негативных для здоровья реакций на воздействие конкретного неблагоприятного фактора, действующего с определенной силой и в заданный промежуток времени.

## 2.4. Характеристика риска

Заключительный этап - **характеристика риска**, является обобщением результатов предыдущих этапов. Этап характеристики риска включает, помимо количественных величин риска, анализ и характеристику неопределенностей, связанных с оценкой, и обобщение всей информации по оценке риска.

Так, одним из разделов работ последнего этапа является расчет комбинированного действия или комбинированного риска. Упрощенным методом оценки комбинированного риска (так как это принято, например, в международной практике) является способ, где комбинированный риск определяется как сумма рассчитанных величин риска по каждому из принятых в расчет веществ.

Другим способом оценки комбинированного воздействия нескольких примесей является расчет суммарных показателей [9]. Под комбинированном действием принимается воздействие нескольких примесей, поступающих через один из факторов (воздух, вода или др.) окружающей среды. При определении суммарных показателей (индексов загрязнения) используется принцип изоэффективности, т.е. кратности превышения ПДК каждого вещества сначала "приводятся" к третьему классу опасности, а затем рассчитывается индекс загрязнения (P). При этом можно отметить, что получаемый таким образом индекс загрязнения по сути представляет собой кратность превышения ПДК условного вещества третьего класса опасности, токсический эффект которого равен сумме всех веществ, входящих в смесь. Следовательно, для оценки риска при комбинированном воздействии нескольких веществ целесообразно сначала рассчитать

суммарный индекс загрязнения [10,11], а затем, используя выше указанные подходы, провести оценку риска.

Еще одним подходом, который, по нашему мнению, с успехом может применяться как для оценки комбинированного, так и комплексного действия, является метод, основанный на умножении вероятностей. Основанием для такого суждения служит следующее. Хорошо известно [10,11], что для оценки комбинированного действия нескольких примесей, обладающих эффектом суммации, используют метод расчета приведенной концентрации ( $C_{np}$ ):

$$C_{np} = C_1 + C_2 \times \text{ПДК}_1 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n \times \text{ПДК}_1 / \text{ПДК}_n,$$

где  $C_1, C_2 \dots C_n$  - концентрации 1-й, 2-й ... n-ой примесей, а  $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2 \dots \text{ПДК}_n$  - соответственно их нормативы.

При этом, риск комбинированного действия такой смеси может быть легко определен с использованием подходов, изложенных выше, где  $C_{np}$  принимается как биологический эквивалент суммарного воздействия примесей, входящих в смесь. Вместе с тем, учитывая, что риск, по своей сути, является величиной вероятностной, мы не исключаем возможность определения риска комбинированного действия в соответствии с правилом умножения вероятностей, где в качестве множителя выступают не величины риска здоровью, а значения, характеризующие вероятность его отсутствия:

$$\text{Risk}_{\text{сум}} = 1 - (1 - \text{Risk}_1) * (1 - \text{Risk}_2) * (1 - \text{Risk}_3) * \dots * (1 - \text{Risk}_n)$$

где  $\text{Risk}_{\text{сум}}$  - риск комбинированного действия примесей;

$\text{Risk}_1 - \text{Risk}_n$  - риск действия каждой отдельной примеси.

Оказалось, что суммарный риск появления неблагоприятных для здоровья эффектов, рассчитанный как по первому так и второму уравнениям, дают совершенно идентичные результаты.

В качестве примера приведем следующий расчет.

Пример расчета риска комбинированного действия			
Примеси	Концентрация	ПДК	Риск
Примесь 1	2,0	1,0	0,075
Примесь 2	4,0	1,5	0,098
Примесь 3	0,25	0,1	0,092
$C_{np}$ (приведенная к первой примеси)	7,17	1,0	0,243
Риск, определенный по правилу умножения вероятностей			0,243

Это наблюдение дает основание для использования второго из предложенных уравнений как универсального способа определения риска комбинированных и комплексных эффектов различных факторов однонаправленного биологического действия.

При использовании данной схемы следует обратить внимание на следующее.

Эффекты немедленного действия чаще всего проявляются в виде рефлекторных реакций у наиболее чувствительных лиц. Иными словами, люди наиболее подверженные воздействию одних примесей также оказываются более чувствительными и к другим. В связи с этим, потенциальный риск немедленного действия при комбинированном воздействии чаще всего определяется максимальным риском отдельной примеси среди всех воздействующих ингредиентов, хотя ряде отдельных случаев необходим учет эффекта суммации.

Хроническое воздействие химических веществ общетоксического характера действия на уровне малых концентраций (1 - 15 ПДК) [2,3,9,17,21,32] характеризуется однотипными неспецифическими эффектами, что заставляет думать о необходимости обязательного использования в этом случае уравнения расчета суммарного риска для всех примесей, являющиеся потенциальными токсикантами хронического действия.

За заключительном этапе оценки риска важно также получить информацию о популяционном риске, представляющим собой произведение индивидуального риска (отдельно по каждому веществу и их комбинаций) на численность экспонированной популяции. При этом обязательно должны оцениваться все неопределенности, допущенные на предыдущих этапах. Существует четыре основных источника неопределенности:

- Неопределенность, вызванная проблемами статистической выборки;
- Неопределенность в моделях воздействия или моделях "доза-эффект", особенно на уровне доз малой интенсивности;
- Неопределенность, связанная с формированием исходной выборки баз данных;
- Неопределенность, вызванная неполнотой совпадения с реальностью использованных моделей.

В идеальном случае, каждая неопределенность должна сопровождаться распределениями индивидуальной и обобщенной вероятности, из которых выводятся средние или худшие индивидуальные оценки негативного эффекта.

Оценка риска является одной из основ для принятия решений по профилактике неблагоприятного воздействия экологических факторов на здоровье населения, но не самим решением.

Другие необходимые для этого условия - анализ не рисков факторов, сопоставление их с характеристиками риска и установление между ними соответствующих пропорций входят в процедуру управления, являющейся, как мы уже говорили, третьим этапом системы социально-гигиенического мониторинга. Решения, принимаемые на такой основе, не являются ни чисто хозяйственными, ориентирующимися только на экономическую выгоду, ни чисто медико-экологическими, преследующими цель устранения даже минимального риска для здоровья человека или стабильности экосистемы без учета затрат на обеспечение такой ситуации. Другими словами, сопоставление медико-экологических, социальных и технико-экономических факторов дает основу для ответа на вопрос о степени приемлемости риска и необходимости принятия регулирующего решения, ограничивающего или запрещающего использование того или иного технического решения, функционального зонирования территории поселения при разработке его генплана, и т.д.

#### **Задание:**

1. Законспектировать основные теоретические положения материала, отразив описанные методики и формулы для вычислений.

2. Рассчитать экологический риск в следующих условиях (приведены примерные задания, индивидуальное задание выдает преподаватель):

2.1. Рассчитать канцерогенный риск при содержании хлороформа в питьевой воде на уровне 1 мг/л, используя методику Американского Агентства по охране окружающей среды. Риск рассчитывается на условие ежедневного потребления данной воды на протяжении всей жизни человека. На этот же срок определен и норматив для расчета риска. Среднее количество ежедневно потребляемой внутрь воды - 3 л, средний вес человека - 70 кг.

2.2. Провести оценку канцерогенного риска, связанного с загрязнением мышьяком атмосферного воздуха (0,0001 мг/м<sup>3</sup>) и питьевой воды (0,5 мг/л). Вес человека - 70 кг, средний объем ежедневно вдыхаемого воздуха - 22 м<sup>3</sup>, концентрация мышьяка в воздухе - 0,0001 мг/м<sup>3</sup>.

## **ПРЕДПРИЯТИИ**

### **Методические указания:**

Семинар проходит в форме групповой дискуссии по результатам докладов, которые студенты готовят заранее по предложенным темам. Обсуждения студенты проводят в группах по 3-5 человек. Каждый студент должен быть готов проанализировать и дополнить ответ своего товарища. Для обсуждения предложенных вопросов, студенту необходимо, опираясь на полученные знания на лекциях и в процессе самостоятельной работы, проработать предложенные вопросы и изучить информацию по данной теме. При подготовке при изучении темы помимо лекционного материала необходимо использовать соответствующие разделы рекомендуемой литературы.

### **Вопросы и материал для обсуждения на семинаре:**

1. Управление профессиональными рисками – стратегия государственной политики на период до 2025 года. Концепция превентивного подхода. Законодательные изменения
2. Законодательная база. Оценка рисков в других странах, международная практика. Что такое системный подход и что включает в себя понятие «современная система управления охраной труда (СУОТ)»?
3. Почему процедуры оценки и управления рисками лежат в основе современных СУОТ и какова их роль?
4. Риск-менеджмент как отдельное направление управления.
5. Актуальность оценки рисков. Основы оценки рисков. Субъективный или «человеческий» фактор при оценке рисков.
6. Законы управления рисками. Планирование и подготовка к оценке рисков. Выполнение оценки рисков.
7. Необходимость управления рисками. Иерархия управления рисками. Мероприятия по контролю над рисками.
8. Поведенческий подход.
9. Как происходит подготовка, процесс оценки рисков, анализ результатов и как их использовать?
10. Что такое контроль над рисками и иерархия мер контроля и управления?
11. Что получает предприятие от внедрения этих технологий и почему это выгодно для бизнеса?

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13**

### **СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ОРГАНИЗАЦИИ**

#### **Методические указания:**

Семинар проходит в форме групповой дискуссии по результатам докладов, которые студенты готовят заранее по предложенным темам. Обсуждения студенты проводят в группах по 3-5 человек. Каждый студент должен быть готов проанализировать и дополнить ответ своего товарища. Для обсуждения предложенных вопросов, студенту необходимо, опираясь на полученные знания на лекциях и в процессе самостоятельной работы, проработать предложенные вопросы и изучить информацию по данной теме.

При подготовке при изучении темы помимо лекционного материала необходимо использовать соответствующие разделы рекомендуемой литературы.

#### **Вопросы и материал для обсуждения на семинаре:**

1. Оценка рисков по требованиям законодательства РФ и международных стандартов безопасности и их значение в системе управления процессами предприятия, системе управления охраной труда. (OHSAS 18001:2007, ГОСТ 12.0.230-2007 «Система управления охраной труда (СУОТ), Общие требования», SA 8000 (Social Accountability 8000), Стандарт ИСО 50001:2011, ISO 22000:2005 (ГОСТ Р ИСО 22000 - 2007), ISO 28001:2007 и другие)
2. Понятие риска, ответственность и обязанности сторон трудовых отношений в

Трудовом кодексе: термины, определения, практика правоприменения.

3. Аттестация рабочих мест по условиям труда и риски. Новое отношение к профессиональным рискам, тенденции (проекты) в государственных нормативных актах трудового права.

4. Риск в системе государственных стандартов, Р, РД и других нормативных документов, «низкого» уровня.

5. Международные документы системы гигиены и менеджмента безопасности труда серии OHSAS, новая редакция, изменение терминов их сущность и практическое значение. 55

6. Опишите различные типы стандартов безопасности, используемые в деятельности предприятия (приведите примеры, обоснуйте):

а) основополагающие, включающие в себя фундаментальные концепции, принципы и требования, относящиеся к основным аспектам безопасности. Для каких видов видов продукции, процессов и услуг они могут применяться?

б) групповые, содержащие аспекты безопасности. Для каких видов видов продукции, процессов и услуг они могут применяться?

в) стандарты безопасности продукции, включающие в себя аспекты безопасности определенного вида или семейства продукции, процессов или услуг.

г) стандарты на продукцию, содержащие аспекты безопасности.

#### **14. Защита курсовой работы.**

**Цель:** формирование способностей к обобщению информации, аргументированному отстаиванию своих предложений, развитие умений подготовки выступлений, навыков публичных выступлений и ведения дискуссий

#### **Методические рекомендации:**

Занятие проходит в форме конференции на последнем практическом занятии. Обсуждение происходит в диалоговом режиме между студентами и преподавателем.

Методические требования и рекомендации по выполнению представлены в рекомендациях по выполнению курсовой работы.

### **3. Групповые и индивидуальные консультации**

Слово «консультация» латинского происхождения, означает «совещание», «обсуждение».

Консультации проводятся в следующих случаях:

- когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;
- с целью оказания консультативной помощи при подготовке к промежуточной аттестации, участию в конференции и др.);
- если обучающемуся требуется помощь в решении спорных или проблемных вопросов возникающих при освоении дисциплины.

Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения. В частности, если затруднение возникло при изучении теоретического материала, то конкретно укажите, что вам непонятно, на какой из пунктов обобщенных планов вы не смогли самостоятельно ответить.

Если же затруднение связано с решением задачи или оформлением отчета о лабораторной работе, то назовите этап решения, через который не могли перешагнуть, или требование, которое не можете выполнить.

#### **4. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы**

Успешное освоение компетенций, формируемых учебной дисциплиной, предполагает оптимальное использование времени для самостоятельной работы.

Самостоятельная работа обучающегося - деятельность, которую он выполняет без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию, под его руководством и наблюдением. Обучающийся, обладающий навыками самостоятельной работы, активнее и глубже усваивает учебный материал, оказывается лучше подготовленным к творческому труду, к самообразованию и продолжению обучения.

Самостоятельная работа может быть аудиторной и внеаудиторной. Границы между этими видами работ относительны, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется во время проведения учебных занятий по дисциплине (модулю) по заданию преподавателя. Включает в себя:

- выполнение самостоятельных работ, участие в тестировании;
- выполнение контрольных, практических и лабораторных работ;
- решение задач и упражнений, составление графических изображений (схем, диаграмм, таблиц и т.п.);
- работу со справочной, методической, специальной литературой;
- оформление отчета о выполненных работах;
- подготовка к дискуссии, выполнения заданий в деловой игре и т.д.

Внеаудиторная самостоятельная работа (в библиотеке, в лаборатории МГТУ, в домашних условиях, в специальных помещениях для самостоятельной работы в МГТУ и т.д.) является текущей обязательной работой над учебным материалом (в соответствии с рабочей программой), которая не предполагает непосредственного и непрерывного руководства со стороны преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа по дисциплине может включать в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям, лабораторным работам и др.) и выполнение необходимых домашних заданий;
- работу над отдельными темами дисциплины (модуля), вынесенными на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой;
- проработку материала из перечня основной и дополнительной литературы по дисциплине, по конспектам лекций;
- написание рефератов, докладов, эссе, отчетов, подготовка мультимедийных презентаций, составление глоссария и др.;
- другие виды самостоятельной работы.

Содержание самостоятельной работы определяется рабочей программой дисциплины. Задания для самостоятельной работы имеют четкие календарные сроки выполнения.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение обучающимся следующих этапов:

1. Определение цели самостоятельной работы.
2. Конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи.
3. Самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи.
4. Выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения).
5. Планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи.
6. Реализация программы выполнения самостоятельной работы.
7. Самоконтроль выполнения самостоятельной работы, оценивание полученных результатов.
8. Рефлексия собственной учебной деятельности.

### **Работа с научной и учебной литературой**

Работа с учебной и научной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к контрольным работам, тестированию, зачету.

В процессе работы с учебной и научной литературой студент может:

- делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике);
- составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора);
- готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы);
- создавать конспекты (развернутые тезисы, которые).

Выбрав нужный источник, следует найти интересующий раздел по оглавлению или алфавитному указателю, а также одноименный раздел конспекта лекций или учебного пособия. В случае возникших затруднений в понимании учебного материала следует обратиться к другим источникам, где изложение может оказаться более доступным. Необходимо отметить, что работа с литературой не только полезна как средство более глубокого изучения любой дисциплины, но и является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего выпускника.

### **Решение ситуационных задач (кейс-заданий)**

Кейс-задание (англ. *case*- случай, ситуация) - задание, связанное с конкретным последовательностью действий и направленное на разбор, осмысление и решение реальной профессионально-ориентированной ситуации.

Решение ситуационных задач направлено на формирование умения анализировать в короткие сроки большой объем неупорядоченной информации, принятия решений в условиях недостаточной информации, готовности использовать собственные индивидуальные креативные способности для решения исследовательских задач.

Рекомендации по работе с кейсом:

- сначала необходимо прочитать всю имеющуюся информацию, чтобы составить целостное представление о ситуации; не следует сразу ее анализировать, желательно лишь выделить в ней данные, показавшиеся важными;
- требуется охарактеризовать ситуацию, определить ее сущность и отметить второстепенные элементы, а также сформулировать основную проблему и проблемы, ей подчиненные;
- важно оценить все факты, касающиеся основной проблемы (не все факты, изложенные в ситуации, могут быть прямо связаны с ней), и попытаться установить взаимосвязь между приведенными данными;
- следует сформулировать критерий для проверки правильности предложенного решения, попытаться найти альтернативные способы решения, если такие существуют, и определить вариант, наиболее удовлетворяющий выбранному критерию.

### **Вопросы для самоконтроля освоения дисциплины:**

#### **Тема 1. «Природа и характеристика опасностей в техносфере»**

1. Дайте определение риска? Каковы основные тенденции определения термина риск?
2. В чем отличие определений опасности и риска?
3. Как классифицируются риски?
4. Что такое концепция приемлемого риска?

#### **Тема 2. «Основные положения теории риска»**

1. Раскройте понятие «риска». Сколько основных тенденций определения этого термина?
2. Понятие индивидуального риска. Приведите формулу.
3. Каковы источники и факторы индивидуального риска?
4. В чем заключается понятие технического риска. Приведите формулу
5. Каковы источники и факторы технического риска?
6. Объясните понятие экологического риска. Приведите формулу
7. Каковы масштабы экологического риска?
8. Каковы источники и факторы экологического риска?
9. Понятие социального риска. Приведите формулу
10. Каковы источники и факторы социального риска?
11. В чем заключается понятие экономического риска? Приведите формулу.
12. Приведите формулу экономически обоснованной безопасности.

### **Тема 3. «Системный подход к анализу риска и надежности систем»**

Раскройте понятие «система».

1. Опишите классификацию систем.
2. Охарактеризуйте техносферу как систему.
3. Каким образом осуществляется управление системами на основе математических моделей?

### **Тема 4. «Моделирование систем и процессов»**

1. Дайте понятие модели системы, приведите примеры объективной необходимости использования моделей для анализа функционирования различных систем.
2. Приведите примеры содержательных моделей. Как соотносятся содержательные и формальные модели?
3. Какие модели системного анализа относятся к базовым.
4. Приведите классификацию моделей и методов системного анализа.
5. Приведите примеры моделей «черного ящика», моделей состава и моделей структуры для конкретной системы.
6. Поясните на примерах отличия типов иерархических систем (страты, слои, эшелоны, классы).
7. В чем отличия отношений в модели состава деятельности компании от отношений в модели структуры подчиненности компании.
8. Дайте понятие декомпозиции, модели декомпозиции, поясните это на конкретном примере.
9. Поясните основные этапы жизненного цикла конечного продукта на примере.
10. Приведите иерархию подсистем конкретной системы, построенную с использованием стандартных моделей организационной системы.
11. Приведите модель связей подсистем системы и окружающей среды.

### **Тема 5. «Методы анализа и оценки надежности и техногенного риска»**

1. В чем заключается понятие процесса анализа риска?
2. В чем заключается проблемы анализа риска?
3. Каковы общие положения анализа риска?
4. Охарактеризуйте общий вид процесса анализа риска.
5. В чем заключается содержание 1го этапа анализа риска?
6. Как проводится планирование и организация работ?
7. В чем заключается содержание 2 этапа анализа риска?
8. Как осуществляется идентификация опасностей?
9. В чем заключается понятие оценки риска?
10. Каковы подходы к оценке риска?

11. Охарактеризуйте понятие управления риском и место его в обеспечении безопасности технических систем.
12. Какие методы проведения анализа риска вы знаете? Какие требования?
13. В чем заключаются общность и различие процедур оценки и управления риском?
14. Назовите количественные показатели риска.
15. Назовите качественные показатели риска.

**Тема 6. «Экологический риск. Нормативный подход к определению параметра экологического риска и его аналогов. Количественная оценка экологического риска»**

1. В чем состоит понятие и сущность экологического риска ?
2. Каким образом осуществляется оценка экологического риска?
3. В чем заключается нормативный подход к определению параметра экологического риска?

**Тема 7. «Методы управления рисками»**

1. Охарактеризуйте методы управления рисками.
2. Какие стратегии для избежания риска и его снижения вы знаете?
3. Что такое принятие риска на себя, перенос риска, разделение риска?
4. Как осуществляется страхование рисков?
5. В чем состоит цель риск-менеджмента?
6. В чем заключаются задачи риск-менеджмента?
7. Расскажите о законах и принципах риск-менеджмента.
8. Что такое система управления рисками на предприятии? Как она работает?
9. Для чего предназначен стандарт ISO 31000?
10. Какие основные вопросы рассматривает стандарт ISO 31000?
11. Какова цель стандарта ГОСТ Р 51901.2-2002? В каком качестве может применяться этот стандарт?
12. Какие вопросы охватывает стандарт РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов»?
13. Какие еще стандарты в области управления рисками организации вы знаете?

**5. Методические рекомендации по подготовке обучающегося к промежуточной аттестации**

Учебным планом по дисциплине «Управление рисками и моделирование в техносферной безопасности» предусмотрена(ы) следующая(ие)форма(ы) промежуточной аттестации : Зачет.

Промежуточная аттестация направлена на проверку конечных результатов освоения дисциплины.