

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК**

сборник учебно-методических материалов

для направления подготовки 18.03.01 - Химическая технология

Благовещенск 2017

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
инженерно-физического факультета  
Амурского государственного  
университета*

*Составитель: Аверьянов В.Н.*

Современные технологии и экологический риск: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 18.03.01. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

Рассмотрен на заседании кафедры безопасности жизнедеятельности 04.09.2017, протокол № 1.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра безопасности жизнедеятельности, 2017

© Аверьянов В.Н., составление

## СОДЕРЖАНИЕ

Содержание курса лекций

Тема 1. Окружающая среда как система

Тема 2. Опасные природные явления

Тема 3. Техногенные системы и их воздействие на окружающую среду

Тема 4. Методология оценки риска

Тема 5. Принципы обеспечения экологической безопасности

Тема 6. Количественная оценка опасных воздействий

Тема 7. Методы снижения экологического риска

Методические рекомендации (указания) к практическим занятиям

Методические рекомендации (указания) к лабораторным занятиям

Методические указания для самостоятельной работы

## Содержание курса лекций

### Тема 1. Окружающая среда как система

Понятие техносферной системы, характеристика и классификация систем, базовые категории систем: элементы, связи, состав, структура, окружение, границы системы; переменные, векторы, траектории и пространства состояний системы. Принципы организации и динамики систем; свойства эмерджентности, энтропии и гомеостазиса систем; ситуационное и адаптивное поведение систем; структура системного исследования, модели структуры, процессов, целей и свойств систем. Диаграммы причинно-следственных связей, как модели процессов в системах; классификация методов исследования, достоинства и недостатки, принципы моделирования человеко-машинных и других динамических систем; элементы математической теории организаций и программно-целевого управления процессом совершенствования систем; управляющий объект, объект управления, цель, показатели и критерии оценки качества управления; виды и принципы управления; структура и циклы управления; принципы обоснования, обеспечения, контроля и поддержания оптимальных по выбранному критерию показателей качества систем.

*Предмет курса, его цель и задачи. Структура курса и его связь с другими дисциплинами направления специальностей 656500 "Безопасность жизнедеятельности". Использование материала курса при обеспечении безопасности создаваемых производственных процессов и совершенствовании существующих.*

Можно говорить о наступлении этапа научного, системно-междисциплинарного подхода к проблемам науки, образования, техники и технологии, этапа, концентрирующего внимание не только на вещественно-энергетических, но и на системно-междисциплинарных аспектах, построении и исследовании системно-информационной картины мира, о наступлении этапа системных парадигм. Есть все основания утверждать, что основным противоречием эпохи служит несоответствие между возрастающими потребностями человечества и возможностями их удовлетворения непрерывно скудеющей биосферой.

Основными *целями* изучения дисциплины являются подготовка специалистов к моделированию опасных процессов в техносфере и обеспечению безопасности создаваемых систем технологического оборудования на производстве, а также приобретение навыков системного исследования и совершенствования безопасности функционирования объектов экономики, освоение методологии системного мышления и комплексного рассмотрения сложных проблем.

Основные особенности единой системной концепции и методологии:

главное внимание при моделировании и системном анализе уделено техносферным процессам повышенной опасности;

опасность интерпретируется возможностью причинения ущерба как людским, так и материальным, природным ресурсам;

опасность воспринимается как неизбежный атрибут любого противодействия естественному стремлению энтропии к росту;

все объективно существующие опасности разделены на три класса: техногенные, природные и социальные, при этом каждый из них обусловлен неадекватными потоками соответственно энергии, вещества и информации (наиболее зримо опасности двух первых классов проявляются в чрезвычайных происшествиях, одновременно являющихся результатом неконтролируемого высвобождения энергии и следствием причинных цепе предпосылок);

все предпосылки к техногенным авариям и катастрофам разделены на три группы: а) ошибки людей; б) отказы техники; в) нежелательные внешние воздействия;

каждый процесс в техносфере рассматривается в общем случае как функционирование системы «человек – машина – среда»;

безопасность интерпретируется свойством системы сохранять состояния с минимальным риском причинения ущерба (под риском понимается мера опасности, одновременно указывающая как на возможность причинения ущерба, так и на его величину).

Любое современное явление как биосферной, так и техносферной природы может быть воспроизведено посредством моделирования. Для системного анализа применяются диаграммы причинно-следственных связей (деревья, графы, сети), последующая формализация которых методами теории вероятностей или возможностей и математической статистики позволяет получить удобные для обработки аналитические методы. Поэтому основной *задачей дисциплины* является приобретение студентами знаний, навыков и приемов моделирования различных процессов, явлений и сложных систем в техносфере (на основе методов математического и имитационного моделирования).

### **Методологические основы системного анализа.**

*Общие принципы системного анализа. Понятие сложной системы. Понятие и классификация систем. Характеристика систем: элемент, связь, состав, структура, морфология, граница. Свойства, состояния, взаимодействия и факторные пространства систем. Классификация и общая характеристика методов системного анализа. Особенности системного анализа процессов в техносфере.*

Системный анализ, чьи основы являются достаточно древними, - все же сравнительно молодая наука (сравнима по возрасту, например, с кибернетикой). Хотя она и активно развивается, ее определяющие понятия и термины недостаточно формализованы (если это вообще возможно осуществить). Системный анализ применяется в любой предметной области, включая в себя как частные, так и общие методы и процедуры исследования.

Эта наука, как и любая другая, ставит своей целью исследование новых связей и отношений объектов и явлений. Но, тем не менее, основной проблемой нашей науки является исследование связей и отношений таким образом, чтобы изучаемые объекты стали бы более управляемыми, изучаемыми, а "вскрытый" в результате исследования механизм взаимодействия этих объектов - более применимым к другим объектам и явлениям. Задачи и принципы системного подхода не зависят от природы объектов и явлений.

При изложении основ анализа, синтеза и моделирования систем возможны два основных подхода: формальный и понятийно-содержательный. Формальный подход использует формальный математический аппарат различного уровня строгости и общности (от простых соотношений до операторов, функторов, категорий, алгебр). Понятийно-содержательный подход - концентрируется на основных понятиях, идеях, подходе, концепциях, возможностях, на основных методологических принципах, использует "полуформальное" введение в суть рассматриваемых идей и понятий. Многие идеи и принципы системного анализа, хотя и более точны, строги на формальном языке изложения, тем не менее, сохраняют свою силу, актуальность, возможность эффективного использования и на содержательном языке. Необходимо отметить, что часто один удачный понятный пример имеет большее значение для понимания этих принципов, чем строгие математические определения. Кроме того, фактор неопределенности в системном анализе ограничивает применимость строгих математических формулировок и выводов. Мы ниже будем придерживаться, в основном, содержательно-понятийного подхода, применяя там, где это будет признано необходимым, формальные определения и положения, хотя отчетливо осознаем, что для изложения основ науки, претендующей на роль методологической, необходима высокая степень формализации, вплоть до создания аксиом. Таким подходом мы хотим расширить и круг читателей, которым будет доступен и полезен этот курс лекций. Несмотря на содержательные формулировки и алгоритмические процедуры некоторых приводимых основных положений и фактов, они имеют в основе достаточно формальный фундамент.

Слово "*система*" (организм, строй, союз, целое, составленное из частей) возникло в Древней Греции около 2000 лет назад. Древние ученые (Аристотель, Демокрит, Декарт, Платон

и другие) рассматривали сложные тела, процессы и мифы мироздания как составленные из различных систем (например, атомов, метафор). Развитие астрономии (Коперник, Галилей, Ньютон и другие) позволило перейти к гелиоцентрической системе мира, к категориям типа "вещь и свойства", "целое и часть", "субстанция и атрибуты", "сходство и различие" и др. Далее развитие системного анализа происходит под влиянием различных философских воззрений, теорий о структуре познания и возможности предсказания (Бэкон, Гегель, Ламберт, Кант, Фихте и другие). В результате такого развития системный анализ выходит на позиции методологической науки.

*Система* - объект или процесс, в котором элементы-участники связаны некоторыми связями и отношениями.

*Подсистема* - часть системы с некоторыми связями и отношениями.

Любая система состоит из подсистем, подсистема любой системы может быть сама рассмотрена как система. Границы рассматриваемой системы определяются доступными ресурсами и окружением.

Определим *основные понятия системного анализа*, необходимые далее.

*Состояние системы* - фиксация совокупности доступных системе ресурсов (материальных, энергетических, информационных, пространственных, временных, людских, организационных), определяющих ее отношение к ожидаемому результату или его образу. Это "фотография" механизма преобразования входных данных системы в выходные данные.

*Цель* - образ несуществующего, но желаемого, с точки зрения задачи или рассматриваемой проблемы, состояния среды, т.е. такого состояния, которое позволяет решать проблему при данных ресурсах. Это описание, представление некоторого наиболее предпочтительного (с точки зрения поставленной цели и доступных ресурсов) состояния системы.

*Задача* - некоторое множество исходных посылок (входных данных к задаче), описание цели, определенной над множеством этих данных, и, может быть, описание возможных стратегий достижения этой цели или возможных промежуточных состояний исследуемого объекта.

Решить задачу означает определить четко ресурсы и пути достижения указанной цели при исходных посылках. *Решение задачи* - описание, представление состояния задачи, при котором достигается указанная цель; решением задачи называют и сам процесс нахождения этого состояния.

Понятие проблемы в системном анализе - шире, чем понятие задачи, и состоит обычно из ряда взаимосвязанных задач.

*Проблема* - описание, хотя бы содержательное, ситуации, в которой определены: цель, достигаемые (достижимые, желательные) результаты и, возможно, ресурсы и стратегия достижения цели (решения). Проблема проявляется поведением системы.

*Структура системного исследования. Базовые категории систем. Принцип декомпозиции систем. Принципы организации систем и системной динамики. Свойства эмерджентности, энтропии и гомеостазиса. Ситуационное и адаптивное поведение систем.*

*Диаграммы причинно-следственных связей. Принципы моделирования человеко-машинных систем. Этапы жизненного цикла технических и других систем. Понятие оценки состояния диагностики, прогнозирования в поведении систем.*

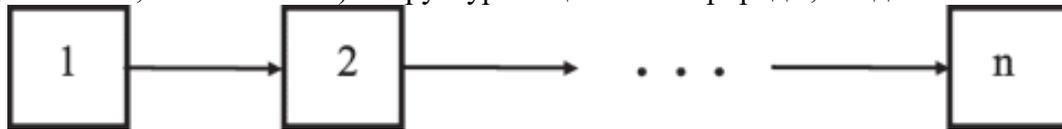
*Описание (спецификация) системы* - это идентификация ее определяющих элементов и подсистем, их взаимосвязей, целей, функций и ресурсов, т.е. описание допустимых состояний системы.

Если входные посылки, цель, условие задачи, решение или, возможно, даже само понятие решения плохо (частично) описываемы, формализуемы, то эти задачи называются плохо формализуемыми. Поэтому при решении таких задач приходится рассматривать целый комплекс формализованных задач, с помощью которых можно исследовать эту плохо

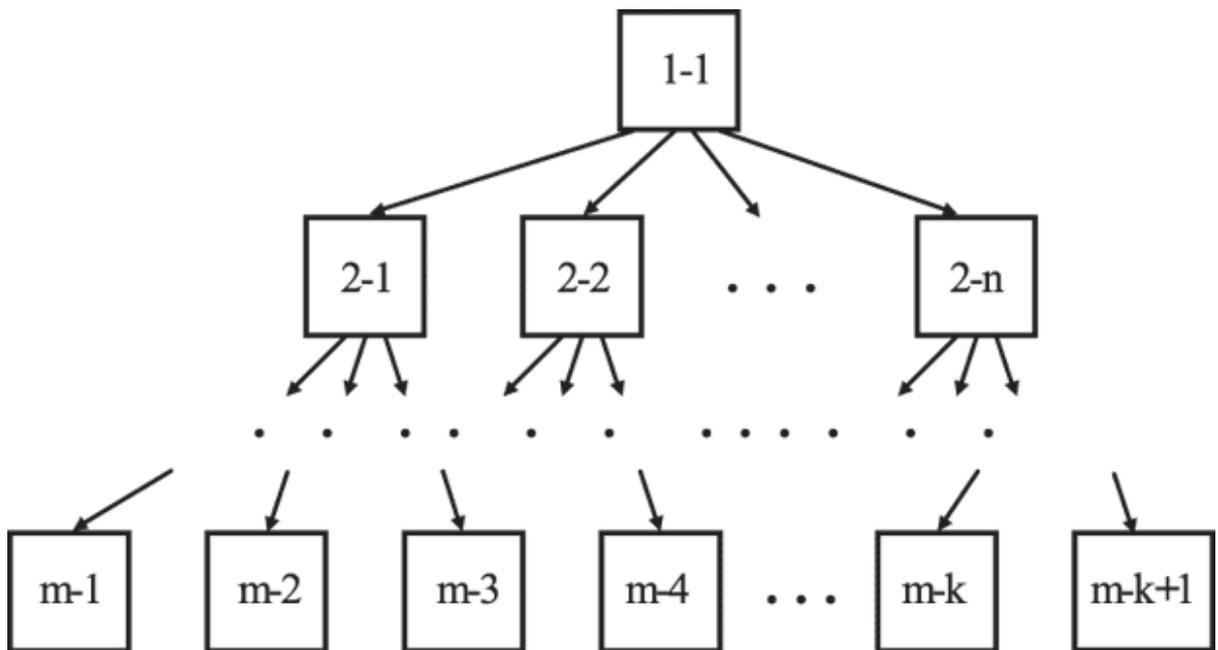
формализованную задачу. Сложность их исследования заключается в необходимости учета различных, а часто и противоречивых критериев определения, оценки решения задачи.

*Структура* - все то, что вносит порядок во множество объектов, т.е. совокупность связей и отношений между частями целого, необходимых для достижения цели.

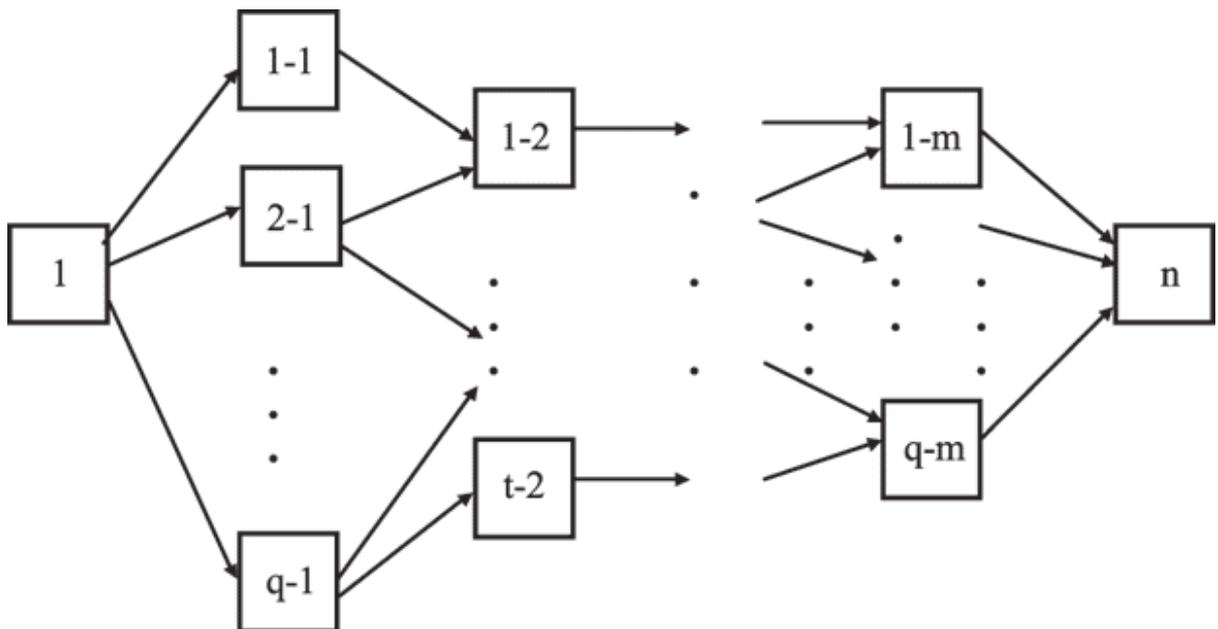
Кристаллическая решетка алмаза - структура неживой природы; пчелиные соты и полосы зебры - структуры живой природы; озеро - структура экологической природы; партия (общественная, политическая) - структура социальной природы, и т.д.



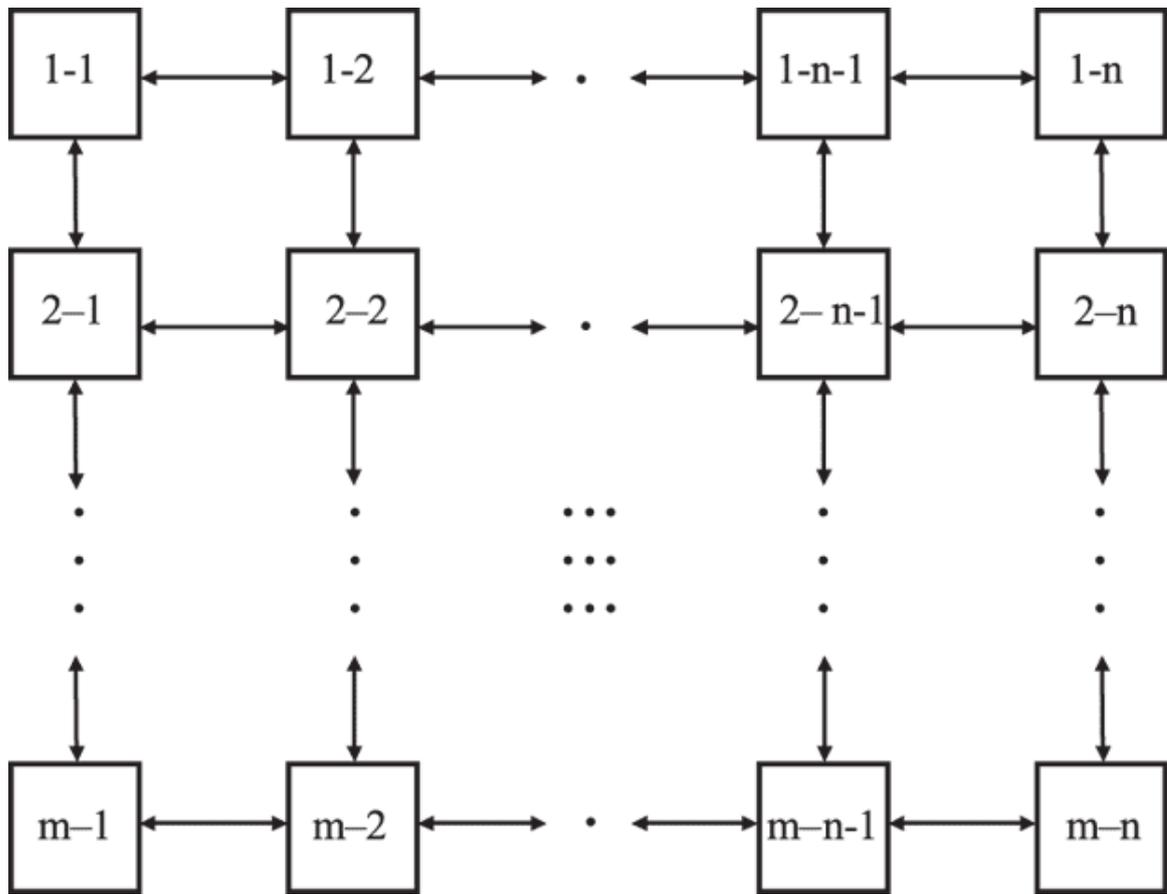
Структура линейного типа



Структура иерархического типа (первая цифра - номер уровня)



Структура сетевого типа (вторая цифра - номер в пути)



Структура матричного типа

Структура является связной, если возможен обмен ресурсами между любыми двумя подсистемами системы (предполагается, что если есть обмен  $i$ -й подсистемы с  $j$ -й подсистемой, то есть и обмен  $j$ -й подсистемы с  $i$ -й).

Если структура или элементы системы плохо (частично) описываемы или определяемы, то такое множество объектов называется плохо или слабо структурируемым (структурированным).

Таково большинство социально-экономических систем, обладающих рядом специфических черт плохо структурируемых систем, а именно:

мультиаспектностью и взаимосвязанностью происходящих в них процессов (экономических, социальных и т.п.), невозможностью их структурирования, так как все происходящие в них явления должны рассматриваться в совокупности;

отсутствием достаточной информации (как правило, количественной) о динамике процессов и применимостью лишь качественного анализа;

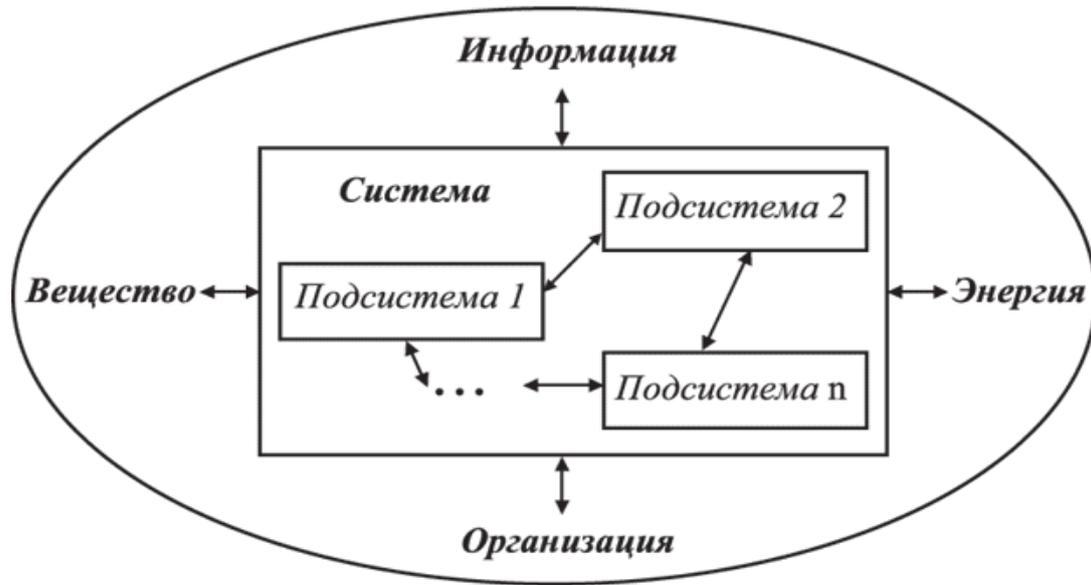
изменчивостью и многовариантностью динамики процессов и т.д.

"Система" в переводе с греческого означает "целое, составленное из частей". Это одна из абстракций системного анализа, которую можно конкретизировать, выразить в конкретных формах.

Можно теперь дать и следующее, более полное определение системы.

**Система** - это средство достижения цели или все то, что необходимо для достижения цели (элементы, отношения, структура, работа, ресурсы) в некотором заданном множестве объектов (операционной среде).

## ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА



### Структура системы

Для описания системы важно знать, какие она имеет структуру (строение), функции (работу) и связи (ресурсы) с окружением.

Любая система имеет внутренние состояния, внутренний механизм преобразования входных данных в выходные (внутреннее описание), а также имеет внешние проявления (внешнее описание).

Внутреннее описание дает информацию о поведении системы, о соответствии (несоответствии) внутренней структуры системы целям, подсистемам (элементам) и ресурсам в системе, внешнее описание - о взаимоотношениях с другими системами, с целями и ресурсами других систем.

### Классификация систем

Классификацию систем можно осуществить по разным критериям. Проводить ее жестко - невозможно, она зависит от цели и ресурсов.



### Классификация систем

Приведем основные способы классификации (возможны и другие критерии классификации систем).

*По отношению системы к окружающей среде:*

открытые (есть обмен ресурсами с окружающей средой);

закрытые (нет обмена ресурсами с окружающей средой).

*По происхождению системы (элементов, связей, подсистем):*

искусственные (орудия, механизмы, машины, автоматы, роботы и т.д.);

естественные (живые, неживые, экологические, социальные и т.д.);

виртуальные (воображаемые и, хотя реально не существующие, но функционирующие так же, как и в случае, если бы они существовали);

смешанные (экономические, биотехнические, организационные и т.д.).

*По описанию переменных системы:*

с качественными переменными (имеющие лишь содержательное описание);

с количественными переменными (имеющие дискретно или непрерывно описываемые количественным образом переменные);

смешанного (количественно-качественное) описания.

*По типу описания закона (законов) функционирования системы:*

типа "Черный ящик" (неизвестен полностью закон функционирования системы; известны только входные и выходные сообщения);

не параметризованные (закон не описан; описываем с помощью хотя бы неизвестных параметров; известны лишь некоторые априорные свойства закона);

параметризованные (закон известен с точностью до параметров и его возможно отнести к некоторому классу зависимостей);

типа "Белый (прозрачный) ящик" (полностью известен закон).

*По способу управления системой (в системе):*

управляемые извне системы (без обратной связи, регулируемые, управляемые структурно, информационно или функционально);

управляемые изнутри (самоуправляемые или саморегулируемые - программно управляемые, регулируемые автоматически, адаптируемые - приспособляемые с помощью управляемых изменений состояний, и самоорганизующиеся - изменяющие во времени и в пространстве свою структуру наиболее оптимально, упорядочивающие свою структуру под воздействием внутренних и внешних факторов);

с комбинированным управлением (автоматические, полуавтоматические, автоматизированные, организационные).

*Методологические основы обеспечения безопасности процессов в техносфере. Сущность противоречий, причины и факторы происшествий на производстве. Классификация объективно существующих опасностей. Объект, предмет, базовые категории и принципы системного исследования, обеспечения и совершенствования безопасности процессов в техносфере. Система обеспечения производственно-экологической безопасности: цель, структура, показатели и критерии оценки качества ее функционирования.*

### **Энергоэнтропийная концепция опасностей**

Решение проблем производственно-экологической безопасности невозможно без принятия единой научно обоснованной методологии, созданной на объективных представлениях о природе, факторах и закономерностях аварийности и травматизма в техносфере. Такая методология должна обосновать выбор объекта, предмета и основных методов исследования и совершенствования безопасности производственных и технологических процессов. Более того, она может стать специфичным инструментарием познания и преобразования действительности в других сферах человеческой жизнедеятельности.

Считается также, что принимаемая методология должна иметь эмпирическую основу в форме проверенной практикой совокупности утверждений и концептуальных высказываний,

используемых при выборе необходимых методов в качестве исходных постулатов и аксиом. Их введение позволяет внести ясность в последующие рассуждения, избежать произвольного толкования используемых терминов, обосновать объект исследования и совершенствования. Такой подход в наибольшей степени обеспечивает истинность принятых предпосылок, а значит, обоснованность и плодотворность основанных на них построений.

При формулировании исходных утверждений, касающихся природы аварийности и травматизма в техносфере, будем исходить из тех представлений, которые были получены ранее в процессе знакомства с рассматриваемой проблемой. Суть этих представлений состоит в сложном, стохастическом характере событий рассматриваемого явления, их причинной обусловленности большим числом факторов, проявляющихся в объективном стремлении энергетических потенциалов к выравниванию, и противодействию им со стороны разного рода защитных механизмов.

Эти идеи соответствуют современным представлениям и позволяют сформулировать энергоэнтропийную концепцию и классификацию объективно существующих в техносфере опасностей.



Иллюстрация природы опасностей

## Тема 2. Опасные природные явления

Эндогенные и экзогенные стихийные бедствия. Вулканическая деятельность, землетрясения, цунами; атмосферные процессы: циклоны (тайфуны, ураганы), смерчи и др., лесные пожары, наводнения. Параметры опасных природных явлений, приводящих к чрезвычайным ситуациям. Климат. Современные климатические модели – основа оценки глобальных изменений состояния окружающей среды.

Опасные геологические явления и процессы.

Опасные гидрологические явления и процессы.

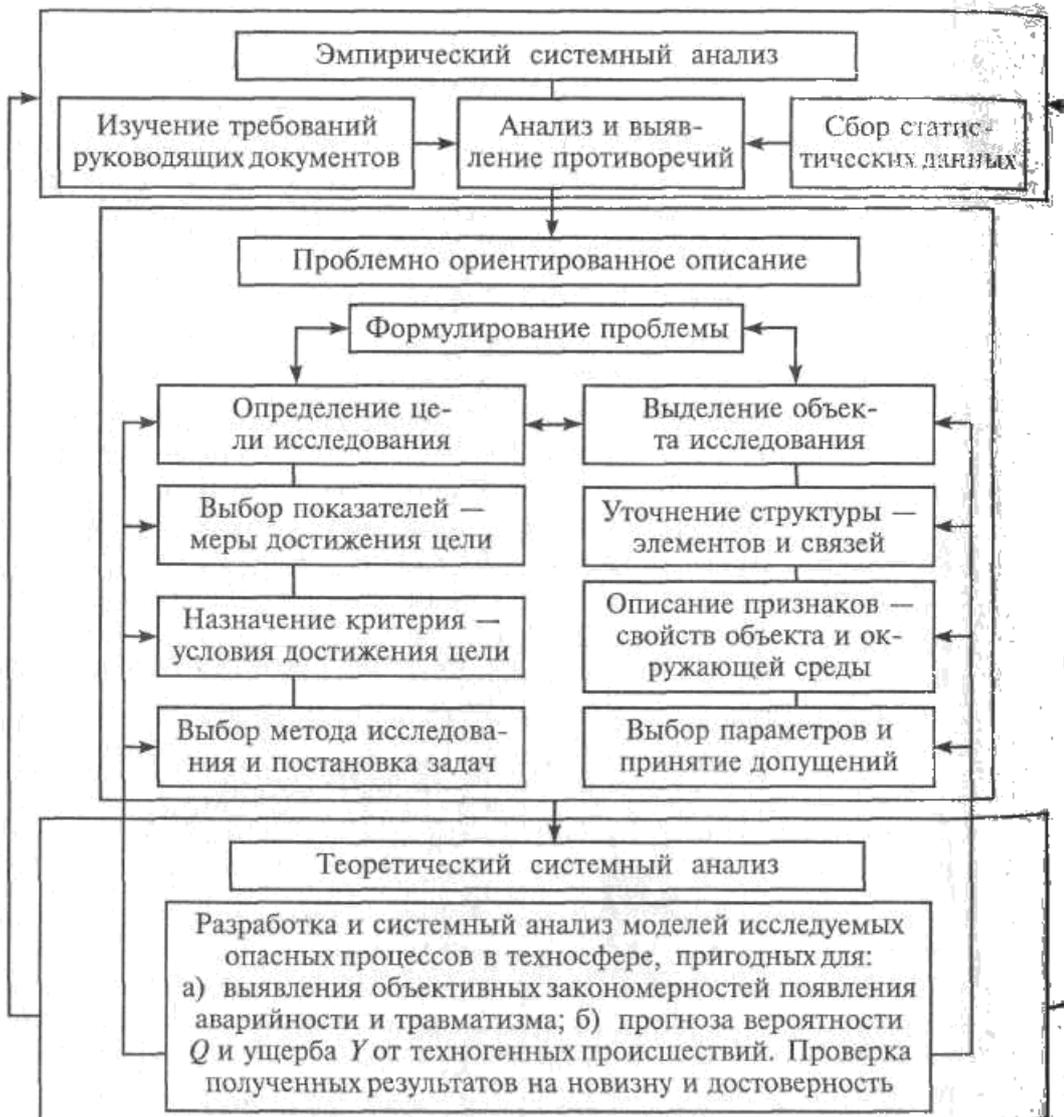
Опасные метеорологические явления и процессы.

Природные пожары.

Аварии на химически опасных объектах.

## Тема 3. Техногенные системы и их воздействие на окружающую среду

Основные принципы системного анализа и моделирования опасных процессов. Структура системного подхода к исследованию опасных процессов в техносфере. Способы формализации и моделирования процесса возникновения происшествий. Особенности представления информации методами теории нечетких множеств. Основные понятия и виды диаграмм причинно-следственных связей. Символы, применяемые при графическом изображении процесса возникновения техногенных происшествий.



## Структура системного исследования безопасности в техносфере

В целом же анализ статистических данных о происшествиях в техносфере выявил следующие закономерности, причины, факторы аварийности и травматизма:

а) аварийность и травматизм при массовом проведении технологических процессов можно (с приемлемым уровнем доверия) интерпретировать как потоки случайных событий, количество которых на ограниченных интервалах времени распределено по закону Пуассона, а время между появлением отдельных происшествий – по экспоненциальному закону;

б) возникновение каждого техногенного происшествия является, как правило, следствием не отдельной причины, а результатом появления цепи соответствующих предпосылок;

в) инициаторами причинных цепей происшествий в технофере служат либо ошибки людей, обусловленные их недостаточной профессиональной подготовленностью к работам на технике, характеризующейся конструктивным несовершенством и опасной технологией ее использования, либо отказы технологического оборудования, вызванные собственно низкой его надежностью, а также возникшие в результате ошибочных действий персонала, либо нерасчетные внешние воздействия на людей и технику со стороны рабочей среды.

*Системный анализ и моделирование с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа "дерево". Характеристика моделей типа "дерево происшествия" и "дерево событий"-его исходов. Общие принципы и правила построения дерева происшествия и дерева событий. Качественный анализ дерева происшествия. Понятие и способы определения минимальных сочетаний исходных предпосылок, их значимости и критичности. Количественный анализ дерева происшествия и дерева событий.*

*Системный анализ и моделирование с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа "граф" и "сеть". Поточковые графы появления аварийности и травматизма на производстве и транспорте. Сетевая модель условий возникновения железнодорожных крушений.*

### **Основные понятия и виды диаграмм влияния**

Как следует из предыдущих рассуждений, основные требования к моделированию опасных процессов в человекомашинных системах заключаются в необходимости учета их особенностей и цели исследования. Применительно к изучению условий появления техногенных происшествий они должны состоять:

- а) из учета лишь наиболее существенных факторов аварийности и травматизма;
- б) сочетания возможностей их описания и оценивания количественных характеристик;
- в) использования таких языков и алгоритмов, которые не велики по алфавиту, достаточны для семантического представления исследуемых категорий и пригодны для средств электронной вычислительной техники.

Наиболее удовлетворяют данным требованиям модели, представляющие процесс появления отдельных предпосылок и развития их в причинную цепь происшествия в виде соответствующих *диаграмм причинно-следственных связей*.

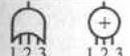
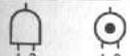
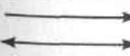
Под диаграммами причинно-следственных связей обычно понимают некоторое формализованное представление моделируемых категорий (объектов, процессов, целей и свойств) в виде множества графических символов (узлов, вершин) и отношений — предполагаемых или реальных связей между ними. Самое широкое распространение в настоящее время получили диаграммы в форме различных графов (либо потоковых состояний и

переходов), деревьев событий (целей, свойств) и функциональных сетей различного предназначения и структуры, в том числе стохастической.

Как показывает опыт применения перечисленных диаграмм влияния, их основными достоинствами являются: высокая информативность представления и описания исследуемых категорий, хорошая наглядность и декомпозируемость, доступность и однозначность понимания пользователем, удобство интерпретации и обработки на средствах вычислительной техники, возможность применения формализованных процедур системного анализа этих моделей и системного синтеза мероприятий по совершенствованию их оригиналов.

Диаграммы влияния как средство формализации опасных процессов, связанных с функционированием человекомашинных систем, занимают особое место, так как позволяют описывать, а затем и оценивать предикаты первого, второго и высших порядков, являющихся соответственно их свойствами, отношения между ними и другими категориями. Это достоинство обусловлено возможностью применять различные языки описания, позволяющие переходить от смысловых моделей к знаковым и использовать последние для анализа и синтеза с помощью современных математических и машинных методов.

Из определения диаграммы влияния следует, что основными компонентами ее структуры служат узлы (вершины) и связи (отношения) между ними. В качестве узлов обычно подразумевают простейшие элементы моделируемых категорий (переменные или константы) – события, состояния, свойства, а в качестве связей – активности, работы и ресурсы. Перечисленные компоненты диаграмм графически представляются в виде тех геометрических фигур, которые приведены в таблице, совместно с их основными характеристиками.

Строка	Символ	Название	Назначение в модели
1		Состояние Событие Свойство	Обозначение существенных элементов объекта (процесса)
2		Исходное или конечное событие	Элементы, не подлежащие дальнейшему анализу
3		Знак «или»	Выход — при наличии любого из входных условий
4		Знак «и»	Выход — при условии одновременно всех входов
5		Стохастический вход и выход	Начало соблюдения условия — с вероятностями $P_1, P_3$
6		Стохастический узел-разветвление	Начальное и конечное условия — с вероятностями $P_1, P_2, P_3$
7		Отношение	Эпизодическое или логическое влияние
8		Связь Влияние	Постоянное одностороннее или двустороннее действие
9		Маркер (фишка) узла сети Петри	Состояние моделируемого процесса или объекта

#### Характеристика символов, применяемых в диаграммах влияния

Переменные в узлах характеризуются фреймами данных – множеством выходов (значений, принимаемых переменными, неизменных во времени и между собой не пересекающихся) — и условными распределениями вероятностей появления каждого из них. Условные распределения приписываются на диаграмме дугам или ребрам, соединяющим

отдельные узлы. В вырожденных случаях вероятностного распределения узел может превращаться в константу, принимающую маргинальное (граничное) значение переменной. Вместо условных распределений допускается использование в диаграммах и отдельных значений, принимаемых переменными.

Одним из достоинств диаграмм влияния, как отмечалось выше, является их легкость сопряжения с другими способами формализации и моделирования. С помощью предварительно построенных диаграмм — графов, сетей и деревьев — могут быть получены, например, математические модели появления аварийности и травматизма. Созданные при этом аналитические модели пригодны для статистического моделирования данного явления и решения задач совершенствования безопасности методами оптимизации. Однако для осуществления перехода от графических моделей к математическим нужна дополнительная символика.

Вот почему переменные и константы, подразумеваемые узлами диаграммы влияния, в последующем будут обозначаться символами, объединенными в такие пять или четыре (в зависимости от их набора) множества:

$U = \{1, 2, 3, \dots, j, \dots, n\}$  — множество узлов или вершин диаграммы;

$N = \{v_1, v_2, v_j, \dots, v_u\}$  — множество переменных, им соответствующих;

$Q_j = \{ \}$  — набор значений, принимаемых  $j$ -й переменной;

$f_j \in F$  — плотность вероятности распределения стохастической переменной  $u$ ;

где  $\Pi$  — функция принадлежности лингвистической переменной.

Для обозначения отношений между переменными (узлами, вершинами) диаграммы влияния также следует использовать соответствующие массивы символов. Эти массивы могут быть представлены следующими образом:

$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots\}$  — множество дуг (ребер), соединяющих узлы  $i$  и  $j$ ;

– вектор дуг предцессоров (выходящих из предшествующих узлу  $j$  и входящих в него);

– вектор дуг саксессоров (выходящих из узла  $i$  и связывающего с последующими);

$r$  – вектор мер возможности или вероятности переходов между  $j$  и  $i$ ;  $f$  – вектор изменений ресурса (затрат средств или времени) при переходе из узла  $i$  в узел  $j$ ;

Введенные обозначения позволяют формализовать и однозначно интерпретировать в последующем конкретный опасный процесс или объект техносферы, представленный диаграммой влияния.

Например, основные характеристики ее узлов (вершин) могут быть выражены таким кортежем  $\langle U, N, Q, F, \_ \rangle$ , а заданные диаграммой отношения или связи между ними  $\langle D, A, B, P, T \rangle$ . В свою очередь, математическое представление всей диаграммы влияния в общем случае может быть выражено такой металингвистической формулой:

$\langle \text{Диаграмма влияния} \rangle ::= \langle U, N, F, ka, D, A, B, P, T \rangle$ .

Охарактеризуем подробнее основные типы диаграмм влияния и проиллюстрируем их с помощью простейших примеров.

Пожалуй, самым известным типом рассматриваемых здесь диаграмм влияния является *граф*, возможность использования которого в исследовательских целях была продемонстрирована еще в 1736 г. Л.Эльером при решении так называемой «задачи о кенигсбергских мостах».

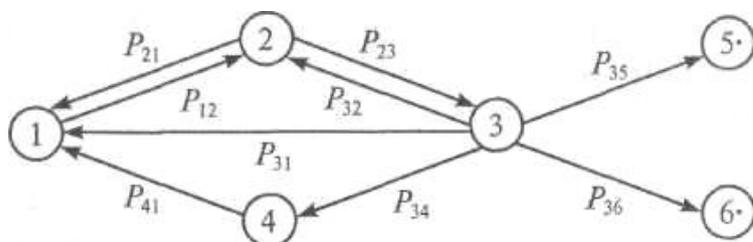
*Графом* называют множество вершин и набор упорядоченных или неупорядоченных их пар, используемых для визуального представления моделируемого процесса.

Упорядоченные пары вершин соединяются дугами, а неупорядоченные (неориентированные) пары – ребрами графа. Признаком упорядоченности пары вершин является изменчивость моделируемых ими характеристик в зависимости от последовательности их попарного рассмотрения. Математическое выражение моделируемого графом процесса может иметь вид следующего кортежа:  $\langle U, N, A, P \rangle$ .

При моделировании условий возникновения происшествий в техносфере ниже будем использовать *ориентированные графы*, характеризующиеся определенным набором состояний рассматриваемой человекомашиной системы и возможными переходами между ними.

Графически состояния исследуемого процесса предъясняются точками, окружностями или другими промаркированными геометрическими фигурами, а переходы между ними – линиями со стрелками на одном конце – так, как это сделано на рисунке.

Если состояния графа не имеют саксессоров или способны временно приостанавливать моделируемый им процесс, то их называют «поглощающие состояния».



Граф смены состояний

Рассматриваемый на данном рисунке процесс возникновения происшествий в человекомашинной системе, например, характеризуется шестью состояниями. Из них первые четыре являются как бы проходными – безопасное, опасное, предаварийное, после-аварийное, а два последние – состояния системы после смертельного несчастного случая и ее состояние после катастрофы, а также девятью переходами с соответствующими вероятностями. Следовательно, исследуемый процесс может быть зарегистрирован как имеющий такие значения введенных нами ранее параметров:

$U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ,  $V = \{\text{вышеприведенные наименования состояний}\}$ ,  $D = \{1-2, 2-1, 2-3, 3-2, 3-1, 3-4, 3-5, 3-6, 4-1\}$ ,

$P = \{P_{21}, P_{23}, P_{12}, P_{32}, P_{31}, P_{34}, P_{35}, P_{36}\}$ .

Другим способом задания исследуемых здесь опасных процессов или объектов может служить использование различных таблиц, матриц и функций. Порядок представления, преобразования, анализа и синтеза графов с помощью матриц истинности, смежности, инцидентий, а также и соответствующих им передаточных или производящих функций моментов подробно описан. Некоторые из указанных выше способов формализации и моделирования процесса появления техногенных происшествий будут проиллюстрированы на конкретных примерах.

В исследованиях по техносферной безопасности, однако, более широкое распространение сейчас получили *диаграммы причинно-следственных связей*, имеющие ветвящуюся структуру и называемые «дерево»\*.

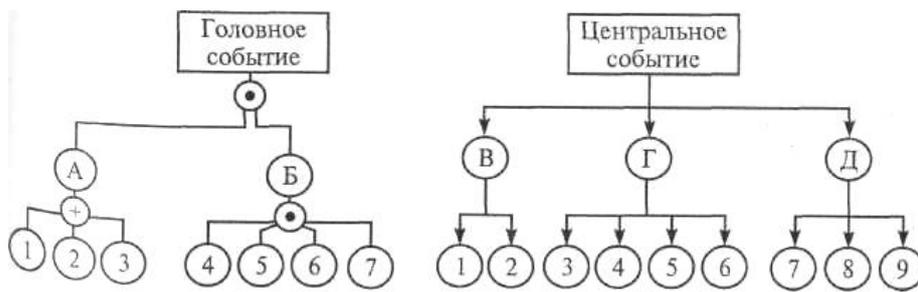
Впервые возможность использования подобных диаграмм влияния для нужд оценки надежности и безопасности для американских ракетных систем «Минитмен» была зарегистрирована Х. Уотсоном в 1961 г.

В настоящее время чаще используются два типа этих диаграмм – *дерево происшествий* и *дерево событий*, каждая из которых представляет собой разветвленный, конечный и связной граф, не имеющий петель.

Семантическая модель типа дерева происшествия (рис. 13.2, а) 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 аварию, несчастный случай или катастрофу, а его «ветвями» служат наборы соответствующих предпосылок, образующие их причинные цепи. Листьями же дерева происшествия служат исходные события-предпосылки (ошибки, отказы и неблагоприятные внешние воздействия), дальнейшая детализация которых нецелесообразна.

Процесс появления конкретного происшествия в техносфере в последующем будет интерпретироваться данной моделью как прохождение некоторого сигнала от каких-либо исходных предпосылок, инициирующих причинную цепь (служащих истоками такого сигнала),

к головному событию, являющемуся как бы его стоком. В качестве промежуточных состояний рассматриваемого дерева применяются предпосылки верхнего и последующих уровней,



Модели диаграмм типа «дерево» о – дерево происшествия; б – дерево событий (его исходов).

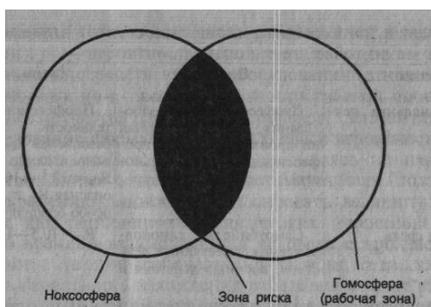
В отечественной литературе встречаются различные интерпретации англоязычных выражений fault tree и events tree. При системном анализе и моделировании опасных процессов в техносфере под ними следует подразумевать соответственно дерево происшествия и дерево событий – последствий какого-либо происшествия.

#### Тема 4. Методология оценки риска

Риск — количественная характеристика действия опасностей, формируемых конкретной деятельностью человека, т.е. число смертных случаев, число случаев заболевания, число случаев временной и стойкой нетрудоспособности (инвалидности), вызванных действием на человека конкретной опасности (электрический ток, вредное вещество,двигающийся предмет, криминальные элементы общества и др.), отнесенных на определенное количество жителей (работников) за конкретный период времени.

Значение риска от конкретной опасности можно получить из статистики несчастных случаев, случаев заболевания, случаев насильственных действий на членов общества за различные промежутки времени: смена, сутки, неделя, квартал, год. «Риск» в настоящее время все чаще используется для оценки воздействия негативных факторов производства. Это связано с тем, что риск как количественную характеристику реализации опасностей можно использовать для оценки состояний условий труда, экономического ущерба, определяемого несчастным случаем и заболеваниями на производстве, формировать систему социальной политики на производстве (обеспечение компенсаций, льгот).

Опасности могут быть реализованы в форме травм или заболеваний только в том случае, если зона формирования опасностей (ноксосфера) пересекается с зоной деятельности человека (гомосфера). В производственных условиях — это рабочая зона и источник опасности (один из элементов производственной среды) (рис. 1.).



Формирование области действия опасности на человека в производственных условиях (для физических (энергетических) травмоопасных (опасных) и вредных производственных факторов)

В производственных условиях различают индивидуальный и коллективный риск. *Индивидуальный риск* характеризует реализацию опасности определенного вида деятельности для конкретного индивидуума. Используемые в нашей стране показатели производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, такие как частота несчастных случаев и профессиональных заболеваний, являются выражением индивидуального производственного риска.

*Коллективный риск* — это травмирование или гибель двух и более человек от воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Классификация источников опасности и уровни риска смерти человека, взятые из литературных источников, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Классификация источников и уровней риска смерти человека в промышленно развитых странах ( $R$  — число смертельных случаев чел<sup>-1</sup> • год<sup>-1</sup>)

ИСТОЧНИК	ПРИЧИНЫ	СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ РИСКА
Внутренняя среда	Генетические и	$R_{cp} = (0,6-1)10^{-2}$

ИСТОЧНИК	ПРИЧИНЫ	СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ РИСКА
организма человека	соматические заболевания, старение	
Естественная среда обитания	Несчастные случаи от стихийных бедствий (землетрясения, ураганы, наводнения и др.)	$R_{cp}=10^{-6}$ - наводнения $R_{cp}=4 \times 10^{-5}$ - землетрясение $R_{cp}=3 \times 10^{-7}$ - грозы $R_{cp}=3 \times 10^{-8}$ - ураганы
Техносфера	Несчастные случаи в быту, на транспорте, заболевания от загрязнения окружающей среды	$R_{cp}=10^{-3}$
Профессиональная деятельность	Профессиональные заболевания, несчастные случаи на производстве (при профессиональной деятельности)	<i>Безопасная деятельность</i> $R_{cp} < 10^{-4}$ . <i>Относительно безопасная деятельность</i> $R_{cp} = (10^{-4} - 10^{-3})$ . <i>Опасная деятельность</i> $R_{cp} = (10^{-3} - 10^{-2})$ . <i>Особо опасная деятельность</i> $R_{cp} > 10^{-2}$ .
Социальная среда	Самоубийства, самоповреждения, преступные действия, военные действия и т.п.	$R_{cp}=(0,5-1,5) \times 10^4$

Использование риска в качестве единого индекса вреда при оценке действия различных негативных факторов на человека начинает в настоящее время применяться для обоснованного сравнения безопасности различных отраслей экономики и типов работ, аргументации социальных преимуществ и льгот для определенной категории лиц.

Достижение некоторого приемлемого индекса вреда риска является, по мнению специалистов в области безопасности труда, не только оценкой безопасности в какой-то одной отрасли промышленности, но и для оценки изменения этого уровня безопасности со временем и при различных условиях труда. Это также важно для количественного установления диапазона риска по всей промышленности в целом так, чтобы безопасность пределов воздействия различных производственных факторов могла быть должным образом оценена в части перспективы профессионального риска вообще, его изменения и сокращения. Ожидаемый (прогнозируемый) риск  $R$  — это произведение частоты реализации конкретной опасности  $f$  на произведение вероятностей нахождения человека в «зоне риска» ( $P_i$ ) при различном регламенте технологического процесса. Эту величину полезно использовать в практической работе предприятия.

$$R = f \prod_{i=1}^n p_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (1.1)$$

где  $f$  — число несчастных случаев (смертельных исходов) от данной опасности чел<sup>-1</sup> • год<sup>-1</sup>, (для отечественной практики  $f=Kч \cdot 10^{-3}$ , т. е. соответствует значению коэффициента частоты несчастного случая деленного на 1000);  $\prod p_i$ , — произведение вероятностей нахождения работника в «зоне риска» ( $p_1$  — вероятность нахождения работника в цехе в течение года (отношение числа рабочих дней в году к общему числу дней в году);  $p_2$  —

вероятность работы человека на производстве в течение недели (отношение числа рабочих дней в недели к числу дней недели);  $p_3$  — вероятность выполнения работником технологического задания непосредственно на оборудовании (отношение времени выполнения задания к продолжительности рабочей смены) и т.п. — т.е. вероятности участия работника в производственной деятельности). Использование формулы (1.1) для оценки вероятности производственного риска удобно тем, что основываясь на имеющихся на производстве данных о частоте несчастных случаев (подлежат обязательному хранению), можно прогнозировать величину возможного риска, так как регламент технологических процессов дает четкие сведения о времени взаимодействия человека с производственными опасностями в течение рабочего дня, недели, года, т.е. позволяет определить вероятность нахождения работника в «зоне риска». Такой прогноз очень полезен при формировании мероприятий по улучшению условий труда на производстве, так как использование формулы (1.1) позволяет определять величины рисков воздействия различных негативных факторов для конкретного технологического процесса производства, проводить оценку значимости каждого фактора с позиции безопасности, что и является основой формирования мероприятий по улучшению условий труда.

#### Приемлемый риск

Это такой низкий уровень смертности, травматизма или инвалидности людей, который не влияет на экономические показатели предприятия, отрасли экономики или государства.

Необходимость формирования концепции приемлемого (допустимого) риска обусловлена невозможностью создания абсолютно безопасной деятельности (технологического процесса). Приемлемый риск сочетает в себе:

- технические,
- экономические,
- социальные и
- политические аспекты

и представляет некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения.

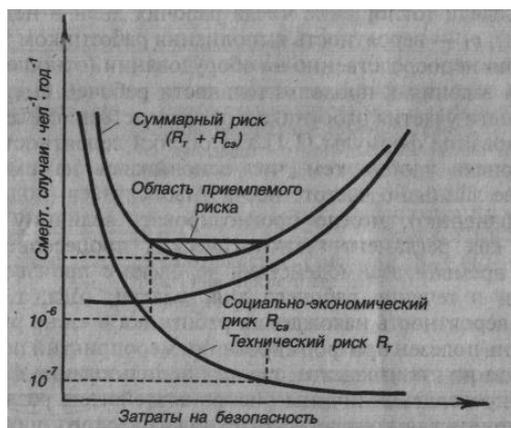
Экономические возможности повышения безопасности технических систем не безграничны. Так, на производстве, затрачивая чрезмерные средства на повышение безопасности технических систем, можно нанести ущерб социальной сфере производства (сокращение затрат на приобретение спецодежды, медицинское обслуживание и др.). Пример определения приемлемого риска представлен на рис. 2. При увеличении затрат на совершенствование оборудования технический риск снижается, но растет социальный. Суммарный риск имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферу. Это обстоятельство надо учитывать при выборе приемлемого риска. Подход к оценке приемлемого риска очень широк. Так график, представленный на рис. 3, в одинаковой мере приемлем как для государства, так и для конкретного предприятия. Главным остается в первом случае выбор приемлемого риска для общества, во втором — для коллектива предприятия экономики. В настоящее время по международной договоренности принято считать, что действие техногенных опасностей (технический риск) должно находиться в пределах от  $10^{-7}$ — $10^{-6}$  (смертельных случаев чел<sup>-1</sup>-год<sup>-1</sup>), а величина  $10^{-6}$  является максимально приемлемым уровнем индивидуального риска. В национальных правилах эта величина используется для оценки пожарной безопасности и радиационной безопасности.

#### Мотивированный (обоснованный) и немотивированный (необоснованный) риск

В случае производственных аварий, пожаров, в целях спасения людей, пострадавших от аварий и пожаров, человеку приходится идти на риск. Обоснованность такого риска определяется необходимостью оказания помощи пострадавшим людям, желанием спасти от разрушения дорогостоящее оборудование или сооружения предприятий.

Нежелание работников на производстве руководствоваться действующими требованиями безопасности технологических процессов, не использование средств индивидуальной защиты и

т.п. может сформировать необоснованный риск, как правило, приводящий к травмам и формирующий предпосылки аварий на производстве.



### Определение приемлемого риска

Понятие «экологический риск» в настоящее время чаще используется в декларативном плане, нежели в смысловом. В большинстве разделов данного пособия речь шла о гигиеническом риске, т.е. риске для здоровья человека пусть даже на уровне групп людей или популяций. По аналогии с этим понятие «экологический риск» можно рассматривать в качестве критерия здоровья экосистем или составляющих их биоценозов. Понятие «экосистема» введено в науку Артуром Тэнсли в 1935 г. Понятие «биогеоценоз» предложено В.Н. Сукачевым в 1942 г. для описания состояния природных сообществ. Однако целенаправленное изучение как свойств экосистем разного уровня, так и протекающих в них процессов началось в 70-е годы XX в. Вначале действие на экосистемы различных факторов (в основном антропогенного происхождения) изучали с помощью традиционных физико-химических методов анализа природных объектов. Со второй половины 70-х годов для оценки состояния отдельных представителей биоты и их популяций стали использовать методы биотестирования и биоиндикации. В то время существовала догма: по самому чувствительному организму той или иной экосистемы можно оценивать ее реакцию на внешнее (например, антропогенное) воздействие. К концу 90-х годов XX в. стало ясно, что чувствительность экосистемы не всецело определяется чувствительностью уязвимого к этому воздействию звена (в виде популяции живых организмов). Отсюда следует, что и оценка риска на экосистемном уровне (т.е. того самого экологического риска) должна представлять собой определенные функции со многими параметрами или даже в многомерном объеме.

В настоящее время для оценки и прогнозирования экологического риска, т.е. риска на уровне экосистем, можно использовать общие критерии оценки гигиенического риска, а потом проводить исследование с учетом специфики оценки состояния биотического сообщества.

Основные положения методологии оценки гигиенического риска:

- идентификация опасности;
- оценка экспозиции;
- установление зависимости «доза (концентрация) — отклик (ответ)»; • анализ факторов, влияющих на точность и достоверность оценки риска. Характеристика неопределенностей; • характеристика и оценка риска;
- управление риском.

За исключением первого и последнего пунктов, когда идентифицируется опасность или когда данные по оценке риска используются при принятии управленческих решений, методологией оценки гигиенического и экологического риска должны отличаться. Рассмотрим

методологию оценки экологического риска, основанную на методах биотестирования и биоиндикации.

Основные усилия как американских, так и европейских экологов в 60—70-х годах XX в. были сконцентрированы на изучении водных экосистем. В то время разработаны и оценены биотические индексы, позволяющие сопоставить биологические показатели водоема с известными шестибалльными гигиеническими шкалами для воды. Существует также подобная шкала загрязнения атмосферного воздуха по содержанию в нем вредных химических веществ. К этой шкале привязана и система биологического определения качества атмосферного воздуха методами лишеноиндикации или нарушения морфологии листовых пластин у сосны. В этом плане разработке методов оценки состояния почвы по биологическим показателям уделялось меньше внимания. Вероятно, это связано с отсутствием общей методологии биотестирования и биоиндикации почв. С середины 1980-х годов возрастает интерес к экологической оценке почвенных экосистем (биоценозов). Постепенно вводится понятие «оценка экологического риска» (ecological risk assessment). Поэтому оценка риска для наземных (terrestrial) экосистем имеет короткую историю.

Основой при определении экологического риска является определение экспозиции (дозы, концентрации), а также оценка наблюдаемых или исследуемых эффектов. Выбор различных стратегий тестирования или оценки качества биоценоза зависит от предполагаемого уровня защиты, а допустимого риска — от его ранжирования: незначительный или серьезный. Следует учитывать проявление токсичности на всех уровнях: (микробного сообщества, низших и высших растений, а также почвенной и водной фауны). Уже неубедительными кажутся утверждения, что по самому чувствительному (по отношению к тому или иному поллютанту или ксенобиотику) компоненту экосистемы можно предсказать судьбу (гибель, болезнь или восстановление) всего биоценоза.

Подходы к определению экологического риска не так отработаны, как для определения риска для человека. На современном уровне исследований их можно условно разделить на три главных направления:

- сравнение данных химического анализа с ПДК того или иного вещества — ксенобиотика или загрязнителя — или с критериями токсичности, например средиелетальной концентрацией. Это наиболее популярный подход в российской гигиенической и токсикологической науке;

- биотестирование образцов воды, почвы или водных вытяжек из почвы. Эта практика широко распространена в развитых странах Европы и Северной Америки и в последнее время начинает утверждаться в России;

- мониторинг биомаркеров загрязнения почвы, биоконцентрирование, выявление индикаторных видов.

Промежуточным звеном между физико-химическими и биологическими показателями состояния экосистем является биодоступность (bioavailability) того или иного химического элемента или соединения для биоценоза или отдельного вида живых организмов: бактерий, грибов, простейших, низших и высших растений, беспозвоночных или позвоночных животных. Поэтому, прежде чем перейти к возможным подходам в оценке экологического риска, кратко рассмотрим понятие «биодоступность» и охарактеризуем его.

Русский аналог термина «bioavailability» имеет более широкий смысл, чем просто биодоступность химических соединений или радионуклидов для отдельных видов живых организмов или биоценозов. Этот термин также можно рассматривать в качестве параметра, необходимого для оценки экологического риска. Биодоступность — это грань или связующее звено между организмами в почве или в воде и их химическим окружением. Например, в почвенных биоценозах почва модифицирует действие тяжелых металлов на организмы; в свою очередь, организмы стараются изменить свое окружение, нивелируя их вредное влияние.

Современное изучение биопригодности металлов по отношению к разным организмам в основном сфокусировано на оценке абиотических параметров. Организмы обычно рассматриваются и моделируются как специальные формы организмов, живущих в почвенных порах. Необходимо также учитывать изменение биопригодности во времени, отражающее процессы старения загрязненных вод или почв. В большей своей части существующие методы биоиндикации и биотестирования основаны на морфологических изменениях. Это определение степени некроза у растений, флуктуирующей асимметрии у животных и растений. Однако эти методы обнаруживают повреждения у растений и животных, как правило, уже на стадии их гибели.

В настоящее время все большее внимание уделяется генетическим и цитогенетическим методам биотестирования и биоиндикации. Формируется новое направление — генетический мониторинг — для оценки качества внешней среды, определения степени риска как следствия ее загрязнения. Такой мониторинг позволяет оценивать экологическую обстановку до появления у растений и животных видимых морфологических изменений, а значит, обеспечивает больший запас времени для принятия мер к их устранению.

## **Тема 5. Принципы обеспечения экологической безопасности**

Методология оценки риска включает следующие этапы:

- идентификация опасности;
- оценка экспозиции;
- установление зависимости «доза—эффект»;
- характеристика и оценка риска;
- анализ факторов, влияющих на достоверность результатов в оценке риска;
- характеристика неопределенностей.

На основании полученных результатов осуществляются управление риском и принятие управленческих решений с использованием данных, полученных при оценке риска. В основном эта методология продемонстрирована для случаев действия вредных химических веществ. В специальный раздел выделена количественная оценка риска стохастических эффектов действия радиации. Подробно рассмотрим эти этапы.

### **Идентификация опасности**

Идентификация вредного экологического фактора или их совокупности основана на качественной оценке неблагоприятных для здоровья человека эффектов действия какого-либо вещества или группы веществ. Идентификация опасности — сложный и многосторонний процесс, требующий анализа разнородной информации, — опирается на экспериментальные токсикологические данные и результаты клинических и эпидемиологических исследований. Если необходимая информация отсутствует, проводят специальные токсикологические исследования или анализ с помощью современных компьютерных технологий зависимостей «химическая структура — биологическая активность».

Идентификация опасности — это процесс установления причинной связи между экспозицией (дозой, концентрацией) химического вещества и частотой или тяжестью неблагоприятных эффектов (летальных или мутагенных) на здоровье людей, выражающихся в виде их гибели, возникновении злокачественных опухолей, уродств и пр. Одни и те же уровни загрязнения окружающей среды дают часто далеко не однозначную реакцию как у населения в целом, так и у одного и того же человека. Теоретически даже незначительные количества биологически активных веществ будут вступать в реакцию с биосубстратами, следовательно, могли бы рассматриваться как действующие.

Основной вопрос заключается в оценке вредности таких реакций: являются ли они действительно вредными или не выходят за пределы колебаний, встречающихся в нормальной жизнедеятельности, поскольку компенсируются механизмом гомеостаза.

Можно предположить, что вероятность неблагоприятного для здоровья эффекта зависит от уровня воздействующей концентрации (или дозы) загрязнителя. В действительности возникает ряд дополнительных моментов.

Оценка воздействия может осуществляться:

по принципу гарантированного отсутствия неблагоприятного эффекта (максимальные недействующие концентрации или дозы), что имеет место при нормировании в объектах среды обитания; по принципу обнаружения начальных признаков токсического эффекта (минимальные действующие концентрации или дозы), что имеет место при нормировании в производственной среде.

Между порогами, определенными этими способами, находится зона неопределенности, размер которой различен для разных веществ. Дозозависимая реакция организма обычно определяется экспериментально на уровне достаточно высоких, явно действующих доз, а оценка реального уровня загрязнения осуществляется методом экстраполяции. В то же время знание о характере поведения таких веществ на уровне малых доз часто является не результатом научного доказательства, а следствием принятия той или иной научно-теоретической концепции.

Понятие «экспозиция», или «доза химического вещества», не имеет четких критериев. Однако в самом общем случае очевидно, что действующая концентрация вещества может сама меняться со временем, т.е.  $C = C(t)$ . Тогда доза, или экспозиция химического вещества, является сложной функцией времени:

$$D = \int f(t) dt.$$

Опасность — это общее понятие; оно не должно зависеть от специфики местных условий. Опасность обусловлена механизмом взаимодействия химического соединения с живым организмом, его клетками и тканями. Напротив, химический риск — результат как фактического, так и возможного воздействия химического соединения. Но если нет экспозиции (воздействия), то не будет риска, независимо от степени опасности химического соединения. Таким образом, если опасность — это общий признак или характеристика взаимодействия вещества с организмом (или биологической системой), риск — это специфический признак той ли иной частной ситуации.

Идентификация опасности включает сбор и оценку данных о типах повреждения здоровья или тех заболеваниях, которые могут быть вызваны действием химического вещества, а также об условиях экспозиции, провоцирующих их развитие. Этот этап включает характеристику поведения химического вещества в организме человека и его взаимодействия с клетками, тканями и органами. Основной вопрос, решаемый на данном этапе оценки риска, — установление вероятности того, что обнаруженные в эксперименте с животными вредные эффекты данного соединения будут наблюдаться и у человека.

На этапе идентификации опасности должны быть окончательно определены конечные задачи проекта, выявлены и проранжированы все проблемные области и сформирована группа исследователей, которая будет участвовать в оценке риска. Данная группа должна состоять из менеджера проекта, специалистов в области токсикологии, эпидемиологии, санитарной гигиены и химии. Желательно включить в эту группу представителей местных органов управления, служб Госсанэпиднадзора и охраны природы. Исследовательская группа должна работать в тесном контакте с общественными организациями, предприятиями и лицами, заинтересованными в конечном результате исследования. При реализации крупных региональных проектов определения риска целесообразно сформировать общественный наблюдательный совет из представителей вышеуказанных организаций. На практике обычно невозможно всесторонне оценить риски для всех загрязняющих веществ в регионе, а также для всех возможных путей их поступления в организм человека. Поэтому оправданным считается снижение числа учитываемых факторов путем сравнительного анализа потенциального риска наиболее приоритетных или опасных веществ. Данный анализ проводится в шесть этапов.

1. Отбор вредных химических веществ наиболее приоритетных или опасных для исследуемого региона.

2. Определение типичных сценариев экспозиции, отобранных для анализа веществ.

3. Расчет потенциальных рисков для этих сценариев с использованием стандартных методов и легкодоступных данных об опасности и зависимостях «доза—эффект».

4. Экстраполяция результатов, полученных для выбранных соединений и сценариев экспозиции, на весь исследуемый регион.

5. Сопоставление канцерогенных и неканцерогенных рисков для различных областей с целью ранжирования факторов, влияющих на здоровье человека.

6. Совместное рассмотрение канцерогенных и неканцерогенных рисков.

Информация, необходимая для идентификации опасности химических веществ, должна включать:

- характеристику физико-химических свойств, определяющих потенциальную опасность, в частности зависимости активности вещества от его химической структуры;

- источники поступления в окружающую среду, пути и характер воздействия;

•фармакокинетические и метаболические свойства, т.е. превращения, которые вещество претерпевает в организме;

•изучение тех продуктов его распада и метаболизма, которые могут обладать более выраженными токсическими свойствами;

•результаты экспресс-анализов — краткосрочных опытов на животных или на специальных бактериях или культуральных клетках человека и животных с целью быстрой оценки мутагенных или канцерогенных свойств вещества;

•результаты долгосрочных опытов на животных;

•исследования эффектов действия на человека;

•данные эпидемиологических исследований.

Перечислим преимущества и недостатки различных источников информации о вредном действии химических веществ. Эпидемиологические исследования

Преимущества:

•реальные условия воздействия;

•исследования на людях;

•углубленный анализ всех вредных эффектов.

Недостатки:

•высокая стоимость и длительность исследований;

•трудность определения реальной экспозиции;

•проблема наличия смешанного воздействия;

•необходимость обследования больших контингентов для обнаружения риска;

•измеряемые эффекты, как правило, грубые — явная патология, смертность.

Контролируемые клинические исследования

Преимущества:

•условия воздействия хорошо определены и контролируемы;

•прямые измерения реакций у человека;

•возможность исследований чувствительных субпопуляций астматиков, гипертоников, так называемых специальных групп риска;

•возможность измерения сравнительно ранних предпатологических изменений.

Недостатки:

•высокая стоимость;

•сравнительно низкие уровни и краткие сроки воздействия;

•обследуемые группы, как правило, небольшие, менее 50 человек;

•краткосрочные, слабые и обратимые эффекты;

•наиболее восприимчивые группы не подходят для исследований.

Токсикологические опыты на животных

Преимущества:

•контролируемые условия воздействия и возможность манипулирования ими;

•возможность регистрации многих типов реакций;

•контролируемое питание в условиях содержания;

•возможность изучения зависимости от пола, возраста, характера питания.

Нейстатки:

•неопределенность сопоставления реакций на действие химических агентов у человека и животных;

•уровни воздействия и временные факторы часто не соответствуют таковым у человека.

Охарактеризуем полнее особенности перечисляемых источников информации идентификации риска. Степень доказательств имеющихся в распоряжении эпидемиологических данных оценивается анализом соответствия контрольных и опытных групп, длительности воздействия, погрешности исследования, уровня неопределенностей. О последнем факторе в дальнейшем речь пойдет специально.

Убедительность причинных связей между воздействием и эффектами на здоровье человека должна быть подтверждена отсутствием явных ошибок в планировании и проведении исследований, учетом в анализе фактора случайности. К мешающим факторам относятся все условия или неучитываемые переменные, могущие вызвать тот же эффект, что и изучаемый химический агент.

Клинические исследования или описание случаев заболевания имеют важное значение. Например, первые сведения, что бензол может вызывать лейкемию у людей, получены из клинических наблюдений. Однако в целом они редко являются определяющей частью информации, используемой при идентификации опасности химического вещества.

Большее значение имеют данные токсикологических экспериментов на животных. При анализе результатов исследований на животных обращают внимание на число и исходные характеристики используемых видов животных, длительность воздействия, число экспериментов, в которых выявлено вредное действие данного вещества. Наиболее убедительными являются эксперименты, проведенные на многочисленных видах животных, многократные эксперименты, воздействие на разные ткани, высокая частота или необычность наблюдаемых реакций, статистическая значимость экспериментов, существование определенной зависимости «доза—эффект», явная дозовая зависимость обнаруженного эффекта вредного действия, например сокращение продолжительности жизни или образование опухолей. В токсикологических экспериментах принято считать: если смертельные дозы для обычно используемых в опытах четырех типов лабораторных животных (мыши, крысы, морские свинки, кролики) различаются незначительно (по токсикологическим меркам меньше чем в три раза), существует высокая вероятность (более 70%) того, что для человека эти дозы в удельном выражении будут столь же эффективны [15].

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; он (аспект) предусматривает:

сбор и анализ данных об источниках загрязнения исследуемой территории; определение вредных факторов и путей их воздействия; выбор наиболее приоритетных химических веществ-загрязнителей.

Рассмотрим подробнее каждый из этих пунктов.

Сбор и анализ Данных об источниках заарязнения исследуемой территории. На этапе идентификации опасности еще не ставится задача оценки экспозиции. Тем не менее для правильного выбора исходных моментов для анализа опасности химического вещества в зависимости от путей и продолжительности воздействия экологу или гигиенисту необходимо сформулировать ожидаемые сценарии для производственного и/или селитебного воздействия: установить, где располагаются источники загрязнения окружающей среды и места воздействия химических веществ на человека, какие популяции и субпопуляции населения могут подвергаться воздействиям. Важно определить, какие вещества и какими путями (ингаляционно, перорально или перкутанно — через кожу), из каких объектов окружающей среды (питьевая вода, воздух, продукты питания, почва) могут поступать в организм. На данном этапе желательно составить полный перечень всех химических веществ, потенциально способных воздействовать на группы людей. Для каждого из этих соединений следует указать возможные места воздействия, пути поступления в организм и вероятные объекты окружающей среды, из которых вредное вещество может поступать в организм человека. Основные этапы данного раздела работы:

- 1) разработка перечня исследуемых веществ;
- 2) разработка нового или оценка существующего плана сбора проб из объектов окружающей среды и составление протоколов аналитических исследований;

- 3) составление соответствующих таблиц с данными о пробах, их химическом составе;
- 4) удаление непригодных для количественной оценки данных в соответствии с принципами статистики;
- 5) установление пределов значений для следовых и расчетных концентраций;
- 6) оценка потребностей в дополнительном сборе проб;
- 7) представления, анализ и обобщение данных о пробах.

При первом посещении обследуемой территории выясняются наиболее важные ее особенности — топография и гидрогеология, животный и растительный мир, использование земли и виды человеческой деятельности.

Эколог составляет обзор истории данной территории, осуществляет анализ ее промышленного и сельскохозяйственного потенциала, описывает жилую застройку. По результатам первого посещения обследуемой территории определяется перечень потенциальных путей воздействия, соответствующих главным объектам окружающей среды — почве, грунтовым водам, водоемам, воздуху, биоте, растениям, грибам и возможным обменам веществ между различными средами и организмами.

Задача данного этапа — определение исследуемой зоны — той области, которая должна быть изучена при оценке риска для здоровья человека. Рассматриваемая в данном случае зона — это не только конкретное место загрязнения, но и районы, в которые загрязнение может мигрировать с воздухом, с грунтовыми или поверхностными водами. В результате воздействию данного поллютанта могут подвергнуться люди, проживающие на достаточно большом расстоянии от источника загрязнения.

В процессе предварительной оценки человеческих популяций или групп людей (когорт) следует определить возрастные, социальные, половые группы, которые подвергаются вредному воздействию и для которых в дальнейшем предполагается оценить риски для здоровья. Например, для сценария воздействия загрязняющего вещества на район города или поселок такими популяциями (или когортами) могут быть дети в возрасте до 5 лет и от 6 до 17 лет, взрослые от 18 лет до 40, беременные женщины или люди, зарегистрированные с сердечно-сосудистыми заболеваниями в местной поликлинике или медсанчасти. В зависимости от концентрации вредного вещества и продолжительности его воздействия может меняться как вероятность, так и тяжесть неблагоприятных реакций в организме человека. Поэтому уже на том этапе оценки риска следует уточнить временной отрезок экспозиции. Выбранные когорты людей или целые популяции необходимо охарактеризовать по предполагаемой продолжительности воздействия тех или иных конкретных химических веществ.

Определение вредных агентов, возможных механизмов и путей их воздействия. Процедура оценки риска не всегда последовательный, поэтапный процесс. Более типичной в практическом отношении является ситуация, когда конечный результат может быть получен в процессе постоянного углубления и уточнения накопленной информации на каждом из этапов.

На этапе идентификации опасности потенциальная вредность химических соединений связана с вероятными путями воздействия; зависимости «доза—эффект» определяются маршрутами веществ в организме человека и местами (органами) воздействия.

Химическое соединение может проникать в организм человека:

- через желудочно-кишечный тракт (перорально) с пищей и питьевой водой;
- при вдыхании воздуха (ингаляционно);
- через кожу (перкутанно).

Полное описание пути экспозиции, связывающее источник загрязнения окружающей среды с человеком, включает в себя:

- источник поступления химического вещества в окружающую среду;
- транспорт по определенному механизму в другой регион или экосистему;
- расположение точек контакта человека с указанием путей воздействия: поглощение, ингаляция или кожная абсорбция.

Экспозиция химического вещества может быть прямой или опосредованной. При прямой экспозиции человек подвергается воздействию той среды, в которой исходно находится химическое вещество. Например, это вдыхание загрязненного воздуха внутри помещения. Возможны случаи более сложной, опосредованной экспозиции, когда связь между объектами среды обитания и путем поступления вещества неочевидна. В табл. 5.1 приведены вероятные пути воздействия потенциально опасного химического вещества при разработке предварительного сценария экспозиции в условиях селитебной и производственной среды.

Ключевым моментом на этапе идентификации опасности — организация отбора проб объектов окружающей среды для установления концентраций загрязняющих веществ. Желательно, чтобы специалисты, оценивающие риск, участвовали в составлении плана отбора проб воды, воздуха в изучаемой зоне и могли быть уверены, что данные о количестве вещества в пробах собраны правильно и пригодны для последующего определения риска. Необходимо убедиться в достоверности полученных знаний о концентрациях. Однако этот вариант не всегда возможен. В таких ситуациях в отчете необходимо описать использованный план отбора проб:

- число и тип взятых проб;
- соответствие образцов экологической истории исследуемой зоны: ранее существовавшим источникам загрязнения, изменению в характере землепользования;
- являются ли пробы систематическими;
- характеризуют ли отобранные пробы весь диапазон возможных колебаний концентраций химических веществ в различных частях исследуемой зоны, и особенно участки с высокими концентрациями загрязняющего вещества.

Необходимо оценить соответствие применявшихся методик сбора химических данных действующим методическим указаниям и стандартам. Все сведения о собранных пробах вносятся в соответствующие таблицы для каждого объекта окружающей среды: почвы, донных отложений, грунтовых вод, поверхностных водоемов, питьевой воды, тканей рыб, атмосферного воздуха, воздуха рабочих помещений и жилых комнат, газовой выделений из почвы.

В таблицах данные следует располагать либо в хронологическом порядке, либо в соответствии с картой отбора проб.

Таблица 5.1

Вероятные пути воздействия потенциально опасного химического вещества или соединения

Пути воздействия	Селитебный сценарий	Производственный сценарий (работники)	Производственный сценарий (посетители промышленной зоны“
Поедание и проглатывание			
Водопроводная вода			
Случайное проглатывание воды и пищи			
Продукты местного производства			

Молочные продукты местного производства			
Рыба из местных водоемов			
Случайное заглатывание почвы			
Случайное заглатывание донных отложений			
Ингаляционное попадание вдыхание			
Ингаляция паров			
Ингаляция аэрозолей			
Ингаляция испарений из водопроводной воды			
Кожная экспозиция пена			
Кожный контакт с поверхностными водоемами			
Кожный контакт с водопроводной водой			
Кожный контакт с почвой			
Кожный контакт с донными отложениями			

«Посетители промышленной (производственной) зоны - лица, периодически посещающие и пересекающие производственную зону.

Известно, что многие вещества имеют множество различных химических и торговых названий. Однако в отчете каждое из соединений должно фигурировать только под одним определенным наименованием. Крайне необходимо унифицировать размерности приводимых в

отчете концентраций химических веществ, например в мг/м<sup>3</sup> для воздуха, в мг/л для воды и мг/кг для почвы и пищевых продуктов. Следует обращать внимание на соответствие результатов измерений чувствительности применявшихся приборов. Если концентрация вещества не определялась, то в соответствующей графе сводной таблицы необходимо указать символ «н.а.», что означает «не анализировали». Если вещество не обнаружено, необходимо указать «и.о.».

Все сведения о химических веществах и их концентрациях вносятся в общий предварительный перечень. Одновременно составляют таблицы для каждой из анализируемых сред. В тех же таблицах приводят сведения о числе анализов и частоте обнаружения вещества, минимальной и максимальной концентрации, средней арифметической и ее 95%-ном доверительном интервале. Стандартная форма такой отчетности приведена в табл. 5.2.

Вместе с данной таблицей по возможности представляют картограммы распределений концентраций загрязняющих веществ. Если в исследуемой зоне обнаруживается пространственная неравномерность содержания химического вещества, присутствуют участки с очень высокими концентрациями («горячие пятна»), необходимо представить сведения о данных участках (с соответствующими концентрациями для каждого участка).

Выбор приоритетных для *исследования* химических веществ. Одной из сложных проблем оценки воздействия факторов окружающей среды является присутствие в ней большого числа химических соединений.

Осуществить полную характеристику рисков для всех химических соединений из-за огромного объема необходимых аналитических исследований невозможно. Поэтому необходимо сфокусировать свое внимание на ограниченном числе

Таблиц 5.2

Итоговая таблица результатов определения концентраций загрязняющих химических веществ

Параметры	Кучаемые вещества		
	Ф енол	Формаль дегид	С винец
Число п об п			
Число обна жений (п'			
Частота обнаружений			
Минимальная концентрация мг/л			
Максимальная концентрация мг/л			
Среднеарифмети ческая конце			
95%-ный доверительный и вал мг/л			

химических веществ, которые в наибольшей степени определяют существующие риски.

При определении приоритетных веществ ориентируются на их токсичность, содержание в объектах окружающей среды и возможность воздействия на человека. Основой для заключения могут служить результаты анализа зависимостей «химическая структура — биологическая активность», данные токсикологических и биомониторинговых тестов, клинических и эпидемиологических исследований.

Кроме того, при выборе приоритетных веществ учитываются наличие и доступность данных, необходимых для оценки риска воздействия конкретных химических веществ, например гигиенических нормативов.

Основными путями воздействия считаются поступление химических веществ с питьевой водой или почвой (заглатывание) и ингаляция загрязненного воздуха.

В формировании химической нагрузки могут участвовать и такие пути воздействия, как абсорбция через кожу при контакте с загрязненными поверхностными водами, почвой и воздухом. Поэтому надо акцентировать внимание на тех путях воздействия, которые явно доминируют в выбранном регионе.

Целесообразно последовательно анализировать общий предварительный список всех химических веществ, выявленных в исследуемой зоне. При отсутствии результатов измерений концентрации вещества во всех средах или ненадежности данных о веществе следует исключать их из последующего анализа, если не существует никаких иных способов оценить уровни их экспозиции.

Общие правила для исключения химических веществ из общего рассмотрения:

обнаружение веществ в небольшом числе проб, в низких концентрациях по сравнению с гигиеническими стандартами; отсутствие выраженной токсичности и подозрений в отношении канцерогенности для человека.

## **Тема 6. Количественная оценка опасных воздействий**

Второй этап — оценка экспозиции, или получение информации о том, с какими реальными дозовыми нагрузками сталкиваются те или иные группы населения. Под оценкой экспозиции понимают процесс измерения количества агента в конкретном объекте среды обитания, находящегося в соприкосновении с 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/кгдень.

Наиболее важные шаги при оценке экспозиции:

- 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, профессионального, социального статуса.

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

При оценке экспозиционных нагрузок принято выделять 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 данные лабораторного мониторинга, 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. При недостаточном числе этих постов затруднительно получить достоверную интерполяцию. В определенной степени эти недостатки можно компенсировать 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; достоверность результатов таких работ во многом определяется квалификацией эксперта.

Расчетные методы позволяют построить полноценную модель загрязнения объекта окружающей среды с возможностью ее оценки в любой точке изучаемого пространства. Точность расчетов зависит от качества исходной информации и точности выбранной модели. В настоящее время существует большое количество разнообразных прикладных программ, которые реализуют на компьютере различные математические модели. С помощью Интернета найдены упоминания о более чем 90 моделях, реализованных в настоящее время.

Наиболее активно 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 России нормативная методика онд-86.

В качестве итога выполнения второго этапа оценки риска, как правило, следует рассматривать расчет среднесуточной дозы (AID) или поступления.

Стандартное уравнение для расчета среднесуточной дозы или среднесуточного поступления имеет следующий вид:

$$ADD(I) = (CR \cdot ED \cdot EF) / (BW \cdot AT \cdot 365),$$

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 усреднения экспозиции, лет; 365 — число дней в году.

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.

### Установление зависимости «доза—эффект»

Оценка зависимости «доза—эффект» отражает количественную связь между уровнем воздействия и возникающими в результате этого вредными эффектами в состоянии здоровья. При оценке риска определяются два типа вредных эффектов: канцерогенный и неканцерогенный.

**Канцерогены** — это соединения, индуцирующие опухоли после длительного времени хронического воздействия при оценке риска в течение всей жизни. Канцерогены не имеют уровня, ниже которого они были бы безопасны для здоровья, т.е. не обладают порогом действия (беспороговые эффекты).

Неканцерогены — это вещества, вызывающие остальные неблагоприятные изменения в состоянии здоровья, в частности повышение уровней заболеваемости и смертности, которые могут быть обусловлены как кратковременным (острым), так и длительным (хроническим) воздействием. Неканцерогенные эффекты включают:

раздражающее действие на дыхательную систему; различные общетоксические эффекты (токсичность для печени, почек и других жизненно важных органов); изменения состояния ЦНС; нарушение репродуктивной функции и смерть.

Как и в случае канцерогенов, оценка потенциальной опасности и токсичности веществ, не обладающих канцерогенным действием, осуществляется по результатам эпидемиологических и экспериментальных исследований.

При оценке риска принимается во внимание, что канцерогены вызывают риск только при превышении порогов или безопасных уровней воздействия. Такие пороговые дозы в США Агентство по охране окружающей среды обозначает как референтные дозы или концентрации — RFD или RFC.

Расчеты референтных доз или концентраций основываются на экспериментальных или натуральных исследованиях с определением NOAEL или LOAEL, т.е. уровня необнаруживаемого вредного эффекта и минимального обнаруживаемого вредного эффекта, соответственно, с использованием различных коэффициентов запаса (коэффициентов неопределенности). Количественное определение референтной дозы зависит от факторов неопределенностей (коэффициентов запаса), имеющих величину от 1 до 10. RFD вычисляется делением установленных NOAEL или LOAEL на соответствующий коэффициент запаса. Чаще всего коэффициенты запаса вводятся с целью учета различной межвидовой чувствительности при переходе от животных к человеку; внутривидовой индивидуальной чувствительности (разграничение чувствительности между наиболее уязвимыми и здоровыми в популяции);

недостаточной длительности воздействия в эксперименте; перехода от пороговой к недействующей концентрации; недостаточности и качества экспериментальных данных и т.д. Описание современной методологие обоснования RFD (RFC) дает Американское агентство по охране окружающей среды (EPA US).

Потенциальная способность канцерогенного действия оценивается двумя путями.

Первый путь базируется на эпидемиологических данных, согласно которым может быть установлена статистически достоверная связь между химическим воздействием и увеличением числа случаев рака. Хотя этот метод наиболее адекватен и точен, эпидемиологические исследования требуют наличия большого объема данных, существенного увеличения наблюдаемых уровней заболеваемости раком по сравнению с фоновыми уровнями и точной информации о воздействии. Эти исследования затрудняются другими сопутствующими факторами (неправильное питание, курение и другие вредные привычки), могущими исказить корреляции между химическим воздействием изучаемого вещества и числом случаев онкологических заболеваний.

Вследствие отсутствия данных длительных наблюдений на людях для оценки канцерогенного эффекта обычно используют экспериментальные исследования на животных (чаще всего на мышах, крысах) в течение длительного времени, обычно в течение всей жизни животного. К заключению о том, что химическое соединение может представлять канцерогенную опасность для человека, приходят на основании установленного увеличения числа опухолей у животных опытной группы по сравнению с контрольной. На основе анализа как экспериментальных, так и имеющихся сведений о канцерогенности вещества разработаны классификации, подразделяющие химические вещества по степени канцерогенной опасности. Общеприняты классификации, предложенные Международным агентством по изучению рака в Лионе (МАИР) и Американским агентством по охране окружающей среды (EPA). Согласно этим классификациям химические канцерогены подразделяются на шесть групп: от группы А, объединяющей вещества с доказанным канцерогенным действием на человека, до группы Е, включающей веществ, для которых доказано отсутствие канцерогенности.

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 условиях зависимость «доза—время—эффект» выражается следующим уравнением [16]:

$$E = E_m \cdot \exp[-k C \cdot (t - t_{\text{равн}})],$$

где  $E$  — токсический эффект при данной концентрации и данном времени воздействия;  $E_m$  — максимальный эффект;  $p$  — стехиометрический коэффициент биологической реакции;  $K$  — константа скорости лимитирующей реакции;  $t$  — общее время воздействия ксенобиотика;  $t_{\text{равн}}$  — время установления равновесия между концентрациями ксенобиотика во внешней среде и в организме;  $A$  — 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 ту специфичность. Для практического применения системы оценки риска пользуются более простыми формулами. Основные из них следующие.

1. Линейная или линейно-экспоненциальная модель:

$$\text{Risk} = \text{UR} \cdot \text{C} \cdot t, \quad (5.4)$$

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-\text{UR} \cdot \text{C} \cdot t),$$

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); определяется экспертными методами при статистическом анализе экспериментального или медико-статистического материала, полученного различными авторами в сравнимых ситуациях.

Следует отметить, что выражение (5.4) справедливо, если коэффициент UR мал либо малы концентрации (дозы).

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

$$\text{Risk} = \text{nc} - \text{ct},$$

где H — функция Хевнсайда ( $H(x) = 0$  при  $x \leq 0$  и  $H(x) = 1$  при  $x > 0$ ); C — концентрация воздействия; Cт — пороговая концентрация.

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

$$\text{Risk} = \frac{1}{1 + \exp(-a + b \lg(C))}$$

где C — воздействующая концентрация; а и b — эмпирические коэффициенты.

Выбор модели зависит от той концептуальной системы, которая принята для оценки риска. На территории России применяются следующие нормативные технологии:

- система гигиенического регламентирования (система предельно допустимых концентраций);
- международные технологии, в основном разработанные в Американском агентстве по охране окружающей среды;
- методы оценки риска, основанные на отечественных принципах гигиенического регламентирования вредных факторов окружающей среды, частных моделях и результатах эпидемиологических исследований. система ПДК;

- принцип пороговости распространяется на все эффекты неблагоприятного воздействия;
- соблюдение норматива (ПДК и др.) уменьшает вероятность отсутствия неблагоприятных для здоровья эффектов;
- превышение норматива может вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты, при этом до последнего времени отсутствовал практический механизм определения конкретной формы этих эффектов и их количественного выражения.

В качестве примера приведем подходы к оценке загрязнения атмосферного воздуха, основанные на санитарно-гигиенических нормативах. Основные примеси, разрешенные к использованию и выбросу в атмосферу, обеспечены соответствующими медико-экологическими регламентами (ПДК). Если содержание вредных примесей не превышает указанные регламенты, это расценивается как ситуация, при которой риск неблагоприятных для здоровья эффектов отсутствует. Когда этот риск имеет место быть, вычисляется суммарный показатель загрязнения (P), а степень медико-экологического неблагополучия оценивается в соответствии с данными табл. 5.3.

### Таблица 5.3

Оценку загрязнения атмосферного воздуха

Оценка загрязнения воздуха	Величина индекса P при числе веществ, загрязняющих воздух
----------------------------------	--

Допустимая				
Слабая				
Умеренная				
Сильная				> 20 — 40
Очень сильная				

Международная практика (в соответствии с подходом EPA US).

Принцип пороговости распространяется на все виды неканцерогенного воздействия; нормирование качества среды осуществляется в соответствии с референтными концентрациями для каждого вида воздействия. Референтная концентрация химического вещества расценивается как безопасная по риску неканцерогенного воздействия, а превышение ее опасно с точки зрения возникновения эффектов неканцерогенного (общетоксического) действия.

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

для примера рассчитаем канцерогенный риск при содержании хлороформа в питьевой воде на уровне 1 мг/л, используя методику Американского агентства по охране окружающей среды. В соответствии с этой методикой 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 за 3 л, средний вес человека — 70 кг. Ежедневно в этих условиях человек потребляет с питьевой водой хлороформ в дозе (ОД):

ADD —  $3 \text{ л} \cdot 1 \text{ мг/л} / 70 \text{ кг} = 0,043 \text{ мг/кг}$ . В официальных материалах EPA, доступных в Интернете, приводится следующая информация (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Ветчины для оценки риска и стандарты для хлороформа (Нф«ер юиссифжации CAS 67-66-3)

Наименование оцениваемых величин	Значения	Единицы измерения	Ссылка
Величина для расчета потенциального канцерогенного ингаляционного риска	0,019	кгдн мг	CRICA R
Величина для расчета потенциального неканцерогенного ингаляционного риска (референтная)	300	мкг/ м	ОЕНН AR.EL

концентрация			
Национальный стандарт на содержание в воздухе	Отсутствует		
Величина для расчета потенциального канцерогенного риска перорального		кг•день/мг	CRICA R
Величина для расчета потенциального неканцерогенного перорального риска (референтная доза)	0,01	мг/кг•день	IRISHE AST
Национальный стандарт в питьевой воде		мг/л	SDWA MCL

Величина риска при использовании линейной модели: **Risk**- 0,031 • 0,043 - 0,00133.  
При использовании экспоненциальной модели значение аналогично:

$$\text{Risk} = -\exp(-0,031 \cdot 0,043) - 0,00133. \quad (5.10)$$

Это равноценно 1330 дополнительным случаям заболеваний раком на миллион человек, постоянно подверженных такой дозе.

Возможна оценка риска комплексного и комбинированного 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, имеющего номер классификации CAS 7440-38-2, приводится следующая информация (табл. 5.5).

таблица 5.5

Величины для оценки риска и стандарты для мышьяка

Наименование рассматриваемых величин	Значения	Минимумы изменения	Ссылка
Величина для расчета потенциального канцерогенного ингаляционного риска	12	кг•день/мг	CRIC AR

Величина для расчета потенциального неканцерогенного ингаляционного риска с «пная концепция»	3	0,0 мкг/м	ОЕНН AREL
Национальный стандарт на содержание в воде	Отсутствует		
Величина для расчета потенциального канцерогенного перорального риска		кг•день/мг	IRISH EAST
Величина для расчета потенциального неканцерогенного перорального риска с «пная доза»	003	0,0 мг/кг•день	IRISH EAST
Национальный стандарт в питьевой воде	5	0,0	SDWA MCL

В соответствии с подходами Американского агентства по охране окружающей среды [17] определяем дозу мышьяка, поглощаемую из воздуха (ADD): вес человека (ВЧО — 70 кг; средний объем ежедневно вдыхаемого воздуха (ТЮ — 22 м<sup>3</sup>; концентрация мышьяка в воздухе (С) — 0,0001 мг/м<sup>3</sup>.

$$ОД = С \cdot ДАВ / \text{вру} = 0,0001 \cdot 22/70 = 0,0000314 \text{ мг/кг.}$$

Определяем дозу мышьяка, поглощаемую с питьевой водой (ADDd). Вес человека (ВЧО — 70 кг; средний объем ежедневно потребляемой воды (ТЮ — 3 л; концентрация мышьяка в воде (С) — 0,5 мг/л.

$$ADDd = mv \cdot c / \text{вру} = 0,5 \text{ мг/л} / 70 \text{ кг} = 0,0214 \text{ мг/кг.}$$

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

$$Risk = RiskA + RiskW = 0,0000314 \cdot 12 + 0,0214 \cdot 0,000377 = 0,0321 - 0,0325.$$

Это равноценно 32 500 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).

Методы оценки риска, основанные на отечественных принципах гигиенического регламентирования вредных факторов окружающей среды, частных моделях и результатах эпидемиологических исследований. Вводится понятие индекса относительного условного риска (Risk).

Данный подход разработан профессором СМ. Новиковым (НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина). Принимая во внимание сложность и многоаспектность понятий «опасность» и «риск», дадим их определения в контексте настоящей методики. Под условной опасностью понимается степень возрастания вероятности (риска)

развития неблагоприятных эффектов и их выраженности (т.е. медико-биологической и социальной значимости, тяжести) в случае определенного превышения ПДК в течение заданного промежутка времени. Условной эта опасность названа потому, что ее оценка ограничена имеющимися в настоящее время данными о вредных эффектах, вызванных исследованными концентрациями химических веществ. В отличие от принятой в стандартной методике оценки риска показателей потенциальной опасности рассматриваемое понятие отражает тяжесть последствий воздействия загрязнителей в зависимости от кратности превышения ПДК. Ниже под термином «условный риск» понимается некая функция, интегрально отражающая вероятность и тяжесть возможных биологических ответов на воздействие загрязнителя атмосферного воздуха. Рассматриваемая методика основана на следующих исходных положениях.

- Опасность для здоровья, обусловленная превышением ПДК, (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. Расчет относительного условного риска (Risk):

$$\text{Risk} = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}$$

или

$$\text{Risk} = a + b \lg(C_i / \text{ПДК}_i)$$

где  $C_i$  - фактическая концентрация  $i$ -го загрязнителя при  $c_p = 0$ ;  $a = -\lg(\text{ПДК}_i)$ ;  $b$  — показатель угла наклона зависимости «концентрация — условный риск», интегрально характеризующий опасность, связанную с превышением ПДК.

- Степень возрастания опасности при превышении ПДК определяется углом наклона графика зависимости риска от уровней воздействия (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 нулевой уровень относительного риска ( $R = 0$ ) приняты эффекты действия химического вещества в концентрации, не превышающей ПДК. Эффект воздействия концентрации, соответствующей порогу хронического действия при круглосуточной ингаляции, принят равным 1/5. Воздействие концентрации на уровне ПДК<sub>рз</sub> (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 использована построенная по вышеприведенным точкам зависимость «концентрация — условный риск (эффект)». При построении графиков в координатах  $R, - \lg(C_i / \text{ПДК}_i)$  для приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха практически во всех случаях получены линейные зависимости риска от логарифма отношения концентрации к ПДК. При трактовке полученных величин индекса риска пользуются ранговой шкалой (табл. 5.6).

Расчет вероятности рефлекторных реакций (как правило, ощущение запаха и другие органолептические эффекты) проведен на основе использования отечественной нормативной базы предельного содержания вредных веществ в объектах окружающей среды.

Данный подход нормативно закреплён в методических рекомендациях «Комплексная гигиеническая оценка степени

Таблица 5.6

Ранговая шкала величин индекса риска

Тяжесть эффектов	Относительный словный индекс
Смертельные эффекты	
Тяжелые эффекты	
Поговые эффекты	
Тяжелые хронические эффекты	
Поговые хронические эффекты	
Реакции сечуп вствительных по п	
Уровни минимального ист	

напряженности медико-экологической ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами среды обитания населения». Методические рекомендации утверждены главным санитарным врачом России 30 июля 1997 г. № 2510/5716-97-32. Этот подход 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 как факт 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 в экспериментах используется беспороговая модель интенсивности нарастания тех или иных эффектов при увеличении уровня воздействия, а норматив определяется как вероятностная величина.

При нормировании допустимого содержания вредных примесей, обладающих рефлекторным эффектом, для атмосферного воздуха обосновывается ПДК<sub>р</sub>, служащая для предупреждения развития немедленных токсических эффектов. В соответствии с [18] ПДК<sub>р</sub> определяется как  $E_{СК} / K$ ,

где  $E_{СК}$  — концентрация вещества, принятая в качестве пороговой при однократном воздействии и вызывающая токсический (рефлекторный, раздражающий и др.) эффект с вероятностью 16%;  $K$  — коэффициент запаса, определяемый в соответствии с углом наклона графика зависимости «концентрация—эффект», который на логарифмически-пробитной секе аппроксимируется прямой.

Значения  $K$  и тангенса угла наклона графика служат основанием для отнесения рассматриваемого вещества к одному из четырех классов опасности. В табл. 5.7 представлены величины указанных параметров в соответствии с классом опасности.

Таблица 5.7

Численные значения коэффициента  $K$ , и угла наклона графика зависимости «доза (концентрация) — эффект»

Класс опасности	$K$ ,	$K\alpha$ , градусы
	50	От 71 и выше
2-й	40	От 62 и выше
3-й		От 43 и выше
4-й	15	043

\* Угол наклона графика зависимости «концентрация—эффект» ( $\alpha$ ) при отнесении веществ к различным классам опасности.

Для математического описания зависимости «концентрация—эффект» применима модель индивидуальных порогов, которая 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. Соответствие пробитов и вероятности эффекта показано в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Таблица нормально-вероятностного распределения

Prob п бит	Risk иск	Prob п обит	Risk иск
			0,540
	0,006		0,579
-2,0	0,023		
-1,9	0,029	0,4	0,655
		05	0,692
	0,045	06	0,726
-1,6	0,055	07	
-1,5	0,067	08	0,788
-1,4	0,081		
	0,097	1 0	0,841
			0,864
-1,1	0,136	1 2	0,885
		1 3	0,903
-0,9			0,919
	0,212		0,933
	0,242	1 6	0,945

-0,6			0,955
	о 309	1 8	о 964
	о 345	1 9	
-0	о 382	20	о 977
	0,421	25	0,994
-0,1	0,460		0,999
	0,50		

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

$$Y = a + b \cdot X.$$

для конкретизации этого уравнения применительно к нормативам атмосферного воздуха следует принять во внимание, что коэффициент  $b$  - это тангенс угла наклона графика зависимости «концентрация-эффект», коэффициент  $a$  - это логарифм концентрации с эффектом действия -  $EC_{0.01}$ , который, соответственно, может быть определен как

$$\lg EC_{0.01} = (\operatorname{tg}(\alpha) \lg K_0) - 1.$$

Для прогнозирования риска возникновения рефлекторных эффектов при загрязнении атмосферного воздуха для химических веществ всех четырех классов опасности используются формулы:

$$1\text{-й класс РТБ} - + 11,66 \lg (\text{сдджмр}), \quad (5.17)$$

$$2\text{-й класс АоБ} - -5,51 + \quad (\text{сдджмр}), \quad ($$

$$3\text{-й класс АоБ} - -2,35 + 3,73 \lg (\text{суджм} \cdot p), \quad ($$

$$4\text{-й класс АоБ} - -1,41 + 2,33 \lg (\text{БСДДКмр}). \quad (5.20)$$

Пример. Требуется определить вероятность возникновения рефлекторных реакций при концентрации сероводорода в воздухе  $0,028 \text{ мг/м}^3$ . Сероводород относится ко 2-му классу опасности, ПДКмр —  $0,008 \text{ мг/м}^3$ .

$$\text{Prob} = -5,51 + 7,49 \lg(0,028/0,008) = -1,435. (5)$$

Полученное значение Prob находится между  $-1,5$  и  $-1,4$ , что соответствует вероятности  $0,075$ . Таким образом, при обнаружении в воздухе сероводорода в концентрации  $0,028 \text{ мг/м}^3$  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, нормированных по органолептическому воздействию. 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: интенсивность ощущения в баллах пропорциональна логарифму концентрации вещества.

Уравнение расчета риска развития неблагоприятных органолептических эффектов:

$$\text{Prob} = -2 + 3,32 \lg (\text{концентрация вещества/ПДК}). \quad (5.22)$$

В ряде случаев этот риск помогает оценить потребность в дополнительных ресурсах питьевой воды при залповом загрязнении источника примесями, придающими воде неприятный запах и привкус. Так, ПДК фенола в питьевой воде составляет  $0,001 \text{ мг/л}$ , при кратковременном увеличении его концентрации до  $0,003 \text{ мг/л}$  риск появления запаха составляет:

$$\text{РТБ} = -2 + 3,32 \lg(0,003/0,001) = -0,416, \text{ что соответствует риску } 0,34.$$

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

Вероятностная (беспороговая) модель неканцерогенного риска при хроническом воздействии на основе использования отечественной нормативной базы предельного содержания вредных веществ в объектах окружающей среды. Данный подход 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 усредненных (как минимум за год) концентрациях.

Так, в случае экспериментального обоснования 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». Для практического использования этой модели при фиксированном времени воздействия (в случае хронического воздействия это средняя продолжительность жизни человека) применяют упрощенные формулы:

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-I \cdot c), \quad (5.23)$$

где Risk — риск возникновения неблагоприятного эффекта, определяемый как вероятность возникновения этого эффекта при заданных условиях; C — реальная концентрация (или доза) вещества, воздействующая за заданное время; UR — единица риска, определяемая как фактор пропорции роста риска в зависимости от величины действующей концентрации (дозы).

Преобразуем эту формулу для целей расчета риска неспецифической хронической интоксикации (неканцерогенного риска), основываясь на информации о величине усредненной концентрации. Первой отправной точкой служит допущение, что при  $C = 0$  Risk = 0. Вторая отправная точка — информация о том, что пороговая концентрация примеси ( $C_m$ ) связана с нормативом (ПДК) через коэффициент запаса (Щ):

$$c_{jt} = \text{ПДК} \cdot \text{кз}. \quad (5.24)$$

Коэффициент запаса при нормировании примесей в питьевой воде составляет 10, для пестицидов — до 100. При нормировании примесей атмосферного воздуха предлагается принимать значения коэффициентов в зависимости от класса опасности — для веществ 1-го класса опасности — на уровне 7,5, 2-го класса — 6, 3-го класса — 4, 5-го и 4-го классов — 3.

Пороговой считается минимальная концентрация, при которой в условиях эксперимента в опытной группе 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. Это проявление адаптационных процессов и также должно расцениваться, как различные фазы интоксикации. Известно, что первые достоверные изменения показателей, характеризующих состояние организма, возникают, когда они затрагивают примерно 1670 испытуемых. При хроническом воздействии примеси на уровне пороговой концентрации (дозы) риск проявления неспецифических токсических эффектов составляет 1670 (или 0,16 в долях единицы). Таким образом, уравнение расчета риска принимает вид:

$$\text{Risk} = -\exp(\ln(1-0,16) \cdot C / (\text{пдккз})) \quad (5.25) \text{ или}$$

$$\text{Risk} = -\exp(\ln(0,84) \cdot (C/\text{пдк}))^b. \quad (5.26)$$

Значения коэффициента b, позволяющего оценивать изоэффективные эффекты примесей веществ различных классов опасности, должны быть приняты для веществ 1-го, 2-го, 3-го и 4-го классов на уровне соответственно 2,35, 1,28, 1,00 и 0,87.

Пример. Определить 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 2-му классу опасности ( $B = 1,28$ ,  $k = 6$ ),  $\text{пдк}_{\text{ср}} = 0,1 \text{ мг/м}^3$ .

$Risk = \exp(\ln(0,84)(0,4/0,1)^{1,28}/6) = 0,157$ .

Методики, рекомендуемые Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ).

В соответствии с инструктивными документами ВОЗ в настоящее время можно оценивать риск возникновения различных эффектов по индивидуальным моделям для:

- взвешенных веществ;
- диоксида азота;
- диоксида серы;
- оксида углерода.

Таким образом, суть третьего этапа оценки риска применительно к практической деятельности врача-гигиениста 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.

## Тема 7. Методы снижения экологического риска

Предполагается, что система оценки риска в конце концов будет использована при управлении состоянием окружающей среды и позволит (уже позволяет) определить последствия воздействия различных химических веществ на человека и экосистемы. Адекватная оценка антропогенного (и природного) риска должна обеспечивать управленческую стратегию устойчивого развития России.

Оценка риска — это направление гигиенических (а возможно, и экологических) исследований, основанное на выявлении и прогнозировании вероятности неблагоприятного воздействия на население экосистемы вредных химических веществ.

Существующая и широко используемая в России система гигиенической регламентации содержания вредных веществ в окружающей среде в принципе не противопоставляется методологии оценки риска, а соотносится с ней. На самом деле, как одна (система ПДК и классов опасности веществ), так и другая (система рисков) процедура оценки безопасности (или наоборот, опасности) химических веществ состоят из семи этапов:

- 1) идентификация опасности;
- 2) оценка экспозиции;
- 3) установление зависимости «доза—ответ»;
- 4) анализ факторов, влияющих на точность и достоверность оценки риска; характеристика неопределенностей;
- 5) характеристика и оценка риска;
- 6) управление риском; использование данных по оценке риска при принятии управленческих решений;
- 7) взаимодействие с общественностью.

Численная оценка риска, выраженная в виде безопасной концентрации химического вещества в объектах окружающей среды (в воздухе, воде или пище) в единицу времени (ПДК) в системе оценки риска, эквивалентна или адекватна референтной дозе (RfD). RfD следует принимать во внимание и правильно трактовать при использовании в сфере предупредительного санитарного надзора, например при проектировании совместных (с европейцами или американцами) предприятий или применении новых технологий.

Создаваемая компьютерная информационно-моделирующая система (Республика Беларусь по оценке риска воздействия вредных химических веществ на здоровье человека и на биоту основана на современном подходе к оценке опасности для здоровья токсинов (пестицидов, тяжелых металлов) и канцерогенов, содержащихся в виде примесей в атмосферном воздухе, питьевой воде, продуктах питания. Эту систему можно использовать для комплексной оценки риска.

Оценка риска системной токсичности и дополнительной смертности от раковых заболеваний проводится на основе расчета экспозиционной дозы, т.е. количества вредного химического вещества, поступающего в организм человека за определенный промежуток времени. В этом случае используются количественные данные по оценке отклика организма на экспозиционную дозу. Эти данные содержатся в открытой электронной базе данных IRIS (Integrated Risk Information System) EPA [13].

Принципиальное отличие системы ПДК от системы рисков состоит в том, что при оценке риска используют концепцию беспорогового действия канцерогенов. По данным клеточной онкологии, даже небольшие количества ряда химических веществ вызывают мутации на клеточном уровне, что может привести к злокачественной трансформации клеток.

Беспороговая концепция больше относится к веществам с канцерогенной активностью. При оценке токсичности принимают, что незначительные экспозиционные дозы (концентрации) химического вещества вреда здоровью человека не наносят. Организм, как известно, сопротивляется им с помощью адаптивных, компенсационных и гомеостатических механизмов. В этом случае для оценки риска вводится ряд параметров — своеобразных маркеров риска, позволяющих оценивать опасность появления симптомов токсичности при кратковременной, продолжительной либо хронической экспозиции для разных групп населения, например для взрослых и детей.

Оценка риска проводится с обязательным указанием экспозиционного маршрута химического вещества: перорального, ингаляционного или аппликационного. Разработаны экспозиционные уравнения для следующих моделей: ингаляционной, пероральной (для поступления вредного вещества с продуктами питания), для питьевой воды.

Здесь и далее использована аббревиатура EPA US — Американского Агентства по охране окружающей среды (Environmental Protection Agency) как признанная во всем мире.

Количественные данные по оценке риска основаны на как можно большей совокупности медико-биологических данных по воздействию химических веществ на человека и животных с учетом эпидемиологических исследований и медицинской статистики. К настоящему времени имеются сведения о воздействии на здоровье людей более 600 химических веществ, представляющих собой как просто токсины, так и канцерогены антропогенного происхождения.

Для этих веществ существует компьютерная информационно-вычислительная система, состоящая из двух частей:

первая — позволяет пользователю в удобном для него виде ознакомиться со всеми методическими документами по оценке риска, получить доступ к информации о воздействии на здоровье людей разных химических веществ; вторая — позволяет оценивать экспозиционные дозы для различных экспозиционных маршрутов, если известны время воздействия и концентрация действующего вредного вещества, и вычислять реакцию (отклик) на дозу, используя имеющиеся данные.

В результате можно оценить риск дополнительной смертности для канцерогенного вещества или определить опасность возникновения симптомов токсичности для разных групп населения. Для получения подобной информации решают основное экспозиционное уравнение [14]. Экспозиция — это воздействие вредного для здоровья химического или физического агента. Величина воздействия определяется количеством агента, поступающего в организм человека через кожу, легкие или с пищей в течение определенного промежутка времени.

$$E = CC \cdot CR \cdot ED,$$

где  $E$  — величина экспозиции;  $CC$  — концентрация вредного вещества;  $CR$  — скорость поступления вредного вещества;  $ED$  — продолжительность воздействия.

Для оценки степени риска для здоровья при хроническом воздействии канцерогенов или просто химических токсинов на человека применяют основное экспозиционное уравнение:

$$UDE = \frac{E}{L4DE} \quad (4.2)$$

**BW..LT. '**

где  $L4DE$  — ежедневная экспозиция, усредненная по весу тела и продолжительности жизни;  $BW$  — вес тела;  $LT$  — средняя продолжительность жизни.

В некоторых литературных источниках синоним экспозиции — контролируемая доза (administered dose).

Экспозиция — это количество вещества в единицах массы (например, мг) или скорость изменения количества вещества в единицах «масса/время» (например, мг/день), или скорость, нормированная на вес тела (масса вещества на кг массы тела в день (например, мг/кгдень)).

Ежедневная экспозиция — скорость изменения количества вещества, нормированная на массу тела, выражается в мг/кгдень. При численных расчетах и моделировании экспозиционных сценариев  $L4DE$  часто заменяют тождественным термином  $EED$  (estimated exposure dose) — оцененная экспозиционная доза.

Концентрация вредных веществ ( $CC$ ) — концентрация вещества, содержащегося в среде (воздух, вода, почва, пища), взаимодействующей с организмом человека, обусловленная типом экспозиционного маршрута (ингаляционный, пероральный, кожный — перкутанный). Единицы измерения: масса/объем или масса/масса.

Скорость поступления вредного вещества (CR) — количество вредного вещества, поступившего в организм человека в единицу времени. Это количество зависит от маршрута экспозиции и определяется факторами антропогенной и неантропогенной природы: возрастом, полом, профессиональной активностью, рационом и режимом питания. Единицы измерения: масса/время, объем/время.

Продолжительность воздействия (ED) — время, в течение которого вредное вещество поступает в организм и воздействует на орган-мишень с учетом его адаптивных свойств.

Рассмотрим различные модели формирования экспозиционной дозы химического воздействия.

Ингаляционная модель. В этом случае основное экспозиционное уравнение в интегральной форме имеет вид:

$$\text{по } LAIE(ED) = \frac{CC}{LT} \int_0^{ED} k(t) dt, (4.3)$$

**BW(t)**

где LAIE(ED) — ежедневная экспозиция при дыхании, усредненная по массе тела и продолжительности жизни; CC — концентрация вредного вещества во вдыхаемом воздухе; П — скорость циркуляции воздуха через легкие; ВП — вес тела; LT — средняя продолжительность жизни; К — безразмерный коэффициент, определяющий продолжительность экспозиции в единицу времени,  $0 < K < 1$ ; t — время.

Пероральная модель (при потреблении пищи). Интегральное экспозиционное уравнение для этой модели имеет следующий вид:

$$UFIE(ED) = \frac{CC}{LT} \int_0^{ED} ICR(t) dt, (4.4)$$

где UFIE(ED) =

LT ВИЦ»

где LAFIE(ED) — ежедневная экспозиция при потреблении пищи, усредненная по массе тела и продолжительности жизни; CC — концентрация агента в используемых продуктах питания.

При конкретном рационе питания это уравнение можно преобразовать в следующее:

$$UFIE(ED) = \frac{cc \cdot ED}{U \cdot 365} \cdot ICR(A) \cdot BW(A)$$

где LAFIE(ED) — ежедневная экспозиция при потреблении пищи, усредненная по массе тела и продолжительности жизни; CC, мг/кг; ICR — среднесуточный рацион питания по установленному суммарному набору продуктов, г/день; ED — продолжительность воздействия, дни; ВП — масса тела, кг; LT — средняя продолжительность жизни, лет x 365 дней в году.

Модель для питьевой воды. В этом случае интегральное экспозиционное уравнение имеет следующий вид:

$$UDWE(ED) = \frac{CC}{K} \int_0^{ED} WCR(t) dt, BW(t)$$

где LA'DWE(ED) — ежедневная экспозиция при потреблении питьевой воды, усредненная по массе тела и продолжительности жизни; CC — концентрация агента в питьевой воде; WCR — суточное потребление питьевой воды; К — безразмерный коэффициент, определяющий долю загрязненной воды в объеме суточного потребления,  $0 < K < 1$ .

В случае отсутствия эпидемиологических данных, описывающих зависимость «доза — ответ», обычно устанавливают величину пороговой дозы. В США и ряде других стран для характеристики токсических воздействий используются следующие дозы (концентрации).

NOAEL (по observed adverse effect level) — уровень ненаблюдаемости вредного эффекта — экспозиционный уровень, при котором нет статистически или биологически значимых

увеличений частоты неблагоприятных эффектов в экспонированной популяции по сравнению с соответствующей контрольной группой;

LOAEL (lowest observed adverse effect level) — наименьший уровень наблюдаемости неблагоприятного эффекта, т.е. самый низкий уровень экспозиции, при котором наблюдаются статистически или биологически значимые увеличения частоты или тяжести повреждений в экспонированной группе населения по сравнению с соответствующей контрольной группой;

UF (uncertainty factor) — коэффициент неопределенности в процессе определения эталонной дозы (RfD) в эксперименте.

UF предназначен для учета:

- вариаций индивидуальной чувствительности;
- экстраполяции данных межвидового преобразования дозы;
- экстраполяции данных, полученных в исследованиях, в которых время экспозиции было меньшим, чем продолжительность жизни;
- перехода от высоких доз в эксперименте к низким дозам в окружающей среде; неопределенности, связанной с использованием в базе данных значений LOAEL вместо NOAEL.

MF (modifying factor) — модифицирующий коэффициент; вводится при оценке не поддающихся полной корректировке данных с помощью стандартных коэффициентов неопределенности. Значение MF, по умолчанию, равно 1.

Все эти величины характеризуют условную границу воздействия вредного вещества и представляют собой экспозицию, при которой риск для здоровья находится на низком, приемлемом уровне. Однако это не означает, что риск при подобных воздействиях полностью отсутствует и существует полная гарантия безопасности, а превышение границы безопасного воздействия обязательно приведет к возникновению существенного риска. Можно лишь сказать о возрастании в этом случае риска неблагоприятных эффектов.

Референтная доза — показатель токсичности, наиболее часто используемый при оценке неканцерогенных эффектов, обусловленных воздействием загрязняющих веществ.

RfD (reference dose oral) — эталонная (референтная) доза — оценка с неопределенностью, которая охватывает порядок величины ежедневной экспозиции для группы населения (включая чувствительные подгруппы), которая не приводит к заметному риску поражений в течение жизни.

MC (reference concentration inhalation) — эталонная (референтная) концентрация — оценка с неопределенностью, охватывающей возможный порядок величины экспозиции при продолжительном вдыхании агента для группы населения (включая чувствительные подгруппы), которая не приводит к заметному риску токсических поражений в течение жизни.

Таким образом, реакция людей на воздействие загрязнений вследствие вероятностного характера проявления патологических процессов может иметь несколько градаций: риск развития патологии варьирует от 0 до 1.

## Методические рекомендации (указания) к практическим занятиям

### 3. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Воздухообмен в производственных помещениях необходим для очистки воздуха от выделяющихся вредных газов или паров и для удаления излишних водяных паров и избыточного тепла.

В данном разделе рассматривается расчет воздухообмена, потребного для очистки воздуха от вредных газов и паров и для удаления избыточного тепла.

#### 3.1 Расчет воздухообмена для очистки воздуха в жилых и общественных помещениях

Потребный воздухообмен определяется по формуле:

$$Q = \frac{(q \cdot 1000)}{(X_B - X_H)}, \quad (13)$$

где:  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч – потребный воздухообмен;

$q$ , г/ч – количество вредностей, выделяющихся в воздух помещения;

$X_B$ , мг/м<sup>3</sup> – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения;

$X_H$ , мг/м<sup>3</sup> – максимально возможная концентрация той же вредности в наружном воздухе.

Применяется также понятие кратности воздухообмена, которая показывает сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Кратность воздухообмена  $n$  определяется по формуле:

$$n = \frac{Q}{Q_{\text{пом}}} \quad (14)$$

где:  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч - потребный воздухообмен;

$Q_{\text{пом}}$ , м<sup>3</sup> - внутренний объем помещения.

Так как  $X_B$  определяется по табл.17, а  $X_H$  - по ГОСТ 12.1.005-88, то для расчета потребного воздухообмена необходимо в каждом случае определять количество вредностей, выделяющихся в воздух помещения.

Таблица 17 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест

Наименование вредных веществ	Предельно-допустимая концентрация, мг/м <sup>3</sup>	
	максимально-разовая	среднесуточная
Акролеин	0.3	0.1
Амилацитат	0.1	0.1
Ацетон	0.35	0.35
Бензол	2.4	0.8
Бензин (нефтяной малосернистый в пересчете на С)	5.0	1.5
Бутилацетат	0.1	0.1
Динил	0.01	0.01
Дихлорэтан	3.0	1.0
Метанол	1.5	0.5
Метилацетат	0.07	0.07
Марганец и его соединения	0.03	0.01
Мышьяк (неорганические соединения,		

кроме мышьяковистого водорода)	-	0.003
Окись углерода	6.0	1.0
Окись азота	0.3	0.1
Пыль нетоксическая	0.5	0.15
Ртуть металлическая	-	0.0003
Сернистый ангидрид	0.5	0.15
Сероводород	0.008	0.008
Серовуглерод	0.03	0.01
Сажа ( копоть )	0.15	0.05
Серная кислота	0.3	0.1
Свинец и его соединения	-	0.0007
Свинец сернистый	-	0.0017
Стирол	0.003	0.003
Фосфорный ангидрид	0.15	0.05
Фтористые соединения	0.03	0.01
Фенол	0.01	0.01
Хлор	0.1	0.03
Хлористый водород	0.05	0.015

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемая людьми углекислота CO<sub>2</sub>.

Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислоты, выделяемой человеком и по допустимой ее концентрации. Количество углекислоты в зависимости от возраста человека и выполняемой работы и допустимые концентрации углекислоты для различных помещений приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Количество углекислоты, выделяемой человеком при разной работе

Возраст человека и характер работы	Количество CO <sub>2</sub>	
	в л/ч	в г/ч
Взрослые: при физической работе	45	68
при легкой работе (в учреждениях)	23	35
в состоянии покоя	23	35
Дети до 12 лет	12	18

Содержание углекислоты в атмосферном воздухе можно определить по химическому составу воздуха. Однако, учитывая повышенное содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов, следует принимать при расчете содержание CO<sub>2</sub>:

- для сельских населенных пунктов - 0.33 л/м<sup>3</sup>;
- для малых городов ( до 300 тыс. жителей ) - 0.4 л/м<sup>3</sup>;
- для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) - 0.5 л/м<sup>3</sup>.

#### П р и м е р

Определить потребную кратность воздухообмена в жилой комнате для трех человек, если объем комнаты составляет Q<sub>пом</sub>= 70 м<sup>3</sup>.

#### Решение

По таблице 6 определяем количество CO<sub>2</sub>, выделяемой одним человеком q = 23 л/ч.

По таблице 19 определяем допустимую концентрацию CO<sub>2</sub> . X<sub>в</sub> = 1 л/м<sup>3</sup>

Таблица 19 - Допустимые концентрации углекислоты

Наименование помещений	Количество CO <sub>2</sub>	
	в л/м <sup>3</sup>	в г/кг
Для постоянного пребывания людей (жилые комнаты)	1	1,5
Для пребывания детей и больных	0,7	1
Для периодического пребывания людей (учреждения)	1,25	1,75
Для кратковременного пребывания людей	2	3

Содержание CO<sub>2</sub> в наружном воздухе для больших городов принимаем X<sub>н</sub> = 0,5 л/м.

Определяем потребный воздухообмен при числе живущих в комнате = 3.

$$Q = q \cdot n_{л} / (X_{в} - X_{н}) = 23 \cdot 3 / (1 - 0,5) = 138 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Потребная кратность воздухообмена составит:

$$n = Q / Q_{\text{пом}} = 138 / 70 = 2$$

Ответ: кратность воздухообмена n = 2.

### 3.2 Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла.

Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла производится по формуле:

$$Q = \frac{L_{\text{изб}}}{\gamma_{в} \cdot C_{в} \cdot \Delta t} \quad (15)$$

где: Q, м<sup>3</sup>/ч - потребный воздухообмен; Δt

L<sub>изб</sub>, ккал/ч - избыточное тепло;

γ<sub>в</sub> = 1.206 кг/м<sup>3</sup> - удельная масса приточного воздуха;

C<sub>в</sub> = 0.24 ккал/кг·град. - теплоемкость воздуха;

Δt, 5°С - разница температуры удаляемого воздуха и приточного воздуха.

Величина Δt при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха -

L<sub>н</sub>, ккал/м<sup>3</sup>·ч

$$L_{н} = \frac{L_{\text{изб}}}{V_{п}} \quad (16)$$

где: V<sub>п</sub>, м<sup>3</sup> - внутренний объем помещения.

При L<sub>н</sub> < 20 ккал/(м<sup>3</sup>·ч) Δt = 6 5°С, а при L<sub>н</sub> > 20 ккал/(м<sup>3</sup>·ч) Δt = 8 5°С.

Таким образом, для определения потребного воздухообмена необходимо определить количество избыточного тепла по формуле:

$$L_{\text{изб}} = L_{\text{об}} + L_{\text{осв}} + L_{\text{л}} + L_{\text{р}} - L_{\text{отд}} \quad (17)$$

где: L<sub>об</sub>, ккал/ч - тепло, выделяемое оборудованием;

L<sub>осв</sub>, ккал/ч - тепло, выделяемое системой освещения;

L<sub>л</sub>, ккал/ч - тепло, выделяемое людьми в помещении;

L<sub>р</sub>, ккал/ч - тепло, вносимое за счет солнечной радиации;

L<sub>отд</sub>, ккал/ч - теплоотдача естественным путем.

### 3.2.1 Количество тепла, выделяемого оборудованием

$$L_{об} = 860 \cdot P_{об} \cdot \psi_1 \quad (18)$$

где:  $\psi_1$ - коэффициент перехода тепла в помещение, зависящий от вида оборудования;  
 $P_{об}$ , кВт - мощность, потребляемая оборудованием

$$P_{об} = P_{ном} \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3 \quad (19)$$

где:  $P_{ном}$ , кВт - номинальная (установленная) мощность;

$\psi_2$  - коэффициент использования установленной мощности, учитывающий превышение номинальной мощности над фактически необходимой;

$\psi_3$ - коэффициент загрузки, т.е. отношение величины среднего потребления мощности (во времени) к максимально необходимой;

$\psi_4$ - коэффициент одновременности работы оборудования.

При ориентировочных расчетах произведение всех четырех коэффициентов можно принять равным

$$\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3 \cdot \psi_4 = 0,25 \quad (20)$$

### 3.2.2 Определяем количество тепла, выделяемого системой освещения

$$L_{осв} = 860 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos \varphi \quad (21)$$

где:  $P_{осв}$ , кВт - мощность осветительной установки;

$\alpha$  - коэффициент перевода электрической энергии в тепловую; лампы накаливания  $\alpha = 0,92 - 0,97$

лампы люминесцентные  $\alpha = 0,46 - 0,48$

$\beta$  - коэффициент одновременности работы (при работе всех светильников  $\beta = 1$ )

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности ( $\cos \varphi = 0,7 - 0,8$ )

### 3.2.3 Определяем количество тепла, выделяемого людьми в помещении

$$L_{л} = n_{л} \cdot q_{л} \quad (22)$$

где:  $n_{л}$ - количество людей;

$q_{л}$ , ккал/ч - тепловыделения одного человека (таблица 20).

Таблица 20 - Количество тепловыделений одним человеком при различной работе, ккал/ч

Категория работы	Энергозатраты ккал/ч	Количество тепловыделений $q_{л}$ , ккал/ч в зависимости от температуры окружающей среды			
		15°C	20°C	25 °C	30°C
Легкая - I	до 150	100	70	50	30
Средней тяжести-IIа	150-200	100	70	60	30
Средней тяжести-IIб	200 250	110	80	70	35
Тяжелая-III	свыше 250	110	80	80	35

### 3.2.4 Количество тепла, вносимого за счет солнечной радиации

$$L_{р} = m \cdot F \cdot q_{ост} \quad (23)$$

где:  $m$  - количество окон;

$q_{ост}$ , ккал/ч - солнечная радиация через остекленную поверхность (таблица 21);

$F$ , м<sup>2</sup>- площадь одного окна.

Таблица 21 - Солнечная радиация через остекленную поверхность  $q_{ост}$

Вид светового проема	Сторона света и широта, град.															
	ЮГ				ЮГО-ЗАПАД, ЮГО-ВОСТОК				ЗАПАД, ВОСТОК				СЕВЕР, СЕВЕРО-ЗАПАД, СЕВЕРО-ВОСТОК			
	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением и деревянными рамами	110	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
Окна с двойным остеклением и металлическими переплетами	140	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	70
Фонарь с двойным остеклением и металлическими переплетами	130	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

### 3.2.5 Определяем теплоотдачу, происходящую естественным путем

Если нет дополнительных условий, то можно считать ориентировочно, что  $L_{отд} = L_p$  для холодного и переходного периода года (среднесуточная температура наружного воздуха ниже плюс 10°C). Для теплого периода года (среднесуточная температура наружного воздуха выше плюс 10°C) принимаем  $L_{отд} = 0$ .

## 7. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО УРОВНЯ ШУМА НА ОДНОМ ИЗ РАБОЧИХ МЕСТ

Акустический расчет должен производиться в следующей последовательности:

- выявление источников шума и определение их шумовых характеристик;
- выбор точек в помещениях и на территориях, для которых необходимо провести расчет (расчетных точек);
- определение путей распространения шума от источника (источников) до расчетных точек и потерь звуковой энергии по каждому из путей (снижение за счет расстояния, экранирования, звукоизоляции ограждающих конструкций, звукопоглощения и др.);
- определение ожидаемых уровней шума в расчетных точках;
- определение требуемого снижения уровней шума на основе сопоставления ожидаемых уровней шума с допустимыми значениями;
- разработка мероприятий по обеспечению требуемого снижения шума;
- поверочный расчет ожидаемых уровней шума в расчетных точках с учетом выполнения строительно-акустических мероприятий.

Акустический расчет следует проводить по уровням звукового давления  $L$ , дБ, в восьми октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц или по уровням звука по частотной коррекции "А"  $L_A$ , дБА. Расчет проводят с точностью до десятых долей децибела, окончательный результат округляют до целых значений.

В проектах защиты от шума должны быть определены технико-экономические показатели принятых решений.

Используемые в проектах звукоизоляционные, звукопоглощающие, вибродемпфирующие материалы должны иметь соответствующие пожарные и гигиенические сертификаты.

## ИСТОЧНИКИ ШУМА И ИХ ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Основным источником шума в зданиях различного назначения является технологическое и инженерное оборудование.

Шумовыми характеристиками технологического и инженерного оборудования, создающего постоянный шум, являются уровни звуковой мощности  $L_w$ , дБ, в восьми октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63-8000 Гц (октавные уровни звуковой мощности), а оборудования, создающего непостоянный шум, - эквивалентные уровни звуковой мощности  $L_{wЭКВ}$  и максимальные уровни звуковой мощности  $L_{wМАКС}$  в восьми октавных полосах частот.

Шумовые характеристики технологического и инженерного оборудования должны содержаться в его технической документации и прилагаться к разделу проекта "Защита от шума". Следует учитывать зависимость шумовых характеристик от режима работы, выполняемой операции, обрабатываемого материала и т.п. Возможные варианты шумовых характеристик должны быть отражены в технической документации оборудования.

Основными источниками внешнего шума являются транспортные потоки на улицах и дорогах, железнодорожный, водный и воздушный транспорт, промышленные и энергетические предприятия и их отдельные установки, внутриквартальные источники шума (трансформаторные подстанции, центральные тепловые пункты, хозяйственные дворы магазинов, спортивные и игровые площадки и др.).

Шумовыми характеристиками источников внешнего шума являются:

- для транспортных потоков на улицах и дорогах - эквивалентный уровень звука  $L_{AЭКВ}$ , дБА, на расстоянии 7,5 м от оси первой полосы движения (для трамваев - на расстоянии 7,5 м от оси ближнего пути);
- для потоков железнодорожных поездов - эквивалентный уровень звука  $L_{AЭКВ}$ , дБА, и максимальный уровень звука  $L_{AМАКС}$ , дБА, на расстоянии 25 м от оси ближнего к расчетной точке пути;
- для водного транспорта - эквивалентный уровень звука  $L_{AЭКВ}$ , дБА, и максимальный уровень звука  $L_{AМАКС}$ , дБА, на расстоянии 25 м от борта судна;
- для воздушного транспорта - эквивалентный уровень звука  $L_{AЭКВ}$ , дБА, и максимальный уровень звука  $L_{AМАКС}$ , дБА, в расчетной точке;
- для промышленных и энергетических предприятий с максимальным линейным размером в плане до 300 м включительно - эквивалентные уровни звуковой мощности  $L_{wЭКВ}$  и максимальные уровни звуковой мощности  $L_{wМАКС}$  в восьмиоктавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63-8000 Гц и фактор направленности излучения в направлении расчетной точки  $\Phi$  ( $\Phi=1$ , если фактор направленности не известен). Допускается представлять шумовые характеристики в виде эквивалентных скорректированных уровней

звуковой мощности  $L_{\text{шдэзкв}}$ , дБА, и максимальных скорректированных уровней звуковой мощности  $L_{\text{шдмакс}}$ , дБА;

- для промышленных зон, промышленных и энергетических предприятий с максимальным линейным размером в плане более 300 м - эквивалентный уровень звука  $L_{\text{дэзкв.гр.}}$ , дБА, и максимальный уровень звука  $L_{\text{дмакс.гр.}}$ , дБА, на границе территории предприятия и селитебной территории в направлении расчетной точки;

- для внутриквартальных источников шума - эквивалентный уровень звука  $L_{\text{дэзкв}}$  и максимальный уровень звука  $L_{\text{дмакс}}$  на фиксированном расстоянии от источника.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В РАСЧЕТНЫХ ТОЧКАХ

Расчетные точки в производственных и вспомогательных помещениях промышленных предприятий выбирают на рабочих местах и (или) в зонах постоянного пребывания людей на высоте 1,5 м от пола. В помещении с одним источником шума или с несколькими однотипными источниками одна расчетная точка берется на рабочем месте в зоне прямого звука источника, другая - в зоне отраженного звука на месте постоянного пребывания людей, не связанных непосредственно с работой данного источника.

В помещении с несколькими источниками шума, уровни звуковой мощности которых различаются на 10 дБ и более, расчетные точки выбирают на рабочих местах у источников с максимальными и минимальными уровнями. В помещении с групповым размещением однотипного оборудования расчетные точки выбирают на рабочем месте в центре групп с максимальными и минимальными уровнями.

Исходными данными для акустического расчета являются:

- план и разрез помещения с расположением технологического и инженерного оборудования и расчетных точек;
- сведения о характеристиках ограждающих конструкций помещения (материал, толщина, плотность и др.);
- шумовые характеристики и геометрические размеры источников шума.

Шумовые характеристики технологического и инженерного оборудования в виде октавных уровней звуковой мощности  $L_{\text{ш}}$ , скорректированных уровней звуковой мощности  $L_{\text{шд}}$ , а также эквивалентных  $L_{\text{шдэзкв}}$  и максимальных  $L_{\text{шдмакс}}$  скорректированных уровней звуковой мощности для источников непостоянного шума должны указываться заводом-изготовителем в технической документации.

Допускается представлять шумовые характеристики в виде октавных уровней звукового давления  $L$  или уровней звука на рабочем месте  $L_{\text{д}}$  (на фиксированном расстоянии) при одиночно работающем оборудовании.

Октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ, в расчетных точках соразмерных помещений (с отношением наибольшего геометрического размера к наименьшему не более 5) при работе одного источника шума следует определять по формуле

$$L = L_{\text{ш}} + 10 \lg \left( \frac{\chi \Phi}{\Omega r^2} + \frac{4}{kV} \right), \quad (1)$$

где  $L_{\text{ш}}$  - октавный уровень звуковой мощности, дБ;

$\chi$  - коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля в тех случаях, когда расстояние  $r$  меньше удвоенного максимального габарита источника ( $r < 2l_{\text{макс}}$ ) (принимают по таблице 2);

$\Phi$  - фактор направленности источника шума (для источников с равномерным излучением  $\Phi=1$ );

$\Omega$  - пространственный угол излучения источника, рад. (принимают по таблице 3).

$r$  - расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м (если точное положение акустического центра неизвестно, он принимается совпадающим с геометрическим центром);

$k$  - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении (принимают по таблице 4 в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$ );

$B$  - акустическая постоянная помещения,  $\text{м}^2$ , определяемая по формуле

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где  $A$  - эквивалентная площадь звукопоглощения,  $\text{м}^2$ , определяемая по формуле

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^m A_j n_j, \quad (3)$$

$\alpha_i$  - коэффициент звукопоглощения  $i$ -й поверхности;

$S_i$  - площадь  $i$ -й поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$A_j$  - эквивалентная площадь звукопоглощения  $j$ -го штучного поглотителя,  $\text{м}^2$ ;

$n_j$  - количество  $j$ -ых штучных поглотителей, шт.;

$\alpha_{\text{ср}}$  - средний коэффициент звукопоглощения, определяемый по формуле

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{A}{S_{\text{огр}}}, \quad (4)$$

$S_{\text{огр}}$  - суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения,  $\text{м}^2$ .

Таблица 2

$r/l_{\text{макс}}$	$\chi$	$10 \lg \chi$ , дБ
0,6	3	5
0,8	2,5	4
1,0	2	3
1,2	1,6	2
1,5	1,25	1
2	1	0

Таблица 3

Условия излучения	$\Omega$ , рад.	$10 \lg \Omega$ , дБ
В пространство - источник на колонне в помещении, на мачте, трубе	$4\pi$	11
В полупространство - источник на полу, на земле, на стене	$2\pi$	8

В 1/4 пространства - источник в двухгранном углу (на полу близко от одной стены)	$\pi$	5
В 1/8 пространства - источник в трехгранном углу (на полу близко от двух стен)	$\pi/2$	2

Таблица 4

$\alpha_{\text{ср}}$	$k$	$10 \lg k$ , дБ
0,2	1,25	1
0,4	1,6	2
0,5	2,0	3
0,6	2,5	4

Граничный радиус  $r_{\text{гр}}$ , м, в помещении с одним источником шума - расстояние от акустического центра источника, на котором плотность энергии прямого звука равна плотности энергии отраженного звука, определяют по формуле

$$r_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{B}{4\Omega}} \quad (5)$$

Если источник расположен на полу помещения, граничный радиус определяют по формуле

$$r_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{B}{8\pi}} = \sqrt{\frac{B}{25,12}} \quad (6)$$

Расчетные точки на расстоянии до  $0,5r_{\text{гр}}$  можно считать находящимися в зоне действия прямого звука. В этом случае октавные уровни звукового давления следует определять по формуле

$$L = L_{\text{ш}} + 10 \lg \Phi + 10 \lg \chi - 20 \lg r - 10 \lg \Omega \quad (7)$$

Расчетные точки на расстоянии более  $2r_{\text{гр}}$  можно считать находящимися в зоне действия отраженного звука. В этом случае октавные уровни звукового давления следует определять по формуле

$$L = L_{\text{ш}} - 10 \lg B - 10 \lg k + 6 \quad (8)$$

Октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ, в расчетных точках соразмерного помещения с несколькими источниками шума следует определять по формуле

$$L = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^m \frac{10^{0,1L_{\text{ш}i}} \cdot \chi_i \Phi_i}{\Omega r_i^2} + \frac{4}{kB} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{\text{ш}i}} \right) \quad (9)$$

где  $L_{\text{ш}i}$  - октавный уровень звуковой мощности  $i$ -го источника, дБ;

$x_i, \Phi_i, r_i$  - то же, что и в формулах (1) и (6), но для  $i$ -го источника;

$m$  - количество источников шума, ближайших к расчетной точке (находящихся на расстоянии  $r_i \leq 5r_{\text{мкн}}$ , где  $r_{\text{мкн}}$  - расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего источника шума);

$n$  - общее количество источников шума в помещении;

$k$  и  $B$  - то же, что и в формулах (1) и (8).

Если все  $n$  источников имеют одинаковую звуковую мощность  $L_{wi}$ , то

$$10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} = L_{wi} + 10 \lg n. \quad (10)$$

Если источник шума и расчетная точка расположены на территории, расстояние между ними больше удвоенного максимального размера источника шума и между ними нет препятствий, экранирующих шум или отражающих шум в направлении расчетной точки, то октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ, в расчетных точках следует определять:

при точечном источнике шума (отдельная установка на территории, трансформатор и т.п.) - по формуле

$$L = L_w - 20 \cdot \lg r + 10 \cdot \lg \Phi - \frac{\beta_a r}{1000} - 10 \cdot \lg \Omega; \quad (11)$$

при протяженном источнике ограниченного размера (стена производственного здания, цепочка шахт вентиляционных систем на крыше производственного здания, трансформаторная подстанция с большим количеством открыто расположенных трансформаторов) - по формуле

$$L = L_w - 15 \lg r + 10 \lg \Phi - \frac{\beta_a r}{1000} - 10 \lg \Omega, \quad (12)$$

где  $L_w, r, \Phi, \Omega$  - то же, что и в формулах (1) и (7);

$\beta_a$  - затухание звука в атмосфере, дБ/км, принимаемое по таблице 5.

Таблица 5

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\beta_a$ , дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

При расстоянии  $r \leq 50$  м затухание звука в атмосфере не учитывают.

Октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ, в расчетных точках в изолируемом помещении, проникающие через ограждающую конструкцию из соседнего помещения с источником (источниками) шума или с территории, следует определять по формуле

$$L = L_{ш} - R + 10 \lg S - 10 \lg B_n - 10 \lg k, \quad (13)$$

где  $L_{ш}$  - октавный уровень звукового давления в помещении с источником шума на расстоянии 2 м от разделяющего помещения ограждения, дБ; (определяют по формулам (1), (8) или (9));

при шуме, проникающем в изолируемое помещение с территории, октавный уровень звукового давления  $L_{ш}$  снаружи на расстоянии 2 м от ограждающей конструкции определяют по формулам (11) или (12);

$R$  - изоляция воздушного шума ограждающей конструкцией, через которую проникает шум, дБ;

$S$  - площадь ограждающей конструкцией, м<sup>2</sup>;

$B_n$  - акустическая постоянная изолируемого помещения, м<sup>2</sup>;

$k$  - то же, что и в формуле (1).

Если ограждающая конструкция состоит из нескольких частей с различной звукоизоляцией (например, стена с окном и дверью),  $R$  определяют по формуле

$$R = 10 \lg \frac{S}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{10^{0,1R_i}}}, \quad (14)$$

где  $S_i$  - площадь  $i$ -й части, м<sup>2</sup>;

$R_i$  - изоляция воздушного шума  $i$ -й частью, дБ.

Если ограждающая конструкция состоит из двух частей с различной звукоизоляцией ( $R_1 > R_2$ ),  $R$  определяют по формуле

$$R = R_1 - 10 \lg \frac{\frac{S_1}{S_2} + 10^{0,1(R_1-R_2)}}{1 + \frac{S_1}{S_2}}. \quad (15)$$

При  $R_1 \gg R_2$  определенном соотношении площадей  $\frac{S_1}{S_2}$  допускается вместо звукоизоляции ограждающей конструкции  $R$  при расчетах по формуле (13) вводить звукоизоляцию слабой части составного ограждения  $R_2$  и ее площадь  $S_2$ .

Эквивалентный и максимальный уровни звука  $L_A$ , дБА, создаваемого внешним транспортом и проникающего в помещения через наружную стену с окном (окнами), следует определять по формуле

$$L_A = L_{A2м} - R_{A\text{тран.о}} + 10 \lg S_o - 10 \lg B_n - 10 \lg k, \quad (16)$$

где  $L_{A2м}$  - эквивалентный (максимальный) уровень звука снаружи на расстоянии 2 м от ограждения, дБА;

$R_{A\text{тран.о}}$  - изоляция внешнего транспортного шума за окном, дБА;

$S_o$  - площадь окна (окон), м<sup>2</sup>;

$B_n$  - акустическая постоянная помещения, м<sup>2</sup> (в октавной полосе 500 Гц);

$k$  - то же, что и в формуле (1).

Для помещений жилых и административных зданий, гостиниц, общежитий и др. площадью до 25 м<sup>2</sup>  $L_A$ , дБА, определяют по формуле

$$L_A = L_{A2m} - R_{A\text{тран.}} - 5. \quad (17)$$

Октавные уровни звукового давления в защищаемом от шума помещении в тех случаях, когда источники шума находятся в другом здании, следует определять в несколько этапов:

1) определяют октавные уровни звуковой мощности шума  $L_{\text{ш}}^{\text{пр}}$ , дБ, прошедшего через наружное ограждение (или несколько ограждений) на территорию, по формуле

$$L_{\text{ш}}^{\text{пр}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{\text{ш}i}} - 10 \cdot \lg B_{\text{ш}} - 10 \cdot \lg k + 10 \cdot \lg S - R, \quad (18)$$

где  $L_{\text{ш}i}$  - октавный уровень звуковой мощности  $i$ -го источника, дБ;

$B_{\text{ш}}$  - акустическая постоянная помещения с источником (источниками) шума,  $\text{м}^2$ ;

$S$  - площадь ограждения,  $\text{м}^2$ ;

$R$  - изоляция воздушного шума ограждением, дБ;

2) определяют октавные уровни звукового давления для вспомогательной расчетной точки на расстоянии 2 м от наружного ограждения защищаемого от шума помещения по формулам (10) или (11) от каждого из источников шума (ИШ 1 и ИШ 2, рисунок 1). При расчете следует учитывать, что для расчетных точек в пределах  $10^\circ$  от плоскости стены здания (на рисунке 1 - комплексный источник шума ИШ 1) вводится поправка на направленность излучения  $10 \lg \Phi = -5$  дБ.

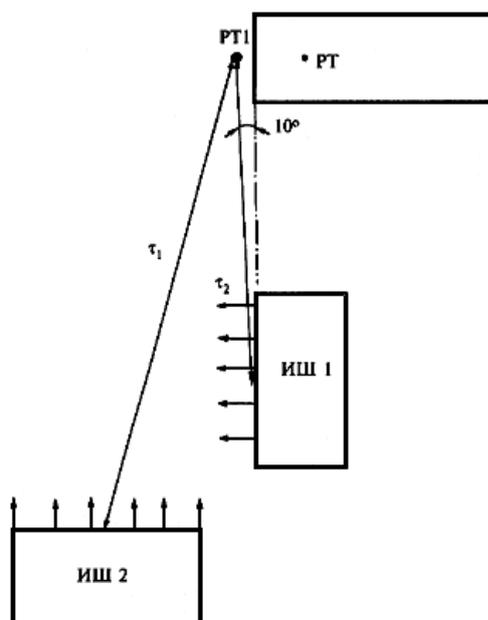
3) определяют суммарные октавные уровни звукового давления  $L_{\text{сум}}$ , дБ, во вспомогательной расчетной точке (на расстоянии 2 м от наружного ограждения защищаемого от шума помещения) от всех источников шума по формуле

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}, \quad (19)$$

где  $L_i$  - уровень звукового давления от  $i$ -го источника, дБ;

4) определяют октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ, в защищаемом от шума помещении по формуле (13), заменив в ней  $L_{\text{ш}}$  на  $L_{\text{сум}}$ .

При непостоянном шуме октавные уровни звукового давления  $L_j$ , дБ, в расчетной точке следует определять по формулам (1), (7), (8), (9), (11), (12) или (13) для каждого отрезка времени  $\tau_j$ , мин, в течение которого уровень остается постоянным, заменяя в указанных формулах  $L$  на  $L_j$ .



РТ - расчетная точка  
 РТ1 - вспомогательная расчетная точка  
 ИШ 1 и ИШ 2 - здания - источники шума  
 Рисунок 1 - Схема расчета

Эквивалентные октавные уровни звукового давления  $L_{\text{ЭКВ}}$ , дБ, за общее время воздействия  $T$ , мин, следует определять по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum \tau_j 10^{0,1 \cdot L_j} \right), \quad (20)$$

где  $\tau_j$  - время воздействия уровня  $L_j$ , мин;

$L_j$  - октавный уровень за время  $\tau_j$ , дБ.

За общее время воздействия шума  $T$  принимают: в производственных и служебных помещениях - продолжительность рабочей смены; в жилых и других помещениях, а также на территориях, где нормы установлены отдельно для дня и ночи, - продолжительность дня 7.00-23.00 и ночи 23.00-7.00 ч.

Допускается в последнем случае принимать за время воздействия  $T$  днем - четырехчасовой период с наибольшими уровнями, ночью - одночасовой период с наибольшими уровнями.

Эквивалентные уровни звука непостоянного шума  $L_{\text{АЭКВ}}$ , дБА, следует определять по формуле (20), заменяя  $L_{\text{ЭКВ}}$  на  $L_{\text{АЭКВ}}$ , и  $L_j$  на  $L_{\text{А}j}$ .

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ ШУМА

Требуемое снижение уровней шума  $\Delta L_{\text{тр}}$ , дБ, в октавных полосах частот или в уровнях звука, дБА, следует определять для каждой расчетной точки, выбранной в соответствии с 7.1. При расчетах шума от транспортного потока улиц и дорог, железнодорожных и трамвайных линий, водного и воздушного транспорта, а также от промышленных зон и отдельных

предприятий требуемое снижение уровней шума определяют в уровнях звука на всех стадиях проектирования.

При расчетах шума на стадии ТЭО на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях и на площадках промышленных предприятий, в расчетных точках помещений жилых и общественных зданий требуемое снижение уровней шума допускается определять в уровнях звука.

Требуемое снижение уровней шума в расчетных точках на стадии рабочего проекта или проекта предприятия, объектов жилищного и гражданского строительства определяют в октавных полосах нормируемого диапазона частот.

Требуемое снижение октавных уровней звукового давления  $\Delta L_{\text{Тр}i}$ , дБ, (или уровней звука  $\Delta L_{\text{АТр}i}$ , дБА) в расчетной точке на территории от каждого источника шума (транспортный поток улиц и дорог, железнодорожный транспорт, внутриквартальный источник шума, промышленное предприятие и т.п.) определяют по формуле

$$\Delta L_{\text{Тр}i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n, \quad (21)$$

где  $L_i$  - октавный уровень звукового давления или уровень звука от  $i$ -го источника, рассчитанный в расчетной точке, дБ (дБА);

$L_{\text{доп}}$  - допустимый октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука, дБА (определяют по таблице 1);

$n$  - общее число источников шума, учитываемых при расчете суммарного уровня в расчетной точке.

Требуемое снижение октавных уровней звукового давления  $\Delta L_{\text{Тр}}$ , дБ, или уровня звука  $\Delta L_{\text{АТр}}$ , дБА, в расчетной точке в помещении следует определять:

а) при одном источнике шума - по формуле

$$\Delta L_{\text{Тр}} = L - L_{\text{доп}}, \quad (22)$$

где  $L$  - октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука от этого источника шума, дБА, рассчитанные в расчетной точке;

$L_{\text{доп}}$  - то же, что в формуле (21);

б) при нескольких однотипных одновременно работающих источниках шума (например, ткацкий цех) - по формуле

$$\Delta L_{\text{Тр.сум}} = L_{\text{сум}} - L_{\text{доп}}, \quad (23)$$

где  $L_{\text{сум}}$  - октавные уровни звукового давления, дБ, или уровень звука в расчетной точке, дБА, рассчитанные по формулам (9) и (10);

$L_{\text{доп}}$  - то же, что в формуле (21);

в) при нескольких одновременно работающих и расположенных группами источниках шума, сильно различающихся по уровням звуковой мощности (более 10 дБ):

- в расчетной точке в центре наиболее шумной группы - по формуле (23), где  $L_{\text{сум}}$  - октавные уровни звукового давления или уровни звука, рассчитанные по формуле (9);  $L_{\text{доп}}$  - то же, что в формуле (21);

- в расчетной точке в центре групп более тихих источников шума - по формуле (23);

г) в помещениях без источников шума по формуле

$$\Delta L_{\text{тр}i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n, \quad (24)$$

где  $L_i$  - октавный уровень звукового давления, дБ, или уровень звука, дБА, рассчитанные отдельно от каждого внешнего источника шума по 7.8;

$n$  - общее число внешних источников шума;

$L_{\text{доп}}$  - то же, что в формуле (21).

На территориях, а также в помещениях, где установлены источники с сильно различающимися уровнями звуковой мощности, заглушение шума следует начинать с наиболее шумных источников.

## Методические рекомендации (указания) к лабораторным занятиям

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие порядок выполнения работ и оборудование к лабораторной работе.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Определение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны

**Цель работы:** ознакомиться с нормированием и методами контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочих зон.

#### Задание к лабораторной работе

Определить содержание вредных веществ в газовой камере лабораторного стенда, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

**Оборудование:** лабораторный стенд “Газовая камера”.

**Измерительные приборы:** газоанализатор УГ-2, психрометр, барометр-анероид.

#### Ход работы

1. Определить содержание вредных веществ в газовой камере лабораторного стенда, проведя не менее трех замеров на каждое из веществ, указанных преподавателем.
2. Одновременно с помощью психрометра и барометра определить параметры микроклимата.
3. Полученные данные занести в протокол (таблица 6).
4. Провести оценку точности измерений и окончательный результат привести к нормальным условиям так, как это указано в ГОСТ 12.1.005—88 (см. Примечание).
5. Проанализировать полученные результаты, определив по ГОСТ 12.1.005—88 класс опасности и ПДК исследуемых веществ, характер их воздействия на организм человека, соответствие полученных результатов требованиям указанного стандарта. Сделать выводы.

При подготовке к работе обратить особое внимание на порядок определения ПДК при совокупном воздействии вредных веществ, в том числе одностороннего действия, изложенный в ГОСТ 12.1.005—88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”.

**Примечание.** (Приведение к нормальным условиям).

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.014—84 “Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками” концентрацию, полученную в ходе проведения замеров, приводят к нормальным условиям (температура 293 К (20°C), барометрическое давление 101,3 кПа (760 мм рт.ст.)) по формуле:

$$C_{пр} = C_{изм} \cdot \frac{760 \cdot (t + 273)}{293 \cdot p} \quad (1)$$

где  $C_{изм}$  - измеренное значение концентрации;  
 $t$  - температура при отборе пробы;  
 $p$  - давление при отборе пробы.

### Отчет по лабораторной работе № 4 “Определение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны”

## Основные понятия

Предельно допустимая концентрация — это

Линейно-колористический метод определения содержания вредных веществ заключается в

**Методика проведения контроля содержания вредных веществ рабочей зоне** (краткое изложение требований к порядку проведения контроля по ГОСТ 12.1.005—88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны” и ГОСТ 12.1.014 “Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками”).

## ПРОТОКОЛ проведения замеров концентрации вредных веществ

Помещение \_\_\_\_\_

Наличие вентиляции \_\_\_\_\_  
(приточная, вытяжная, включена или нет)

Параметры микроклимата в помещении:  
температура \_\_\_\_\_ °С  
влажность \_\_\_\_\_ %  
давление \_\_\_\_\_ мм рт.ст.

Метод определения \_\_\_\_\_

Прибор для взятия пробы УГ — 2

Таблица 6. Результаты замеров концентрации вредных веществ

Номер пробы	Вещество	Объем воздуха, протянутого через аспиратор, л	Интервал времени отбора пробы, с.	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>

Приведение к нормальным условиям:

$C_{пр.н}$

## Выводы

Данное в работе вещество - \_\_\_\_\_, относится к \_\_\_\_\_ классу (наименее

опасности и оказывает на человека преимущественно \_\_\_\_\_ воздействие.

Полученное в ходе исследования значение концентрации \_\_\_\_\_ превышает (ниже) установленную ПДК в \_\_\_\_\_ раз.  
(наименование вещества)

## Вопросы для самоконтроля

1. Каковы возможные последствия воздействия вредных веществ на организм человека?
2. Какие критерии существуют для оценки содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны?

3. Как классифицируются вредные вещества по степени опасности воздействия на организм человека?
4. Как классифицируются вредные вещества по типу воздействия на организм человека?
5. Какая концентрация вредных веществ называется предельно допустимой?
6. Как определяется соответствие ПДК, если в воздухе имеется смесь веществ?
7. Какие существуют методы определения содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны?
8. В чем заключается сущность линейно-колористического метода определения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны?
9. От чего зависит периодичность проведения замеров содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны?
10. Как выбираются точки отбора проб для определения содержания вредных веществ в рабочей зоне?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Исследование запыленности воздуха весовым методом

**Цель работы:** ознакомиться с методикой и приборами, используемыми для исследования запыленности воздуха рабочей зоны.

**Оборудование:** лабораторный стенд ОТ-1 - “Пылевая камера”, имитирующий рабочую зону .

**Измерительные приборы:** аналитические весы, барометр-анероид, стационарный психрометр, секундомер.

#### Задание к лабораторной работе

1. Взвесить нужное количество фильтров (при подготовке к взвешиванию не касаться руками фильтрующего элемента), записать в протокол номер и массу каждого фильтра, вставить первый фильтр в аллонж-пробозаборник.
  2. Собрать все элементы в единую схему: аллонж-резиновая трубка-штуцер.
  3. Включить вентилятор в пылевой камере (для приведения пыли во взвешенное состояние).
  4. Включить aspirator, отрегулировать объемную скорость протягивания воздуха через фильтр.
  5. Вставить аллонж с фильтром в отверстие на передней стенке пылевой камеры. Одновременно с этим включить секундомер, зафиксировать начало отбора пробы.
- Примечание: Во время отбора пробы необходимо следить за постоянством объемной скорости, при необходимости следует подрегулировать ее вентилем.
6. Провести замеры температуры и давления.
  7. По окончании отбора пробы выключить aspirator и секундомер, осторожно вынуть фильтр из аллонжа, сложить вчетверо и взвесить его на весах. В протокол записать массу загрязненного фильтра, температуру и давление воздуха.
  8. Повторить эксперимент с остальными взвешенными фильтрами.
  9. Объем воздуха,  $V$ , прошедший через фильтр, привести к нормальным условиям (т.е. к объему  $V_{np}$ , который он занимал бы при температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении, равном 760 мм рт. ст. по формуле 2).

$$V_{np} = \frac{V \cdot u \cdot \tau \cdot 760 \cdot (t + 273)}{1000 \cdot P_{\phi} \cdot 293} \quad (2)$$

где  $t$  - температура воздуха при отборе проб, °С;  
 $P_{\phi}$  - фактическое барометрическое давление в момент отбора проб, мм рт. ст.;  
 $u$  - скорость отбора пробы, л/мин;  
 $\tau$  - время отбора пробы, мин.;  
1000 - коэффициент перевода литров в кубические метры ( $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$ );  
10. Определить концентрацию пыли в воздухе по формуле

$$C = (m - m_0) / V_{\text{пр}}(5)$$

где  $m$  — масса запыленного фильтра, мг;

$m_0$  — масса чистого фильтра, мг.

Результаты расчета занести в протокол.

11. Проанализировать полученные результаты, сравнив их с требованиями ГОСТ 12.1.005—88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”.  
Сделанные выводы записать в отчет.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите основные источники и свойства пылей, выделяющихся в технологических процессах различных отраслей промышленности.
2. Какое воздействие на организм человека могут оказывать промышленные пыли ?
3. Какие существуют методы контроля запыленности воздуха ?
4. Перечислите коллективные и индивидуальные средства защиты работающих от пыли.

### **ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3 “Исследование запыленности воздуха весовым методом”**

#### ***Основные понятия***

Пыль и ее свойства. ПДК \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

#### ***Нормирование запыленности воздуха***

Содержание пыли в воздухе рабочей зоны нормируется ГОСТ 12.1.005—88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны” в зависимости от

---

---

#### ***Методика проведения контроля за запыленностью воздуха в рабочей зоне***

(Краткое изложение методики из ГОСТ 12.1.005—88 с указанием места, способов, длительности и регулярности проведения замеров).

---

---

---

---

Таблица 7. Приборы контроля запыленности производственной среды

Контролируемый параметр	Приборы	Тип прибора	Погрешность измерения
	Весы		
	Аспиратор		
	Термометр		
	Барометр		

Температура воздуха \_\_\_\_\_ °С,  
 Атмосферное давление \_\_\_\_\_ мм рт.ст.

Таблица 8. Результаты замеров запыленности

№ пп	Масса чистого фильтра $m_1$ , мг	Масса запыленного фильтра $m_2$ , мг	Длительность опыта $t$ , мин	Скорость отбора пробы $u$ , л/мин	Объем протянутого воздуха $V_{пр}$ , л	Вычисленная концентрация пыли $C$ , мг/м <sup>3</sup>	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
1							
2							
3							

Выводы (о степени загрязненности воздуха): \_\_\_\_\_

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3  
 «ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ»

**Цель работы** – ознакомиться с явлением вибрации, её нормированием, аппаратурой для измерения параметров вибрации оборудования и оценить эффективность средств виброзащиты.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Классификация вибрации

Под вибрацией понимают механические колебания упругих тел, характеризующиеся периодичностью изменения параметров. Вибрация возникает при неправильной балансировке валов, шкивов в машинах и станках, воздействии динамических нагрузок, при работе машин и механизмов ударного действия, например, прессов, ткацких станков, пневматического инструмента и др.

Воздействие вибрации на человека-оператора классифицируется:

- по способу передачи вибрации на человека;
- по направлению действия вибрации;
- по временной характеристике вибрации.

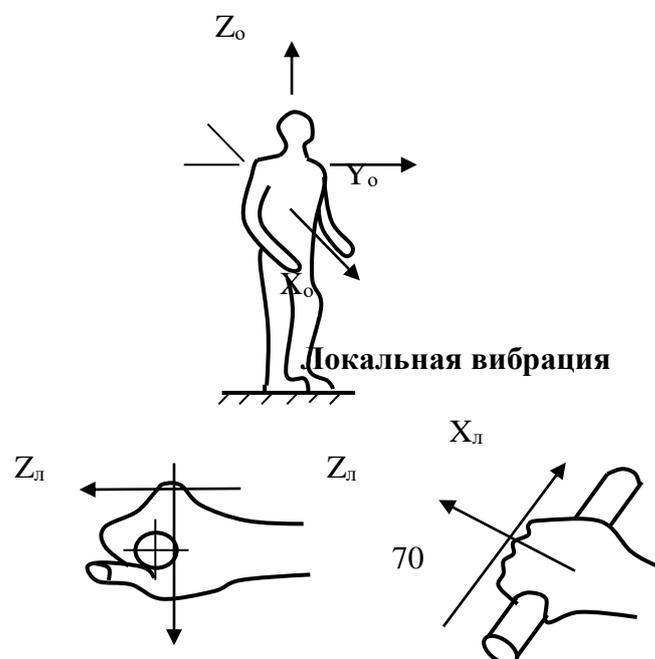
По способу передачи на человека различают общую и локальную вибрации. Общую вибрацию передает через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека. Локальная вибрация передается через руки человека. Вибрация, воздействующая на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующей поверхностью рабочего стола, может быть отнесена к локальной.

По направлению действия вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат. Для общей вибрации направления осей  $X_o$ ,  $Y_o$ ,  $Z_o$  и их связь с телом человека показаны на рис. 1а. Ось  $Z_o$  – вертикальная, перпендикулярная к опорной поверхности; ось  $X_o$  – горизонтальная от спины к груди;  $Y_o$  – горизонтальная от правого плеча к левому. Для локальной вибрации направление осей  $X_l$ ,  $Y_l$ ,  $Z_l$  и их связь с рукой человека показаны на рис. 1б. Ось  $X_l$  совпадает или параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, ложемента, рулевого колеса, рычага управления, обрабатываемого изделия, удерживаемого в руках). Ось  $Z_l$  лежит в плоскости, образованной осью  $X_l$  и направлением подачи или приложения силы, и направлена вдоль оси предплечья. Ось  $Y_l$  направлена от ладони. Вибрационная нагрузка на оператора нормируется для каждого направления действия вибрации.

По временной характеристике различают:

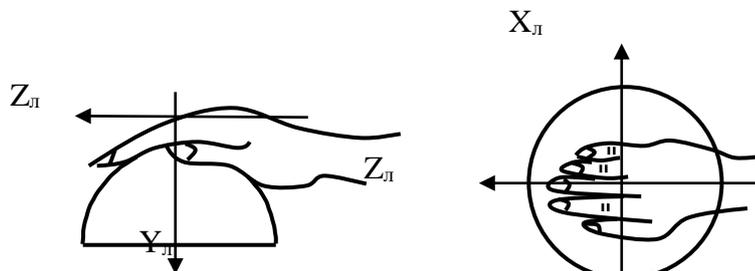
- постоянную вибрацию, для которой спектральный или скорректированный по частоте контролируемый параметр за время наблюдения изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ);
- непостоянную вибрацию, для которой эти параметры за время наблюдения изменяются более чем в 2 раза (на 6 дБ).

### Направление координатных осей при действии вибрации. Общая вибрация



$Y_{л}$

При охвате цилиндрических, торцевых и близких к ним поверхностей



При охвате сферических поверхностей

Рисунок 1 - Направления действия вибрации

## 1.2 Показатели вибрационной нагрузки и нормирование вибрации

Показателями вибрационной нагрузки на оператора являются:

- виброускорение (виброскорость);
- диапазон частот;
- время воздействия вибрации.

К нормируемым показателям вибрационной нагрузки при производственном контроле относятся среднеквадратические значения виброускорения  $a$  или виброскорости  $V$ , а также их логарифмические уровни в децибелах.

Виброскорость  $V$ ,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ , определяется по формуле:

$$V = 2\pi f A; \quad (1)$$

где  $f$  – частота механических колебаний, Гц;

$A$  – амплитуда колебаний, м.

Логарифмические уровни виброскорости  $L_v$ , дБ, определяют по формуле:

$$(2) \quad L_v = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}},$$

где  $V$  – среднеквадратическое значение виброскорости,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$

Логарифмические уровни виброускорения  $L_a$ , дБ, определяют по формуле:

$$(3) \quad L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}},$$

где  $a$  – среднеквадратическое значение виброускорения,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$

Нормируемый диапазон частот для технологической вибрации, для вибрации на рабочих местах работников умственного труда устанавливается в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами:

- для локальной вибрации: 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;

- для общей вибрации: 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц.

Время воздействия вибрации принимается равным длительности непрерывного или суммарного воздействия, измеряемого в минутах или часах.

К нормируемым показателям вибрационной нагрузки на оператора на рабочих местах в процессе труда относятся: одночисловые параметры (корректированное по частоте значение контролируемого параметра, доза вибрации, эквивалентное корректированное значение контролируемого параметра), или спектр вибрации (приложения 1 - 4).

Корректированное по частоте значение контролируемого параметра  $\tilde{U}$  или его логарифмический уровень  $L_{\tilde{U}}$  определяются по формулам:

$$\tilde{U} = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i \cdot K_i^2}; \quad (4)$$

$$L_{\tilde{U}} = 10 \lg \sum 10^{0,1(L_{U_i} + L_{K_i})}, \quad (5)$$

где  $U_i$  и  $LU_i$  - среднеквадратическое значение контролируемого параметра вибрации (виброскорости или виброускорения) и его логарифмический уровень в  $i$ -й полосе;

$n$  - число частотных полос в нормируемом диапазоне;

$K_i$  и  $L_{K_i}$  - весовые коэффициенты для  $i$ -й частотной полосы для среднеквадратического значения контролируемого параметра или его логарифмического уровня.

Весовые коэффициенты приведены в приложениях 5 и 6.

Доза вибрации  $D$  определяется по формуле:

$$D = \int_0^T U^m(t) dt, \quad (6)$$

где  $\tilde{U}(t)$  - корректированное по частоте значение контролируемого параметра в момент времени  $t$ ,  $m \cdot c^{-2}$  или  $m \cdot c^{-1}$ ,

$T$  - время воздействия вибрации, с,

$m$  - показатель эквивалентности физиологического воздействия вибрации, устанавливаемый санитарными нормами.

Эквивалентное корректированное значение ( $U_{\text{ЭКВ}}$ ) определяется по формуле:

$$U_{\text{ЭКВ}} = \sqrt[m]{\frac{D}{T}}, \quad (7)$$

Если нормирование вибрационной нагрузки на оператора осуществляется через спектр вибрации, то нормируемыми показателями являются среднеквадратические значения виброускорения (виброскорости) или их логарифмические уровни в октавных и третьоктавных полосах частот.

Для локальной вибрации нормы вибрационной нагрузки на оператора (приложение 1) обеспечивают отсутствие вибрационной болезни, что соответствует критерию «безопасность». Для общей вибрации нормы вибрационной нагрузки на оператора (приложения 2 и 3) установлены для категорий вибрации и соответствующих им критериям оценки по таблице 1.

Таблица 1 - Категории вибрации по санитарным нормам и критерии оценки

Категории вибрации по санитарным нормам и критерии оценки	Характеристика условий труда
1 (безопасность)	Транспортная вибрация, воздействующая на операторов подвижных самоходных и прицепных машин и транспортных средств при их движении по местности, агрофонам и дорогам, в том числе при их строительстве
2 (граница снижения производительности труда)	Транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на операторов машин с ограниченной подвижностью, перемещающихся только по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок и горных выработок.
3 тип "а" (граница снижения производительности труда)	Технологическая вибрация, воздействующая на операторов стационарных машин и оборудования и передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации
3 тип "в" (комфорт)	Вибрация на рабочих местах работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом

Критерий "безопасность" означает ненарушение здоровья оператора, оцениваемого по объективным показателям с учетом риска возникновения предусмотренных медицинской классификацией профессиональной болезни и патологий, а также исключая возможность возникновения травмоопасных или аварийных ситуаций из-за воздействия вибрации.

Критерий "граница снижения производительности труда" означает поддержание нормативной производительности труда оператора, не снижающейся из-за развития усталости под воздействием вибрации.

Критерий "комфорт" означает создание условий труда, обеспечивающих оператору ощущение комфорта при полном отсутствии мешающего действия вибрации.

### 1.3. Воздействие вибрации на человека

Хотя вибрация обычно нежелательна и вредна, в ряде случаев она просто необходима, так как служит основой рабочего процесса, например, в виброконвейерах, вибросепарации, при разрушении материалов и др. При превышении уровней общей или локальной вибрации на рабочих местах в производственных помещениях над допустимыми значениями по санитарным нормам у работников со временем может возникнуть профессиональное заболевание - вибрационная болезнь. Первоначально у человека появляется боль в конечностях, затем - чувство онемения, судороги в икроножных мышцах и впоследствии возникают тяжелые заболевания внутренних органов.

Неблагоприятное воздействие вибрации на организм человека-оператора - это проявления воздействия вибрации, отрицательно сказывающиеся на его здоровье, работоспособности, комфорте и других условиях трудовой и социальной жизни и оцениваемые

в соответствии с принятыми гигиеническими, психофизиологическими, социальными и другими критериями.

Показателем превышения вибрационной нагрузки на оператора является разность логарифмических уровней или отношение абсолютных значений спектральных или скорректированных по частоте показателей вибрационной нагрузки на оператора в конкретных производственных условиях и предельно допустимых значений, установленных санитарными нормами для этих условий, и при длительности рабочей смены 8 ч.

#### 1.4. Методы вибрационной защиты

Для обеспечения вибрационной безопасности труда разработан комплекс мероприятий и средств защиты. Основными составляющими этого комплекса являются технические методы и средства борьбы с вибрацией в источнике ее возникновения и на путях ее распространения к рабочему месту (или в точке контакта с человеком-оператором), а также организационные мероприятия. Технические методы и средства борьбы с вибрацией главным образом направлены на изменение интенсивности вибрации, воздействующей на человека-оператора. При этом критерием эффективности служит степень достижения нормативов вибрации, установленных для рабочих мест.

По организационному признаку методы виброзащиты подразделяются на коллективную и индивидуальную виброзащиту.

По отношению к источнику возбуждения вибрации методы коллективной защиты подразделяются на методы, снижающие параметры вибрации:

воздействием на источник возбуждения;

снижением её на путях распространения от источника возбуждения.

По виду реализации методы, снижающие передачу вибрации при контакте оператора с вибрирующим объектом, предусматривают:

использование дополнительных устройств, встраиваемых в конструкцию машины и в строительные конструкции (виброизоляция, динамическое виброгашение);

изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций;

использование демпфирующих покрытий;

антифазную синхронизацию двух или нескольких источников возбуждения вибраций.

Для пояснения некоторых методов снижения вибрации на путях её распространения рассмотрим основные характеристики колебательной системы. К ним относятся частота возмущающей силы  $\omega$ , рад/с, частота собственных колебаний  $\omega_0$ , рад/с, и механический импеданс (комплексное сопротивление вибрирующей системы).

Рассмотрим эти характеристики на примере простейшей колебательной системы с одной степенью свободы. Такую систему можно изобразить в виде элемента массой  $m$ , не обладающего деформацией, и элементов упругости  $q$ , Н/м (в виде пружины) и демпфирования трения  $S$ , Н·с/м (в виде поршня в цилиндре), не имеющих массы (рис. 2).

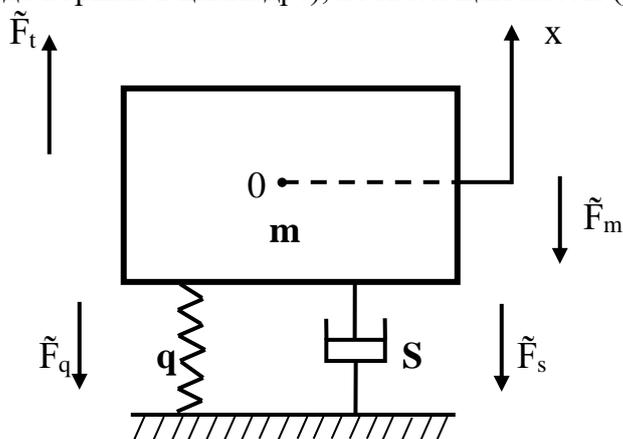


Рисунок 2

На рис. 2 точка 0 обозначает положение статического равновесия, от которого отсчитывается координата  $x$  - смещение тела массой  $m$  под действием гармонической возмущающей силы  $\tilde{F}_t = F_a \cos \omega t$ ,

где  $F_a$  – амплитуда силы. К телу также приложена сила инерции  $\tilde{F}_m = m \cdot d\tilde{v}/dt$ , где  $v$  – переменная скорость колебаний тела, сила упругости  $F_q = q \cdot x$  и демпфирующая сила трения  $\tilde{F}_s = S \cdot v$ .

В соответствии с принципом Д'Аламбера имеем:  $F_t = F_m + F_q + F_s$ , что соответствует дифференциальному уравнению движения:

$$F_a \cos \omega t = m \cdot dv/dt + q \cdot x + S \cdot v \quad (9)$$

Механический импеданс материальной точки при гармонических колебаниях в комплексной форме определяется как отношение  $\dot{Z} = F/v$ , а скорость

$v = F/\dot{Z}$ . Если при гармоническом колебании скорость задана как

$v = v_a \cdot e^{j\omega t}$ , где  $v_a$  – амплитуда скорости, м/с, то смещение и ускорение материальной точки находят соответственно интегрированием и дифференцированием  $dv/dt = j\omega v$ ;  $x = v/j\omega$ . Тогда решая дифференциальное уравнение движения, получим механический импеданс системы:

$\dot{Z} = [S + j(\omega m - q/\omega)]$ , который состоит из трёх импедансов:

-импеданса демпфирования (трения)  $\dot{Z}_s = S$ ;

-импеданса массы  $\dot{Z}_m = j\omega m$ ;

-импеданса упругости (жесткости)  $\dot{Z}_q = -jq/\omega$ .

Действительная часть импеданса определяется трением  $S$ , мнимая – упругостью и инерцией  $(\omega m - q/\omega)$ .

Модуль механического импеданса равен  $Z = |\dot{Z}| = \sqrt{S^2 + (\omega m - q/\omega)^2}$ .

Зависимость элементов механического импеданса от частоты возмущающей силы  $\omega$  представлена на рис. 3.

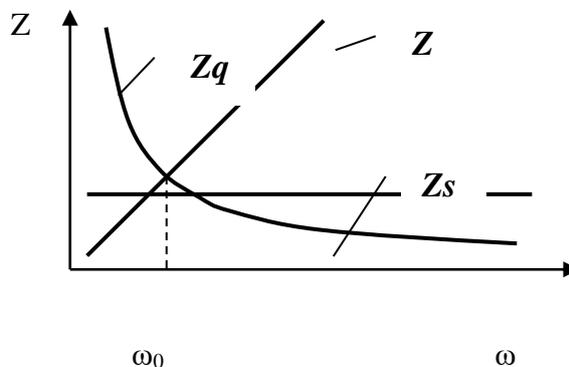


Рисунок 3

Как известно, явление резонанса, возникающее при совпадении частоты возмущающей силы  $\omega$  и собственной частоты  $\omega_0$ , характеризуется возрастанием амплитуды колебаний, а следовательно, и амплитуды виброскорости  $v_a$ , которая достигает максимального значения при минимальном значении импеданса  $\dot{Z}$ . Минимум импеданс достигает при равенстве нулю его мнимой части, т.е. при  $\omega m - q/\omega = 0$ . Таким образом, собственная частота колебаний системы  $\omega_0 = \sqrt{q/m}$ , рад/с или  $f_0 = \omega_0/2\pi$ , Гц.

Из рис. 3 видно, что в резонансной области при  $\omega = \omega_0$  поведение системы определяется импедансом трения (демпфирования)  $Z_s$ . Метод, основанный на увеличении внутреннего трения, повышении диссипативных свойств системы, применении специальных материалов с высоким коэффициентом потерь  $\eta$ , называют вибропоглощением (вибродемпфированием).

Рассеяние энергии упругодиссипативной колебательной системой определяется с помощью коэффициента потерь  $\eta = \omega S/q$ . Эффективность вибропоглощения в дБ

определяется как  $\Delta L_{\text{вп}} = 20 \lg \eta_2 / \eta_1$ , где  $\eta_1$  и  $\eta_2$  – коэффициенты потерь системы до и после применения вибропоглощения (вибродемпфирования), соответственно.

При низких частотах при  $\omega < \omega_0$  колебания определяются импедансом упругости  $Z_q$  и чем ниже частота  $\omega$ , тем важнее для снижения вибраций повышение жесткости системы. Конструктивные меры, связанные с введением в систему ребер жесткости, шпангоутов, дополнительных опор, стальных оттяжек и т.п., называют отстройкой системы от режима резонанса.

При увеличении упругости  $q$  увеличивается собственная частота колебаний  $\omega_0$  и резонанса удается избежать.

На высоких частотах при  $\omega > \omega_0$ , как видно из рис. 3, колебания в основном определяются импедансом массы  $Z_m$ , в связи с чем высокочастотные вибрации можно легко устранить, применяя массивные корпуса, станины и фундаменты. Такой метод называется виброгашение.

Существуют ещё два метода, основанных на введении в вибрирующую систему дополнительных импедансов. Это виброизоляция и динамическое виброгашение.

Под виброизоляцией понимают установку упругодемпфирующего элемента между источником вибрации и защищаемым объектом. Это может быть пружина, рессора, резиновый, резино-пневматический или резино-металлический элемент с линейными характеристиками  $q_1$  и  $S_1$ . Показателем эффективности является коэффициент передачи  $\mu$ , который показывает, какая доля динамической возмущающей силы передается через виброизоляцию:  $\mu = F_0 / F = qx_a / F$ , где  $F_0$  – передаваемая динамическая сила,  $F$  – возмущающая сила,  $q$  – жесткость виброизолятора,  $x_a$  – амплитуда виброперемещения. Если пренебречь затуханием в виброизоляторах, коэффициент передачи можно рассчитать по формуле:

$$\mu = 1 / [(f/f_0)^2 - 1] = 1 / [(\omega/\omega_0)^2 - 1], \quad (10)$$

где  $f$  и  $\omega$  – частота вынужденных колебаний в Гц и рад/с, соответственно;  $f_0$  и  $\omega_0$  – частота собственных колебаний. Для оценки виброизоляции в дБ используют выражение:  $\Delta L_{\text{ви}} = 20 \lg 1/\mu$ .

На рис. 4 представлена графическая зависимость  $\mu$  от отношения  $f/f_0$ , из которой видно, что в области резонансной частоты виброизоляция не только не даёт эффекта, но даже приносит вред ( $\mu > 1$ ). Виброизоляторы уменьшают передаваемую динамическую силу при отношении  $f/f_0 > \sqrt{2}$ .

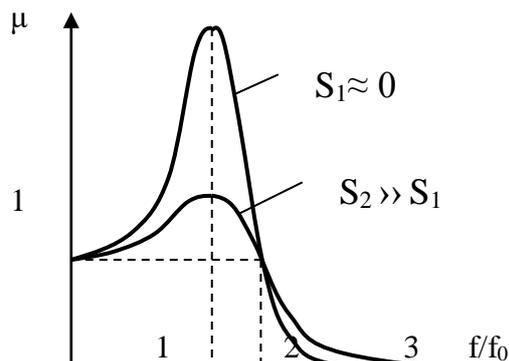


Рис. 4

Для того, чтобы получить эффект виброизоляции для фиксированной частоты  $f$  необходимо уменьшить собственную частоту колебаний системы

$f_0 = \sqrt{q/m} / 2\pi$ . Этого можно достичь, применяя виброизоляторы большой податливости с малой упругостью.

Просто подложить кусок резины в качестве виброизолятора недостаточно. Дело в том, что резина практически несжимаема. Слой резины податлив только в той мере, в какой он может раздаваться в стороны. Если же расплющиваться ему некуда, или его боковая поверхность мала, то резина ведёт себя как жесткое тело и никакой виброизоляции не будет. По этой причине резиновые или резино-металлические виброизоляторы необходимо конструировать так, чтобы их материал работал на сдвиг.

При использовании стальных пружин с малым демпфированием, когда  $S_1 \approx 0$  (рис. 4), амплитуды колебаний при резонансе значительно выше, чем при использовании резиновых виброизоляторов с  $S_2 \gg S_1$ , у которых значительно более высокий коэффициент внутреннего трения.

Способ гашения нежелательных резонансов виброзащищаемых объектов, основанный на присоединении к объекту дополнительной массы с упругой связью, называют динамическим виброгашением. Если собственная частота присоединенной системы с массой  $m_2$   $\omega_{02} = \sqrt{q_2/m_2}$  (рис. 5) равна частоте вибрационного воздействия, то основной объект массой  $m_1$  остается практически неподвижным, хотя именно к нему приложена возмущающая сила  $F_a \cos \omega t$ , а присоединенная масса  $m_2$  колеблется с заметной амплитудой в режиме резонанса, забирая энергию внешнего воздействия.

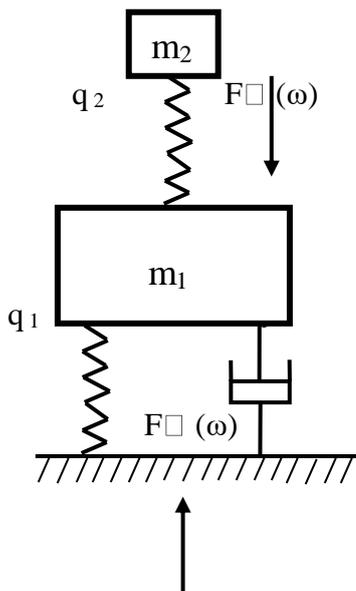


Рисунок 5

## 2 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 2.1 Описание лабораторного стенда

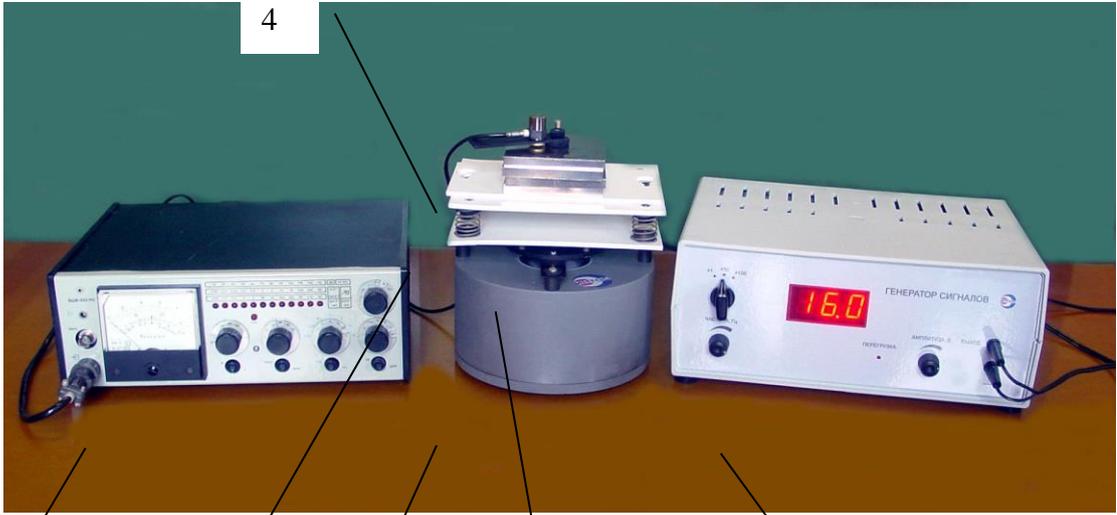
**Внешний вид лабораторного стенда представлен на рис. 6**

В состав стенда входит собственно вибростенд 1, на вибростоле которого устанавливается объект 2 виброизоляции и один из виброзащитных модулей 3. Каждый из модулей состоит из двух параллельных пластин, между которыми установлены либо пружины либо прокладка из полиуретана. Объект 3 виброизоляции представляет собой пластину с наборными грузами (стальные или алюминиевые пластинки с прорезями). Объект виброизоляции и сменные виброзащитные модули хранятся в укладочном ящике (на рис. 2 не показан). К объекту 2 виброизоляции крепится вибропреобразователь 4 типа ДН-4-М1 измерителя шума и вибрации ВШВ-003-М2 (поз.5), который располагается на лабораторном столе рядом с вибростендом 1. Там же располагается генератор сигналов БЖ4/1м (поз.6), от которого питается вибростенд 1.

Внешний вид вибростенда представлен на рис. 7.

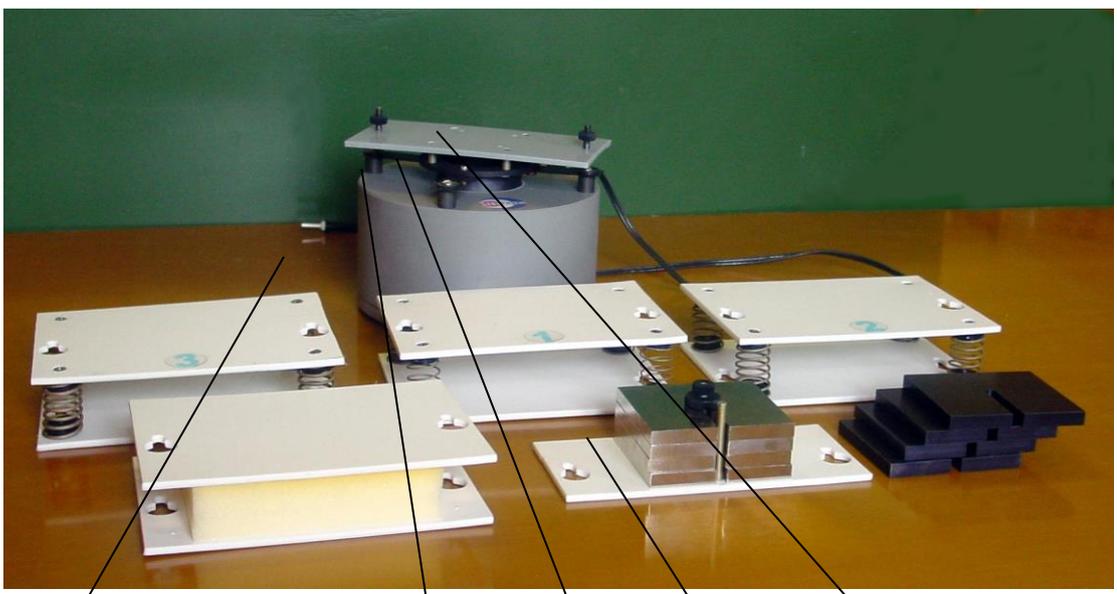
Вибростенд имеет электромагнитную систему возбуждения вибрации, направленной по вертикали (ось  $Z$ ), и состоит из магнитопроводящего корпуса 1, в который входит катушка 2, служащая опорой вибростола 3. Катушка 2 вибростола 3 крепится к плоским пружинам 4, которые, в свою очередь, прикреплены с помощью стоек к корпусу 1.

На рис. 7 представлен также внешний вид объекта виброизоляции 5 и сменных виброизолирующих модулей.



5                      2                      1                      3                      6

Рисунок 6



1                      4                      2                      5                      3

## 2.2 Порядок выполнения работы

2.2.1 Закрепить на вибростоле 3 (рис. 7) модуль с жесткими стойками, а на нём закрепить объект виброизоляции 5 (рис. 7).

2.2.2 Закрепить вибропреобразователь ДН-4-М1 на объекте виброизоляции (поз. 4 рис. 6).

2.2.3 Предварительно выполнить калибровку измерителя вибрации ВШВ 003 (см. раздел 2.3.2), для чего гнездо 50 mV измерителя соединить кабелем 5Фб.644.368 с эквивалентом вибропреобразователя.

2.2.4 Подключить генератор 6 (рис.4) к сети 220 В. Соединить однополюсные вилки вибратора с выходными гнездами генератора, вывести ручку «Амплитуда» на лицевой панели генератора в крайнее левое положение, включить тумблер "сеть" на задней стенке генератора и дать ему прогреться в течение 1 - 2 мин.

Установить переключатель грубой регулировки частоты генератора (множитель) в положение x1, далее ручкой плавного регулирования частоты установить значение октавной частоты возбуждения 2 Гц, контролируя это значение на индикаторе частоты. Значение амплитуды вибрации задается ручкой «Амплитуда» в пределах от 0 до 5 В (отмечены точками).

**ВНИМАНИЕ. При возникновении перегрузки на лицевой панели генератора загорается светодиод "ПЕРЕГРУЗКА". Необходимо выключить питание генератора тумблером "сеть". Повторное включение сетевого питания возможно только после погасания светодиода "ПЕРЕГРУЗКА".**

2.2.5 Произвести измерения виброускорения объекта виброизоляции в направлении Z для общей или локальной вибрации (см. п. 2.3) во всем диапазоне частот, изменяя частоту вибрации с помощью множителя и ручки плавного регулирования. Результаты измерений занести в таблицу 2.

2.2.6 Выключить генератор. Снять объект виброизоляции, установить на вибростол один из виброзащитных модулей (с пружинами или полиуретаном), установить на него объект виброизоляции. Включить генератор.

2.2.7 Закрепить вибропреобразователь ДН-4-М1 на объекте виброизоляции (поз.4 рис. 6) и провести измерения виброускорения объекта виброизоляции совместно с виброзащитным модулем в направлении Z для общей или локальной вибрации (см. п. 2.3) во всем диапазоне частот, изменяя частоту вибрации с помощью множителя и ручки плавного регулирования.

2.2.8 После выполнения лабораторной работы отключить генератор и измеритель. Объект виброизоляции, модули, вибропреобразователь и кабели положить в упаковочную тару.

2.2.9 По результатам измерений оценить эффективность виброзащиты Э для каждой октавной полосы частот

$$\mathcal{E} = [(a - a_{вз})/a] \cdot 100\%, \quad (11)$$

где  $a$  – среднеквадратическое значение виброускорения до применения виброзащиты,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ ;

$a_{вз}$  – среднеквадратическое значение виброускорения после применения виброзащиты,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

Результаты расчетов занести в таблицу 2.

## 2.3 Порядок проведения измерений

2.3.1. Измерения вибрации выполняются с помощью измерителя шума и вибрации ВШВ-003-М2 (рис. 8).



Рисунок 8

На лицевую панель измерителя (рис.8) выведены следующие органы управления, регулирования и индикации:

переключатель РОД РАБОТЫ с положениями:

"O" - для выключения измерителя;

" $\text{—}|$ " - для контроля состояния батарей;

" $\triangleright$ " - для включения измерителя в режим калибровки;

F, S, 10S - для включения измерителя в режим измерения с постоянной времени F(быстро), S (медленно), 10S - 10с;

показывающий прибор - для контроля напряжения питания и отсчета измеряемой величины, причем при работе с вибропреобразователем ДН-4-М1 результат измерения необходимо умножить на 10;

переключатели ДЛТ1, dB; ДЛТ2, dB и единичные индикаторы (далее индикаторы) 20, 30,... 130 dB;  $3 \cdot 10^{-3}$ ,  $0,01 \dots 10^3 \text{ mm} \cdot \text{S}^{-2}$ ;  $0,03$ ;  $0,1 \dots 10^4 \text{ mm} \cdot \text{S}^{-1}$ ,

предназначенные для выбора пределов измерений звукового давления, виброускорения и виброскорости соответственно;

индикатор ПРГ - для индикации перегрузки измерительного тракта;

кнопка а, V - для переключения измерителя из режима измерения ускорения в режим измерения виброскорости;

переключатель ФЛТ, Hz - с положениями:

1; 10 - для включения фильтра высоких частот (ФВЧ) 1; 10 Гц, ограничивающих частотный диапазон при измерении виброускорения, виброскорости;

ЛИН - для включения фильтра низких частот (ФНЧ) 20 кГц, отграничивающего частотный диапазон при измерении уровня звукового давления по характеристике ЛИН;

А,В,С - для включения корректирующих фильтров А, В, С;  
ОКТ - для включения измерителя в режим частотного анализа в октавных полосах;  
переключатель ФЛТ ОКТ с кнопкой кНz, Нz для включения одного из четырнадцати октавных фильтров со средними геометрическими частотами 1 Гц,... 8 кГц;  
кнопка 10 кНz, 4 кНz - для включения ФНЧ 10 кГц или 4 кГц, ограничивающих частотный диапазон при измерении виброускорения, виброскорости;  
кнопка СВ, ДИФ - для измерений в режиме свободного или диффузного поля;  
гнезда:  
50 mV - выход с калибровочного генератора;  
⊙ - для подсоединения предусилителя ВПМ-101.

### 2.3.2. Подготовка измерителя к работе и порядок работы

Установить измеритель в горизонтальное положение и механическим корректором нуля установить стрелку измерителя на отметку 0 шкалы 0... 10.  
Установить переключатели измерителя в положения:

РОД РАБОТЫ  $\dashv$ ;

ДЛТ 1, dB - 80;

ДЛТ 2, dB - 50.

Проверить показание измерителя, оно должно быть в пределах сектора, указанного на нижней шкале измерителя (правее знака  $\dashv$ ). Если это требование не выполняется, то необходимо заменить батареи.

При питании измерителя от сети необходимо вынуть батареи из его заднего отсека и вставить источник питания 5Ф2.087.064. Заземлить измеритель с помощью клеммы защитного заземления на источнике питания. Подключить измеритель к сети 220 В и повторить операции по п.2.3.2.

### Калибровка измерителя

Калибровку измерителя необходимо производить каждый раз перед началом измерений.

Подсоединить эквивалент вибропреобразователя к предусилителю ВПМ-101, который, в свою очередь, подсоединить к гнезду " " измерителя.

Гнездо 50 mV измерителя соединить кабелем 5Ф6.644.368 с эквивалентом вибропреобразователя.

Переключатель измерителя РОД РАБОТЫ установить в положение " ". 

Резистор  $\blacktriangleright$  " " установить стрелку измерителя на нужную отметку шкалы 0...1, учитывающую действительное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя. Выключить измеритель, для чего переключатель измерителя РОД РАБОТЫ установить в положение 0.

Отсоединить кабель 5Ф6.644.368 и к эквиваленту вибропреобразователя подсоединить датчик ДН-4-М1 с помощью кабеля 5Ф6.644.333.

### 2.3.3 Измерение виброускорения

Переключатели измерителя установить в положения:

ДЛТ 1, dB - 80;

ДЛТ 2, dB - 50.

Все кнопки отжаты, светится индикатор 130 dB.

В зависимости от частотного диапазона измерения переключатель ФЛТ, Hz установить в положение "1" или "10"; нажать или отжать кнопку 10 kHz,

4 kHz:

при измерении общей вибрации - "1"; кнопка 4 kHz нажата;

при измерении локальной вибрации - "10"; кнопка отжата.

Переключатель РОД РАБОТЫ установить в положения F (Fast -быстрые измерения), S (Slow – медленные измерения) или 10 S (при измерениях низкочастотных составляющих могут возникнуть флуктуации (колебания) стрелки измерителя. Тогда следует перевести переключатель РОД РАБОТЫ из положения F в положение S).

Произвести измерения, изменяя при необходимости положения переключателей ДЛТ 1, dB и ДЛТ 2, dB.

Если при измерении стрелка измерителя находится в начале шкалы, то следует вывести ее правее цифры "4" (верхняя шкала) или цифры "10" (средняя шкала) сначала переключателем ДЛТ 1, dB. Если периодически загорается индикатор перегрузки ПРГ, то следует переключить переключатель ДЛТ 1, dB на более высокий уровень, пока не погаснет индикатор ПРГ, а затем использовать аналогично переключатель ДЛТ 2, dB.

Произвести отсчет показаний измерителя в  $m\cdot S^{-2}$ . При работе с вибропреобразователем ДН-4-М1 показание необходимо умножить на 10.

#### 2.3.4 Измерение виброускорений в октавных полосах частот

Переключатель ФЛТ, Hz установить в положение ОКТ, переключателем ФЛТ, ОКТ и кнопкой kHz, Hz включить необходимый октавный фильтр. При измерении общей вибрации (частоты 2; 4; 8; 16; 31,5 и 63 Гц) и локальной вибрации (частоты 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500 и 1000 Гц) в диапазоне от 2 Гц до 63 Гц кнопка kHz, Hz нажата, а начиная с 0,125 кГц кнопка kHz, Hz отжата.

Повторить операции в соответствии с п. 2.3.3 предыдущего подраздела, производя отсчет показаний измерителя в  $m\cdot S^{-2}$ .

#### 2.3.5 Измерение виброскорости

Нажать кнопку a, V и повторить операции в соответствии с п. 2.3.3, отсчитывая показания измерителя в  $mm\cdot S^{-1}$ .

### 3 ОТЧЕТ О РАБОТЕ

3.1 Параметры измерения вибрации.

3.2 Санитарно-гигиеническое воздействие вибрации на организм человека.

3.3 Нормирование вибрации.

3.4 Методы и средства снижения вибрации.

3.5 Данные измерений и расчетов вибрации представить в виде табл. 2. Оценить эффективность виброзащиты для выбранных виброзащитных модулей.

#### 4 Библиографический список

1 ГОСТ 12.1.012-90. "ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования". Изд. стандартов, М.: 1990.

2 ГОСТ 12.4.046-78. "ССБТ. Методы и средства вибрационной защиты. Классификация." Изд. стандартов, М.: 1978.

3 Правила устройства электроустановок. - 6-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1998.

4 Правила эксплуатации электроустановок потребителей. -5-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1998.

5 Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1994.

6 Измеритель шума и вибрации ВШВ-003-М2. Паспорт 5Ф2.745.027 ПС.

## 5 ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия, а также разделом 2.

При эксплуатации и ремонте генератора и измерителя возможна опасность поражения персонала электрическим током напряжением 220 В, частотой 50 Гц. В связи с этим при работе с генератором и измерителем необходимо соблюдать следующие требования безопасности:

- заземлять генератор и измеритель с помощью клемм защитного заземления на корпусах приборов;

- вставки плавкие в приборах должны быть исправными;

- запрещается эксплуатация генератора и измерителя при снятых крышках;

- запрещается производить доработки монтажа и другие работы в генераторе и измерителе под напряжением;

- при ремонте и регулировании приборов необходимо использовать ручной инструмент с диэлектрическими рукоятками.

При выполнении ремонтных, наладочных работ и эксплуатации стенда лабораторного необходимо соблюдать правила и требования по электробезопасности по ПУЭ, ПЭЭП и ПТБ ЭЭП [3-5].

**Внимание!** При смене виброизолирующих модулей на вибростоле вибростенда выключить генератор низкочастотных сигналов.

Приложение 1

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.  
Общая вибрация, категория 3, тип "а"

Средне-геометрическое частоты полос, Гц	Нормативные значения в направлениях $X_0$ , $Y_0$							
	Виброускорения				виброскорости			
	$m \cdot c^{-2}$		дБ		$10^{-2} \cdot m \cdot c^{-1}$		дБ	
	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.
1,6	0,09		99		0,9		105	
2,0	0,08	0,14	98	103	0,64	1,3	102	108
2,5	0,071		97		0,46		99	
3,15	0,063		96		0,32		96	
4,0	0,056	0,1	95	100	0,23	0,45	93	99
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056		95		0,14		89	
8,0	0,056	0,11	95	101	0,12	0,22	87	93
10,0	0,071		97		0,12		87	

Средне-геометрическая частота полос, Гц	Нормативные значения в направлениях $X_0, Y_0$							
	Виброускорения				виброскорости			
	$m \cdot c^{-2}$		дБ		$10^{-2} \cdot m \cdot c^{-1}$		дБ	
	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.
12,5	0,09		99		0,12		87	
16,0	0,112	0,20	101	106	0,12	0,20	87	92
20,0	0,140		103		0,12		87	
25,0	0,18		105		0,12		87	
31,5	0,22	0,40	107	112	0,12	0,20	87	92
40,0	0,285		109		0,12		87	
50,0	0,355		111		0,12		87	
63,0	0,445	0,80	113	118	0,12	0,20	87	92
80,0	0,56		115		0,12		87	

Приложение 2

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.  
Общая вибрация, категория 3, тип "в"

Средне-геометрическая частота полос, Гц	Нормативные значения в направлениях $X_0, Y_0$							
	Виброускорения				виброскорости			
	$m \cdot c^{-2}$		дБ		$10^{-2} \cdot m \cdot c^{-1}$		дБ	
	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.	$v^{1/3}$ окт.	$v^{1/1}$ окт.
1,6	0,015		82		0,13		88	
2,0	0,012	0,02	81	86	0,09	0,18	85	91
2,5	0,01		80		0,063		82	
3,15	0,009		79		0,045		79	
4,0	0,008	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,008		78		0,025		74	
6,3	0,008		78		0,02		72	
8,0	0,008	0,014	78	83	0,016	0,032	70	75
10,0	0,01		80		0,016		70	
12,5	0,015		82		0,016		70	
16,0	0,016	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,02		86		0,016		70	
25,0	0,025		88		0,016		70	
31,5	0,032	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,04		92		0,016		70	

Средне-геометрические частоты полос, Гц	Нормативные значения в направлениях X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>							
	Виброускорения				виброскорости			
	м·с <sup>-2</sup>		дБ		10 <sup>-2</sup> ·м·с <sup>-1</sup>		дБ	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.
50,0	0,05		94		0,016		70	
63,0	0,063	0,112	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,08		98		0,016		70	

Приложение 3

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.  
Локальная вибрация

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Нормативные значения в направлениях			
	виброускорения		виброскорости	
	м·с <sup>-2</sup>	дБ	10 <sup>-2</sup> ·м·с <sup>-1</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85,0	159	1,4	109

Приложение 4

Санитарные нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора при длительности смены 8 часов

Вид вибрации	Категория вибрации по санитарным нормам	Направление действия	Нормативные, скорректированные по частоте и эквивалентные скорректированные значения			
			виброускорения		виброскорости	
			м·с <sup>-2</sup>	дБ	10 <sup>-2</sup> ·м·с <sup>-1</sup>	дБ
Локальная Общая	-	X <sub>л</sub> , Y <sub>л</sub> , Z <sub>л</sub>	2,0	126	2,0	112
	1	Z <sub>0</sub>	0,56	115	1,1	107
		Y <sub>0</sub> , X <sub>0</sub>	0,4	112	3,2	116
		Z <sub>0</sub> , X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>	0,28	109	0,56	101
	3 тип "а"	Z <sub>0</sub> , X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>	0,1	100	0,2	92
	3 тип "в"	Z <sub>0</sub> , X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>	0,014	83	0,028	75

Весовые коэффициенты коррекции для общей вибрации

Средне-геометрическая частота, Гц	Для виброускорения				Для виброскорости			
	Z <sub>o</sub>		X <sub>o</sub> , Y <sub>o</sub>		Z <sub>o</sub>		X <sub>o</sub> , Y <sub>o</sub>	
	K <sub>i</sub>	L <sub>ki</sub>	K <sub>i</sub>	L <sub>ki</sub>	K <sub>i</sub>	L <sub>ki</sub>	K <sub>i</sub>	L <sub>ki</sub>
2	0,71	-3	1,0	0	0,16	-16	0,9	-1
4	1,0	0	0,5	-6	0,45	-7	1,0	0
8	1,0	0	0,25	-12	0,9	-1	1,0	0
16	0,5	-6	0,125	-18	1,0	0	1,0	0
31,5	0,25	-12	0,063	-24	1,0	0	1,0	0
63,0	0,125	-18	0,0315	-30	1,0	0	1,0	0

Приложение 6

Весовые коэффициенты коррекции для локальной вибрации

Среднегеометрическая частота октавной частоты, Гц	Для виброускорения		Для виброскорости	
	K <sub>i</sub>	L <sub>ki</sub>	K <sub>i</sub>	L <sub>ki</sub>
8,0	1,0	0	0,5	-6
16	1,0	0	1,0	0
31,5	0,5	-6	1,0	0
63	0,25	-12	1,0	0
125	0,125	-18	1,0	0
250	0,063	-24	1,0	0
500	0,0315	-30	1,0	0
1000	0,016	-36	1,0	0

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 «ЗАЩИТА ОТ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»

**Цель лабораторной работы:** ознакомить студентов с характеристиками электромагнитного излучения, нормативными требованиями к электромагнитному излучению, провести измерения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона в зависимости от расстояния до источника и оценить эффективность защиты от СВЧ-излучения с помощью экранов.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электромагнитные поля (ЭМП) генерируются токами, изменяющимися во времени. Спектр электромагнитных (ЭМ) колебаний находится в широких пределах по длине волны  $\lambda$ : от 1000 км до 0,001 мкм и менее, а по частоте  $f$  от  $3 \cdot 10^2$  до  $3 \cdot 10^{20}$  Гц, включая радиоволны, оптические и ионизирующие излучения. В настоящее время наиболее широкое применение в

различных отраслях находит ЭМ энергия неионизирующей части спектра. Это касается, прежде всего, ЭМ полей радиочастот. Они подразделяются по длине волн на ряд диапазонов (табл. 1).

Таблица 1 – Спектр ЭМ колебаний

Название диапазона	Длина волны	Диапазона частот	Частота	По международному регламенту	
				Название диапазона частот	Номер
Длинные волны (ДВ)	10-1 км	Высокие частоты (ВЧ)	от 3 до 300 кГц	Низкие (НЧ)	5
Средние волны (СВ)	1 км – 100 м	То же	от 0,3 до 3 МГц	Средние (СЧ)	6
Короткие волны (КВ)	100-10 м	То же	от 3 до 30 МГц	Высокие (ВЧ)	7
Ультракороткие волны (УКВ)	10-1 м	Высокие частоты (УВЧ)	от 30 до 300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	8
Микроволны: дециметровые (дм); сантиметровые (см); миллиметровые (мм).	1 м – 10 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	от 0,3 до 3 ГГц	Ультравысокие (УВЧ) Сверхвысокие (СВЧ) Крайневысокие (КВЧ)	9 10
	10-1 см		от 3 до 30 ГГц		
	1 см – 1 мм		от 30 до 300 ГГц		

ЭМ поле складывается из электрического поля, обусловленного напряжением на токоведущих частях электроустановок, и магнитного, возникающего при прохождении тока по этим частям. Волны ЭМП распространяются на большие расстояния.

В промышленности источниками ЭМП являются электрические установки, работающие на переменном токе с частотой от 10 до  $10^6$  Гц, приборы автоматики, электрические установки с промышленной частотой 50-60 Гц, установки высокочастотного нагрева (сушка древесины, склеивание и нагрев пластмасс и др.). В соответствии с ГОСТ 12.1.006-84 значение предельно допустимой напряженности ЭМП радиочастот в диапазоне 0,06-300 МГц на рабочих местах приведены в табл.2.

Таблица 2 – ПДУ ЭМП (0,06-300) МГц

Составляющая ЭМП, по которой оценивается его воздействие и диапазон частот, МГц	Предельно допустимая напряженность ЭМП в течение рабочего дня
Электрическая составляющая: 0,06-3 3-30 30-50 50-300	50 В/м 20 В/м 10 В/м 0,5 В/м
Магнитная составляющая: 0,06-1,5 30-50	5,0 А/м 0,3 А/м

Предельно допустимые уровни (ПДУ) по электрической составляющей, согласно [5], не должны превышать 20 В/м, а по магнитной составляющей – 5 А/м. ЭМП характеризуется совокупностью переменных электрических и магнитных составляющих. Различные диапазоны радиоволн объединяет общая физическая природа, но они существенно различаются по заключенной в них энергии, характеру распространения, поглощения, отражения, а в следствие этого – по действию на среду, в т.ч. и на человека. Чем короче длина волны и больше частота колебаний, тем больше энергии несет в себе квант ЭМ излучения. Связь между энергией  $Y$  и частотой  $f$  колебаний определяется как:

$$Y = h \cdot f \quad \text{или, поскольку длина волны } \lambda \text{ и частота связаны соотношением } f = c/\lambda,$$

$$Y = h \cdot c/\lambda,$$

где:  $c$  – скорость распространения электромагнитных волн в воздухе ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с),

$h$  – постоянная Планка, равная  $6,6 \cdot 10^{34}$  Вт/см<sup>2</sup>.

ЭМП вокруг любого источника излучения разделяют на три зоны: ближнюю – зону индукции, промежуточную – зону интерференции и дальнюю – волновую зону. Если геометрические размеры источника излучения меньше длины волны излучения  $\lambda$  (т.е. источник можно рассматривать как точечный), границы зон определяются следующими расстояниями  $R$ :

ближняя зона (индукции)  $R < \lambda/2\pi$

промежуточная зона (интерференции)  $\lambda/2\pi < R < 2\pi\lambda$

дальняя зона (волновая)  $R > 2\pi\lambda$

Работающие с источниками излучения НЧ, СЧ и, в известной степени, ВЧ и ОВЧ диапазонов находятся в зоне индукции. При эксплуатации генераторов СВЧ и КВЧ диапазонов работающие часто находятся в волновой зоне.

В волновой зоне интенсивность поля оценивается величиной плотности потока энергии (ППЭ), т.е. количеством энергии, падающей на единицу площади поверхности. В этом случае ППЭ выражается в Вт/м<sup>2</sup> или производных единицах: мВт/см<sup>2</sup>, мкВт/см<sup>2</sup>. ЭМП по мере удаления от источника излучения быстро затухает. ЭМ волны диапазона УВЧ, СВЧ и КВЧ (микроволны) используются в радиолокации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, геодезии, дефектоскопии, физиотерапии. Иногда ЭМП УВЧ диапазона применяются для вулканизации резины, термической обработки пищевых продуктов, стерилизации, пастеризации, вторичного разогрева пищевых продуктов. СВЧ-аппараты используются для микроволновой терапии.

Наиболее опасными для человека являются ЭМП высокой и сверхвысокой частот. Критерием оценки степени воздействия на человека ЭМП может служить количество электромагнитной энергии, поглощаемой им при пребывании в электрическом поле и проводимости тканей человека.

По законам физики изменения в веществе может вызвать только та часть энергии излучения, которая поглощается этим веществом, а отраженная или проходящая через него энергия действия не оказывает. Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями биологического объекта, поэтому биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП радиочастотного диапазона: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма, а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани.

Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границе раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. Колебания дипольных молекул воды и ионов, содержащихся в тканях, приводят к преобразованию электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик глаза, стекловидное тело, семенники и др.). Тепловой эффект зависит от интенсивности облучения. Пороговые интенсивности теплового действия на ЭМП на организм животного составляют для диапазона средних частот – 8000 В/м, высоких – 2250 В/м, очень высоких – 150 В/м, дециметровых – 40 мВт/см<sup>2</sup>, сантиметровых – 10 мВт/см<sup>2</sup>, миллиметровых – 7 мВт/см<sup>2</sup>.

ЭМП с меньшей интенсивностью не обладает термическим воздействием на организм, но вызывает слабовыраженные эффекты аналогичной направленности, что согласно ряду теорий считается специфическим нетепловым действием, т.е. переходом ЭМ энергии в объекте в какую-то форму нетепловой энергии. Нарушение гормонального равновесия при наличии СВЧ-фона на производстве следует рассматривать как противопоказания для профессиональной деятельности, связанной с нервной напряженностью труда и частыми стрессовыми ситуациями.

Постоянное изменение в крови наблюдается при ППЭ выше 1 мВт/см<sup>2</sup>. Это фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина. Поражение глаз в виде помутнения кристаллика (катаракты) – последствия воздействия ЭМП в условиях производства. При воздействии миллиметровых волн изменения наступают немедленно, но быстро проходят. В то

же время при частотах около 35 ГГц возникают устойчивые изменения, являющиеся результатом повреждения эпителия роговицы.

Клинические исследования людей, подвергшихся производственному воздействию СВЧ-излучения при его интенсивности ниже  $10 \text{ мВт/см}^2$ , показали отсутствие каких-либо проявлений катаракты.

Воздействие ЭМП с уровнями, превышающими допустимые, приводит к изменению функционального состояния сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, нарушению обменных процессов [2]. При воздействии значительных интенсивностей СВЧ поля может возникать более или менее выраженное помутнение хрусталика глаза (катаракты). Нередко отмечаются изменения и в составе крови.

В соответствии с санитарными нормами и правилами при работе с источниками ЭМП СВЧ частот предельно допустимые интенсивности ЭМП на рабочих местах приведены в табл.3.

Таблица 3 – ПДУ ЭМП (300 МГц – 300 ГГц)

В диапазоне СВЧ (300 МГц – 300 ГГц)	Предельно допустимая интенсивность
1. Для работающих при облучении в течение:	
1) всего рабочего дня	$10 \text{ мкВт/см}^2$
2) не более 2 ч за рабочий день	$100 \text{ мкВт/см}^2$
3) не более 15-20 мин за рабочий день	$1000 \text{ мкВт/см}^2$
2. Для лиц, не связанных профессионально и для населения	$1 \text{ мкВт/см}^2$

Защитные меры от действия ЭМП сводятся, в основном, к применению защитного экранирования, дистанционного управления устройствами, излучающими ЭМ волны, применению средств индивидуальной защиты. Защитные экраны делятся на:

- 1) отражающие;
- 2) поглощающие излучение.

К первому типу относятся сплошные металлические экраны, экраны из металлической сетки, из металлизированной ткани. Ко второму типу относятся экраны из радиопоглощающих материалов. К средствам индивидуальной защиты (СИЗ) относятся: спецодежда, выполненная из металлизированной ткани, защитные халаты, фартуки, накидки с капюшоном, перчатки, щитки, а также защитные очки (при интенсивности выше  $1 \text{ мВт/см}^2$ ), стекла которых покрыты слоем полупроводниковой окиси олова, или сетчатые очки в виде полумасок из медной или латунной сетки.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 2.1 ОПИСАНИЕ СТЕНДА

Внешний вид стенда представлен на рис.1.

Стенд представляет собой стол, выполненный в виде сварного каркаса со столешницей 1, под которой размещаются сменные экраны 2, используемые для изучения экранирующих свойств различных материалов. На столешнице 1 размещены СВЧ печь 3 (источник излучения) и координатное устройство 4.

Координатное устройство 4 регистрирует перемещение датчика 5 СВЧ поля по осям «X» «Y». Координата «Z» определяется по шкале, нанесенной на измерительную стойку 6, по которой датчик 5 может свободно перемещаться. Это дает возможность исследовать распределение СВЧ излучения в пространстве со стороны передней панели СВЧ печи (элементы наиболее сильного излучения).

Датчик 5 выполнен в виде полуволнового вибратора, рассчитанного на частоту 2,45 ГГц и состоящего из диэлектрического корпуса, вибраторов и СВЧ диода.

Координатное устройство 4 выполнено в виде планшета, на который нанесена координатная сетка. Планшет приклеен непосредственно к столешнице 1. Стойка 6 изготовлена

из диэлектрического материала (органического стекла), чтобы исключить искажение распределения СВЧ поля.

В качестве нагрузки в СВЧ печи используется огнеупорный шамотный кирпич, устанавливаемый на неподвижную подставку, в качестве которой используется неглубокая фаянсовая тарелка, обеспечивающая стабильность измеряемого сигнала.

Сигнал с датчика 5 поступает на мультиметр 7, размещенный на свободной части столешницы 1 (за пределами координатной сетки).

На столешнице 1 имеются гнезда для установки сменных защитных экранов 2, выполненных из следующих материалов:

- сетка из оцинкованной стали с ячейками 50 мм;
- сетка из оцинкованной стали с ячейками 10 мм;
- лист алюминиевый;
- полистирол;
- резина.

## **2.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНДА**

2.2.1 Диапазон плотности потока электромагнитного излучения в изучаемой зоне СВЧ печи, мкВт/см<sup>2</sup> 0..120

2.2.2 Соотношение показаний мультиметра М3900 и измерителя плотности потока ПЗ-19 1 мкА = 0,35 мкВт/см<sup>2</sup>

2.2.3 Значения перемещений датчика относительно СВЧ печи, мм, не менее:

- по оси «X» 500;
- по оси «Y» ± 250;
- по оси «Z» 300.

2.2.4 Мощность СВЧ печи, Вт, не более 800

2.2.5 Количество сменных защитных экранов 5

2.2.6 Размеры экранов, мм (330 ± 5) × (500 ± 5)

2.2.7 Потребляемая мощность, В·А, не более 1200

2.2.8 Цена деления шкал по осям X, Y, Z, мм 10 ± 1

2.2.9 Габаритные размеры стенда, мм, не более:

- длина 1200
- ширина 650
- высота 1200

2.2.10 Масса стенда, кг, не более 40

2.2.11 Электропитание стенда можно осуществлять от сети переменного тока напряжением, В 220 ± 22  
частотой, Гц 50 ± 0,4

2.2.12 Режим работы СВЧ печи:

- продолжительность работы, мин., не более 5
- продолжительность перерыва между рабочими циклами, с, не менее 30
- уровень мощности 100%

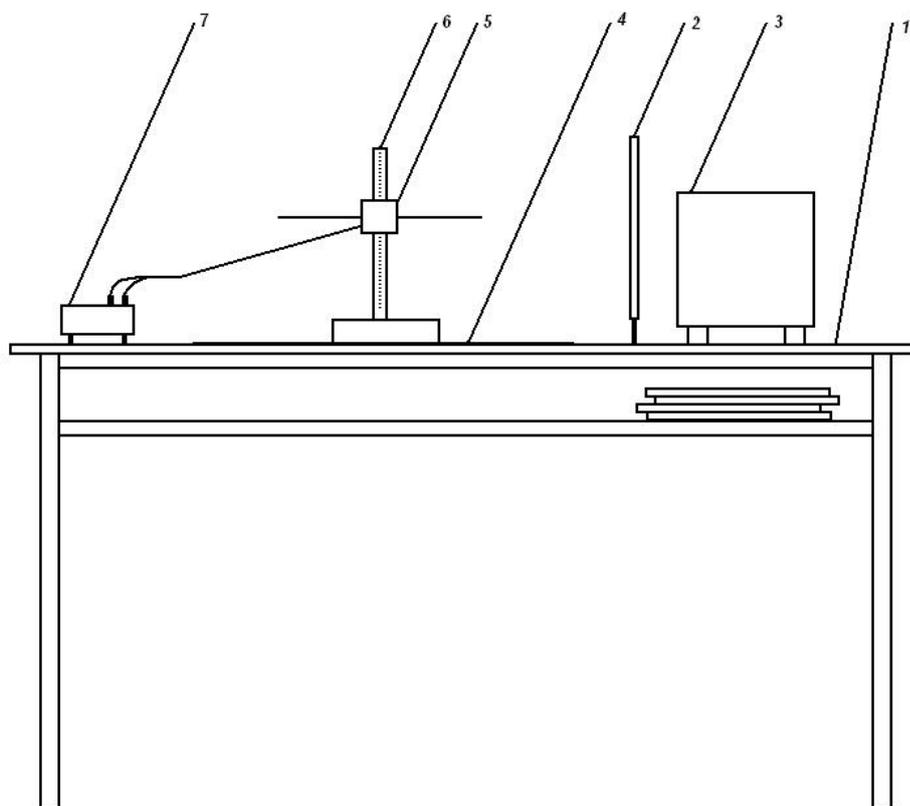


Рисунок 1 – Внешний вид лабораторной установки

### **2.3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

2.3.1 К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.

2.3.2 Запрещается работать с открытой дверцей СВЧ печи.

2.3.3 Запрещается самостоятельно регулировать или ремонтировать дверь, панель управления, выключатели системы блокировки или какие-либо другие части печи. Ремонт должен производиться только специалистами.

2.3.4 СВЧ печь должна быть заземлена.

2.3.5 Не допускается включение и работа печи без нагрузки. Рекомендуется в перерывах между рабочими циклами оставлять в печи кирпич: при случайном включении печи кирпич будет выполнять роль нагрузки.

### **3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

3.1 Ознакомиться с мерами по технике безопасности при проведении лабораторной работы и строго выполнять их.

3.2 Подключить СВЧ печь к сети переменного тока.

3.3 В печь на подставку (перевернутая тарелка) положить кирпич.

3.4 Установить режим работы печи согласно п.2.2.12 в соответствии с паспортом на конкретную печь.

Для СВЧ печи «Плутон» ее включение в рабочий режим осуществляется в следующей последовательности: открыть дверцу нажатием прямоугольной клавиши в нижней части лицевой панели; установить ручку «мощность» в крайнее правое положение; установить ручку «время» в положение 5 мин; плотно закрыть дверцу.

3.5 Разместить датчик на отметке 0 по оси X координатной системы.

Перемещая стойку с датчиком по координате X (удаляя его от печи до предельной отметки 50 см) снять показания мультиметра дискретно с шагом 20 мм. Данные замеров занести в табл.4. Построить график распределения интенсивности излучения в пространстве перед печью.

3.6 Разместить датчик на отметке 0 по оси X. Зафиксировать показания мультиметра.

3.7 Поочередно устанавливать защитные экраны и фиксировать показания мультиметра.

3.8 Определить эффективность экранирования для каждого экрана по формуле:

$$\Delta = [(I - I_0) / I] \cdot 100\% \quad (1)$$

где: I – показания мультиметра без экрана;

I<sub>0</sub> – показания мультиметра с экраном.

3.9 Построить диаграмму эффективности экранирования от вида материала защитных экранов.

3.10 Составить отчет о работе.

#### 4. ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

4.1 Общие сведения.

4.2 Схема стенда

4.3 Данные измерений (табл. 4 и 5)

Таблица 4

Номер измерения	Значение X, см	Значение Y, см	Значение Z, см	Интенсивность излучения (показания мультиметра)
1				
2				
...				
n				

Таблица 5

Номера защитных экранов	Эффективность экранирования, δ
1	
2	
3	
4	
5	

4.4 Графики распределения интенсивности излучения в пространстве и диаграмма эффективности экранирования от вида материала защитных экранов.

## Методические указания для самостоятельной работы

Самостоятельная работа, ее организация играют большую роль в обучении, а также в научной и творческой работе студента вуза. От того, насколько студент подготовлен и включен в самостоятельную деятельность, зависят его успехи в учебе, научной и профессиональной работе.

В системе вузовской подготовки организация самостоятельного учебного труда подчиняется определенным закономерностям, главными из которых являются:

- психолого-педагогическая обоснованность данного труда, предполагающая внутреннее стремление, морально-волевую готовность и желание студента выполнять его самостоятельно, без внешних побуждений;

- воспитывающий характер этого труда, заключающийся в формировании у студента научного мировоззрения, качеств социально активной, деятельной, современной личности;

- взаимосвязь самостоятельного учебного труда с учебно-воспитательным процессом, единство знаний и деятельности как главного средства познания.

Закономерности самостоятельного учебного труда реализуются в конкретных принципах этой деятельности.

Под принципами понимаются исходные положения, определяющие содержание и характер самостоятельного учебного труда студентов, конечные цели которого, как известно, состоят в том, чтобы получить систему знаний в объеме программы вузовской подготовки специалиста, сформировать научное мировоззрение, приобрести качества социально активной и творческой личности.

К принципам самостоятельной учебной деятельности относятся: принцип научности; принцип наглядности; принцип систематичности, последовательности, преемственности в самостоятельной работе; принцип связи теории с практикой; принцип сознательности и активности; принцип индивидуализации стиля самостоятельного учебного труда; принцип доступности и посильности самостоятельной работы; принцип учета трудоемкости учебных дисциплин и оптимального планирования самостоятельной работы; принцип прочности усвоения знаний.

Принципы, которые сегодня становятся ведущими и выдвигаются на первый план:

Принцип сознательности и активности самостоятельного учебного труда исключает механическое заучивание материала, ориентирует студентов на глубокое понимание и осмысление его содержания, на свободное владение приобретенными знаниями. Активность – это, прежде всего, проявление живого интереса к тому, что изучает студент, творческое участие его в работе по осмыслению приобретенных знаний. Активность и сознательность усвоения не мыслятся без высокого уровня творческого мышления, проблемно-исследовательского подхода к приобретаемым знаниям.

Принцип индивидуализации стиля самостоятельного учебного труда студента предполагает опору на собственные свойства личности (особенности восприятия, памяти, мышления, воображения и т.п.), а также на свои индивидуально-типологические особенности (темперамент, характер, способности). Реализация этого принципа позволяет будущему специалисту соизмерять планируемую самостоятельную учебную работу с возможностями ее выполнения, более рационально и полно использовать бюджет личного времени. Этот принцип тесно связан с другим – учетом объективной сложности учебных дисциплин и оптимального планирования студентом познавательно-практической деятельности. Оптимальное планирование самостоятельной работы – важная и необходимая задача, решение которой позволит повысить культуру учебного труда студента.

Перечисленные принципы могут меняться и варьироваться в зависимости от общих задач подготовки специалиста, специфики академической дисциплины, содержания самостоятельной работы и др. показателей. Знание этих принципов, умелое их использование студентами в учебно-познавательной деятельности способствуют овладению системой знаний и формированию качеств современного специалиста.

## **Виды самостоятельной работы, их характеристика**

Самостоятельную работу принято делить на учебную, научную и социальную. Все эти виды взаимосвязаны и взаимообусловлены. Конечно, центральное место занимает учебная самостоятельная деятельность.

Самостоятельная работа представлена такими формами учебного процесса, как лекция, семинар, практические и лабораторные занятия, экскурсии, подготовка к ним.

Студент должен уметь вести краткие записи лекций, составлять конспекты, планы и тезисы выступлений, подбирать литературу и т.д.

Научная самостоятельная работа студента заключается в его участии в работе кружков на кафедрах, в научных конференциях разного уровня, а также в написании курсовых и выпускных квалификационных работ. Положительное значение научной работы проявляется в ряде обстоятельств: будущие учителя участвуют в процессе добывания новых знаний; приобретаемые знания становятся прочными и целеустремленными; студенты видят практические плоды своего труда, что эффективно стимулирует их дальнейшую деятельность; приобретаются начальные навыки в научном исследовании.

В ходе научной работы студент овладевает приемами теоретического мышления.

Выполнение исследования начинается с формулирования темы, разработки плана, подбора и изучения литературы, подготовки приборов, оборудования, а также сбора и обработки материала. Самое важное в исследовании наступает после получения нового материала: его осмысливание, сравнение с ранее известными данными, анализ и синтез, изложение результатов, передача их обществу (доклад, сообщение, опубликование, и т.д.).

Организационно такая работа протекает по-разному: индивидуально под руководством преподавателя (научного руководителя); в рамках научного студенческого кружка; в сотрудничестве с преподавателями кафедры.

Тема может иметь чисто учебное значение (курсовая работа), быть ценной в научном и практическом отношении (выпускные квалификационные (дипломные) работы, технологические проекты и др.).

Важным является умение доложить результаты исследования и подготовить их к опубликованию. Такое умение само по себе не рождается. Ему надо целеустремленно и настойчиво учиться.

Учебная и научная работа имеют в основном образовательное назначение, формируют интеллектуальные качества будущего специалиста.

Навыки работы в коллективе студент приобретает, как правило, через участие в общественной жизни вуза.

Конкретная социальная работа студента может иметь разный масштаб (в рамках группы, курса, факультета, вуза, общественной или спортивной организации), но она всегда прививает ему некоторые общественные качества, необходимые во взаимоотношениях между сокурсниками, будущими коллегами. Это в первую очередь такие качества как терпимость, настойчивость, умение убеждать, требовательность, сочувствие и т.п.

Все виды самостоятельной работы выполняют свои функции и одинаково важны для будущего специалиста.

Самостоятельная работа осуществляется в виде аудиторных и внеаудиторных форм познавательной деятельности по каждой дисциплине учебного плана.

Самостоятельная работа студентов во внеаудиторное время может предусматривать:

- Проработку лекционного материала, работу с научно-технической литературой при изучении разделов лекционного курса, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Подготовку к семинарам, лабораторным и практическим занятиям;
- Решение задач, выданных на практических занятиях;
- Подготовку к контрольным работам;

- Выполнение курсовых проектов (работ) и индивидуальных заданий, предусмотренных учебным планом;

- Выполнение выпускных квалификационных работ и т.д.

Самостоятельная работа студентов в аудиторное время весьма многообразна и может предусматривать:

- Выполнение самостоятельных работ;
- Выполнение контрольных работ, чертежей, составление схем, диаграмм;
- Решение задач;
- Работу со справочной, методической и научной литературой;
- Защиту выполненных работ;
- Оперативный (текущий) опрос по отдельным темам изучаемой дисциплины;
- Собеседование, деловые игры, дискуссии, конференции;
- Тестирование и т.д.

Видами заданий для самостоятельной работы могут быть:

для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы);
- составление плана текста;
- графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста;
- выписки из текста;
- работа со словарями и справочниками; ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа;
- использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.;

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей);

- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- ответы на контрольные вопросы;
- подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии, тематических кроссвордов; тестирование и др.;

для формирования умений:

- решение задач и упражнений по образцу;
- решение вариативных задач и упражнений;
- выполнение чертежей, схем; выполнение расчетно-графических работ;
- решение ситуационных производственных (профессиональных) задач; подготовка к деловым играм;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности;
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);
- экспериментально-конструкторская работа; опытно-экспериментальная работа;
- рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Виды заданий для самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику специальности, изучаемой дисциплины, индивидуальные особенности студента.

В вузе все виды самостоятельной работы студента подчиняются целям учебного процесса, организуются при его главенстве. Организация самостоятельной работы студентов должна сочетаться со всеми применяемыми в вузе методами обучения и вместе с ними представлять единую систему средств по приобретению знаний и выработке навыков.

### **Формирование у студентов навыков самостоятельной работы в учебном процессе**

Лекция - ведущая форма организации учебного процесса в вузе. Роль лекции в вузе так же велика, как и роль урока в общеобразовательной школе. Ее особое значение состоит в том, что она знакомит студента с наукой, расширяет, углубляет и совершенствует ранее полученные знания, формирует научное мировоззрение, учит методике и технике лекционной работы. Преподаватель в процессе изложения курса связывает теоретические положения своей науки с практикой. Вместе с тем на лекции мобилизуется внимание, вырабатываются навыки слушания, восприятия, осмысления и записывания информации.

Лекция несет в себе четкость, стройность мысли, живость языка, эмоциональное богатство и культуру речи. Все это воспитывает логическое мышление студента, закладывает основы научного исследования.

Лекция дает возможность показать образец логического, четкого, аргументированного изложения мыслей, обоснований, суждений, формулирования выводов в соответствии со схемами.

Каждой лекции отводится определенное место в системе учебных занятий по курсу. В зависимости от дидактических целей лекции могут быть: вводными; обзорными;

обобщающими; тематическими; установочными. Они различаются по строению, приемам изложения материала, характеру обобщений и выводов. Выбор типа лекции обусловлен спецификой учебного предмета и решением воспитательных и развивающих задач.

Студентам необходимо готовиться к восприятию лекции, чтобы сознательно усваивать материал, мыслить вместе с преподавателем. Что же входит в предварительную подготовку к лекции, ее восприятию?

Во-первых, психологический настрой на эту работу: осознание необходимости ее систематического выполнения.

Во-вторых, целенаправленная познавательно-практическая деятельность накануне лекции (просматривание записей предыдущей лекции с целью восстановления в памяти ранее изученного материала; ознакомление с заданиями для самостоятельной работы, включенными в программу, подбором литературы).

Подготовка к лекции мобилизует студента на творческую работу, главными в которой являются умения слушать, воспринимать, анализировать, записывать.

Завершающим этапом самостоятельной работы над лекцией является обработка, закрепление и углубление знаний по теме.

### **Роль семинарских и практических занятий в формировании у студентов навыков самостоятельной работы**

Семинар (в переводе с латинского "рассадник") является одной из форм занятий по какому-нибудь предмету, он - логическое продолжение работы, начатой на лекции. Если лекция закладывает основы научных знаний, дает студенту возможность усвоить их в обобщенной форме, то семинары и практические занятия углубляют, конкретизируют и расширяют эти знания, помогают овладеть ими на более высоком уровне репродукции и трансформации. Эти формы учебного процесса способствуют закреплению умений и навыков самостоятельной работы, полученных в процессе работы над лекцией.

Семинар – групповое занятие. Назначение его состоит в углубленном изучении конкретной дисциплины. Он развивает творческую самостоятельность студентов, укрепляет их интерес к науке, научным исследованиям, помогает связывать научно-теоретические положения с жизнью, содействуя выработке практических навыков работы. Вместе с тем семинары являются также средством контроля за результатами самостоятельной работы студентов, своеобразной формой коллективного подведения ее итогов.

Участие в групповых занятиях расширяет общий, профессиональный и культурный

кругозор студентов. Семинары – популярная форма организации учебного процесса, однако подготовка к ним является для студентов наиболее сложным видом самостоятельной работы.

Каждое семинарское занятие – это итог большой целенаправленной самостоятельной работы студентов по заданиям преподавателя. В докладах и выступлениях будущих специалистов обобщаются результаты самостоятельных наблюдений и работы, проведенной ими над учебной и дополнительной литературой. Большое обучающее и развивающее значение семинарских занятий состоит в том, что они приучают студентов свободно оперировать приобретенными знаниями, доказывать выдвигаемые в их докладах и выступлениях положения, полемизировать с товарищами, теоретически объяснять жизненные явления.

Семинары характеризуются, прежде всего, двумя взаимосвязанными признаками:

- самостоятельным изучением студентами программного материала;
- обсуждением результатов их последующей деятельности.

На них студенты учатся выступать с самостоятельными сообщениями, дискутировать, отстаивать свои суждения. Семинары способствуют развитию познавательных умений, повышению культуры общения. Эффективность семинарских занятий определяется не только умелым выбором их тем, но и методами проведения. В практике обучения получили распространение: семинары; развернутые беседы; доклады; рефераты; комментированное чтение; диспут; решение задач; и т. д.

Семинар проводится со всем составом группы студентов. Преподаватель заблаговременно определяет тему, цель, задачи семинара, планирует его проведение, формулирует основные и дополнительные вопросы по теме, распределяет задания с учетом индивидуальных возможностей студентов и их желаний, подбирает литературу, проводит индивидуальные и групповые консультации, проверяет конспекты, формулирует темы докладов и рефератов.

Наряду с перечисленными семинарами, где материал распределяется между отдельными студентами, целесообразно проводить и такие, на которых специальные докладчики не выделяются. Право выступления с сообщениями в этом случае предоставляется по желанию или по вызову преподавателя. Возможно и иное построение семинаров: все студенты готовятся по единому плану и изучают общий для всех объем материала, но отдельные получают дополнительные индивидуальные задания, углубляющие содержание вопросов, предусмотренных программой семинаров. Подготовка студентов к групповым занятиям требует большой работы. Поэтому детальный план каждого семинарского занятия должен объявляться и разъясняться учащимся заблаговременно: примерно за две-три недели до его проведения.

Тема семинара и его план во многом определяют направленность занятия, форму его проведения, цели и задачи. Все зависит от того, насколько они ориентируют студентов на самостоятельность суждений, постановку вопросов, поиск ответов на них. Семинарское занятие не имеет никакого смысла, если выступления студентов сводятся к простому пересказу учебников без должного анализа и обобщения изучаемого материала.

Доклады и сообщения на семинарских занятиях должны вызывать вопросы, желание выступить с дополнением или опровержением. Ход обсуждения сообщений на семинаре направляется преподавателем, чтобы внимание студентов не было отвлечено от того основного, что определено его темой. Но это ни в какой мере не исключает необходимости в ряде случаев рассмотреть на семинаре возникшие в ходе обсуждения острые и волнующие вопросы. Они имеют большое познавательное и воспитательное значение, хотя и не предусмотрены планом занятия.

Задачи преподавателя при подготовке и проведении семинара: составить и разъяснить студентам его план, направить их самостоятельную работу по подготовке к семинару (проведение консультаций, проверка подготавливаемых докладов и сообщений), руководить ходом обсуждения поставленных вопросов, выступать с заключением. Цель его – еще раз подчеркнуть условные вопросы темы, дать исчерпывающие ответы на возникшие у студентов вопросы, а если они были разрешены в ходе обсуждения, подтвердить найденное решение. При

таким построением каждого семинарского занятия оно будет отличаться законченностью содержания.

### **Роль лабораторно – практических занятий в активизации познавательной деятельности студентов**

Практически все курсы вузовской подготовки специалиста сопровождаются лабораторно-практическими занятиями.

Эти занятия включают в себя такие виды работ, как: выполнение типовых расчетов; лабораторные и другие работы, которые носят преимущественно тренировочный характер (решение задач, приобретение умений в пользовании оборудованием и ТСО); проверка знаний, полученных на лекциях, семинарах и самостоятельно. Вследствие этого формы практических занятий могут быть разными: наблюдение, изучение и анализ профессионального опыта, составление разработок (планов, программ, мероприятий) учебно-воспитательной работы с детьми, решение познавательно-практических задач, типовые расчеты.

Выбор формы практического занятия определяется его задачами, целями, а также особенностями изучаемого курса.

Не менее распространенной и эффективной формой подготовки будущего специалиста являются лабораторные работы, которые по некоторым курсам становятся ведущей формой их изучения. Особая значимость этих работ состоит в том, что в ходе их проведения студенты учатся наблюдать, исследовать, проводить опыты, работать с приборами и оборудованием, производить расчеты, передавать мысли в форме эскизов, схем, графиков, рисунков, таблиц и т.д.

Выполнение лабораторных работ формирует у студентов научное мировоззрение, инициативность и самостоятельность.

### **Управление самостоятельной работой студентов**

Самостоятельная работа студентов по изучению дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» включает следующие виды работ:

- изучение материала, изложенного на лекциях;
- изучение материала к лабораторным работам;
- изучение материала к практическим занятиям;
- изучение материала (подготовка) к семинарским занятиям;
- написание контрольной работы.

Формы самостоятельной работы студентов по темам дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и ее трудоемкость в часах (согласно рабочей программе) изложены в таблице 1.

Формы самостоятельной работы по темам дисциплины

/п	Наименование темы (раздела)	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в часах
	Окружающая среда как система	тестирование	4
	Опасные природные явления	презентация	6
	Техногенные системы и их воздействие на окружающую среду	презентация, отчет по лабораторной работе	6
	Методология оценки риска	тестирование, расчетно-графическая работа	6
	Принципы обеспечения	тестирование, расчетно-	4

/п	Наименование темы (раздела)	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в часах
	экологической безопасности	графическая работа	
	Количественная оценка опасных воздействий	отчет по лабораторной работе	6
	Методы снижения экологического риска	отчет по лабораторной работе	6
	Итого		38

### ***Тема 1. Окружающая среда как система***

Понятие техносферы. Структура техносферы и ее основных компонентов. Виды техносферных зон: производственная, промышленная, городская, селитебная, транспортная и бытовая. Этапы формирования техносферы и ее эволюция. Типы опасных и вредных факторов техносферы для человека и природной среды: ингредиентные, биологические и энергетические загрязнения, деградация природной среды, информационно-психологические воздействия. Виды опасных и вредных факторов техносферы: выбросы и сбросы вредных химических и биологических веществ в атмосферу и гидросферу, акустическое, электромагнитное и радиоактивное загрязнения, промышленные и бытовые твердые отходы, информационные и транспортные потоки. Взаимодействие и трансформация загрязнений в среде обитания. Образование смога, кислотных дождей, снижение плодородия почвы и качества продуктов питания, разрушение технических сооружений и т.п. Закон о неизбежности образования отходов жизнедеятельности. Современное состояние техносферы и техносферной безопасности. Исторические, управленческие и технико-экономические причины формирования неблагоприятной для жизни и существования человека техносферы. Критерии и параметры безопасности техносферы - средняя продолжительность жизни, уровень профессиональных и экологически обусловленных заболеваний. Неизбежность расширения техносферы. Современные принципы формирования техносферы. Архитектурно-планировочное зонирование территории на селитебные, промышленные и рекреационно-парковые районы, транспортные узлы. Приоритетность вопросов безопасности и сохранения природы при формировании техносферы. Культура безопасности личности и общества как фактор обеспечения безопасности в техносфере. Безопасность и устойчивое развитие человеческого сообщества.

### ***Тема 2. Опасные природные явления***

#### ***Классификация негативных факторов среды обитания***

Классификация негативных факторов среды обитания человека: физические, химические, биологические, психофизиологические. Понятие опасного и вредного фактора, характерные примеры. Структурно-функциональные системы восприятия и компенсации организмом человека изменений факторов среды обитания. Особенности структурнофункциональной организации человека. Естественные системы защиты человека от негативных воздействий. Характеристики анализаторов: кожный анализатор - осязание, ощущение боли, температурная чувствительность, мышечное чувство; восприятие вкуса, обоняние, слух, зрение. Время реакции человека к действию раздражителей. Допустимое воздействие вредных факторов на человека и среду обитания. Понятие предельно-допустимого уровня (предельно допустимой концентрации) вредного фактора и принципы его установления. Ориентировочно-безопасный уровень воздействия.

*Химические негативные факторы (вредные вещества).* Классификация вредных веществ по видам, агрегатному состоянию, характеру воздействия и токсичности. Классы опасности вредных веществ. Пути поступления веществ в организм человека, распределение и превращение вредного вещества в нем, действие вредных веществ. Конкретные примеры

наиболее распространенных вредных веществ и их действия на человека. Комбинированное действие вредных веществ: суммация, потенцирование, антагонизм, независимость. Комплексное действие вредных веществ. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ: среднесуточная, максимально-разовая в атмосферном воздухе, в воздухе рабочей зоны, в воде (питьевого, рыбо-хозяйственного и культурно-бытового назначения), в почве. Установление допустимых концентраций вредных веществ при их комбинированном действии. Хронические и острые отравления, профессиональные и экологически обусловленные заболевания, вызванные действием вредных веществ. Негативное воздействие вредных веществ на среду обитания на гидросферу, почву, животных и растительность, объекты техносферы. Основные источники поступления вредных веществ в среду обитания: производственную, городскую, бытовую. Алкоголь, наркотики и табак как специфические вредные вещества. Особенности их вредного воздействия на человека.

#### **Тема 4. Методология оценки риска**

Предмет, основные понятия и аппарат анализа рисков. Риск как вероятность и частота реализации опасности, риск как вероятность возникновения материального, экологического и социального ущерба. Качественный анализ и оценивание риска – предварительный анализ риска, понятие деревьев отказов, событий, причин и последствий. Количественный анализ и оценивание риска – общие принципы численного оценивания риска. Методы использования экспертных оценок при анализе и оценивании риска. Понятие опасной зоны и методология ее определения.

#### **Тема 5. Принципы обеспечения экологической безопасности**

##### *Основные принципы, методы и средства защиты*

Принципы, методы и средства обеспечения безопасности. Снижение уровня опасности и вредности источника негативных факторов путем совершенствования его конструкции и рабочего процесса, реализуемого в нем. Увеличение расстояния от источника опасности до объекта защиты. Уменьшение времени пребывания объекта защиты в зоне источника негативного воздействия. Установка между источником опасности или вредного воздействия и объектом защиты средств, снижающих уровень опасного и вредного фактора. Понятие о коллективных и индивидуальных средствах защиты. Знаки безопасности: запрещающие, предупреждающие, предписывающие, указательные, пожарной безопасности, эвакуационные, медицинского и санитарного назначения. Применение малоотходных технологий и замкнутых циклов.

##### *Защита от химических и биологических негативных факторов*

Общие задачи и методы защиты: рациональное размещение источника по отношению к объекту защиты, локализация источника, удаление вредных веществ из защитной зоны, применение индивидуальных и коллективных средств очистки и защиты. *Защита от загрязнения воздушной среды.* Вентиляция: системы вентиляции и их классификация; естественная и механическая вентиляция; общеобменная и местная вентиляция, приточная и вытяжная вентиляция, их основные виды и примеры выполнения. Требования к устройству вентиляции. *Очистка от вредных веществ атмосферы и воздуха рабочей зоны.* Основные методы, технологии и средства очистки от пыли и вредных газов. Сущность работы основных типов пылеуловителей и газоуловителей. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. *Защита от загрязнения водной среды.* Основные методы, технологии и средства очистки воды от растворимых и нерастворимых вредных веществ. Сущность механических, физико-химических и биологических методов очистки воды. *Рассеивание и разбавление вредных выбросов и сбросов.* Понятие предельно допустимых и временно согласованных выбросов и сбросов. Сущность рассеивания и разбавления. *Методы обеспечения качества питьевой воды и водоподготовка.* Требования к качеству питьевой воды. Методы очистки и обеззараживания питьевой воды. Хлорирование, озонирование, ультрафиолетовая и термическая обработка.

Сорбционная очистка, опреснение и обессоливание питьевой воды. Достоинства и недостатки методов, особенности применения. Коллективные и индивидуальные методы и средства подготовки питьевой воды. Модульные системы водоподготовки, индивидуальные устройства очистки питьевой воды. *Методы утилизации и переработки антропогенных и техногенных отходов.* Классификация отходов: бытовые, промышленные, сельскохозяйственные, радиоактивные, биологические, токсичные – классы токсичности. Сбор и сортировка отходов. Современные методы утилизации и захоронения отходов. Отходы как вторичные материальные ресурсы. Методы переработки и регенерации отходов. Примеры вторичного использования отходов как метод сохранения природных ресурсов.

#### *Защита от энергетических воздействий и физических полей*

Основные принципы защиты от физических полей: снижение уровня излучения источника, удаление объекта защиты от источника излучения, экранирование излучений – поглощение и отражение энергии.

*Защита от вибрации:* основные методы защиты и принцип снижения вибрации. Индивидуальные средства виброзащиты. Контроль уровня вибрации.

*Защита от шума, инфра- и ультразвука.* Основные методы защиты: снижение звуковой мощности источника шума, рациональное размещение источника шума и объекта защиты относительно друг друга, защита расстоянием, акустическая обработка помещения, звукоизоляция, звукопоглощение, экранирование и применение глушителей шума. Принцип снижения шума в каждом из методов и области их использования. Особенности защиты от инфра- и ультразвука. Индивидуальные средства защиты. Контроль уровня интенсивности звука.

*Защита от электромагнитных излучений, статических электрических и магнитных полей.* Общие принципы защиты от электромагнитных полей. Экранирование излучений - электромагнитное экранирование, электростатическое экранирование, магнитостатическое экранирование. Эффективность экранирования. Особенности защиты от излучений промышленной частоты. Защита от радиопомех промышленных, создаваемых линиями электропередач и электрическими подстанциями. Индивидуальные средства защиты. Контроль уровня излучений и напряженности полей различного частотного диапазона. *Защита от лазерного излучения.* Классификация лазеров по степени опасности. Общие принципы защиты от лазерного излучения. *Защита от инфракрасного (теплого) излучения.* Теплоизоляция, экранирование – типы теплозащитных экранов. *Защита от ионизирующих излучений.* Общие принципы защиты от ионизирующих излучений – особенности защиты от основных видов излучений (гамма, рентгеновского, бета, альфа и нейтронного излучения). Особенности контроля уровня ионизирующих излучений различных видов.

### ***Тема 3. Техногенные системы и их воздействие на окружающую среду***

#### *Классификация чрезвычайных ситуаций*

Классификация чрезвычайных ситуаций (ЧС). Фазы развития чрезвычайных ситуаций.

#### *Чрезвычайные ситуации природного характера*

Причины возникновения, классификация, характеристика, шкалы измерения, последствия возникновения природных ЧС, мероприятия по предупреждению природных ЧС, меры защиты и рекомендации населению при угрозе и во время возникновения природных ЧС.

#### *Чрезвычайные ситуации техногенного характера*

Причины возникновения, классификация, характеристика, последствия возникновения техногенных ЧС, профилактические мероприятия по предупреждению техногенных ЧС, меры защиты и рекомендации населению по действиям при угрозе и во время техногенных ЧС.

#### *Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени*

Защита населения в чрезвычайных ситуациях. Основные мероприятия защиты населения в ЧС и условия их применения. Системы оповещения населения о ЧС. Средства оповещения

населения о ЧС. Инженерно-технические мероприятия по защите населения от ЧС. Потенциально опасные объекты (проектирование, размещение, строительство, эксплуатация). Защитные сооружения для укрытия населения от поражающих факторов ЧС. Убежища. Противорадиационные укрытия. Укрытия простейшего типа. Размещение и правила поведения людей в защитном сооружении. Эвакуация населения из зон ЧС. Основные положения по эвакуации населения в военное время. Основные положения по эвакуации населения в мирное время. Средства индивидуальной защиты. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Фильтрующие гражданские противогазы. Промышленные фильтрующие противогазы. Автономные средства индивидуальной защиты органов дыхания. Средства защиты кожи. Изолирующие средства защиты кожи. Фильтрующие средства защиты кожи. Медицинские мероприятия по защите населения. Медицинские средства индивидуальной защиты. Оказание медицинской помощи населению. Лечебно-эвакуационное обеспечение населения. Санитарно-эпидемиологический надзор в ЧС. Действия населения по сигналам гражданской обороны. Особенности проведения АС и ДНР на территории, зараженной АХОВ. Особенности проведения АС и ДНР при стихийных бедствиях.

**Содержание тем семинарских занятий с указанием рекомендуемых для подготовки источников**

**Темы докладов к семинарским занятиям**

Тема семинарского занятия	Тема доклада
Чрезвычайные ситуации природного характера и защита населения от их последствий	1. Опасные геологические явления и процессы
	2. Опасные гидрологические явления и процессы
Чрезвычайные ситуации техногенного характера и защита населения от их последствий	3. Аварии на химически опасных объектах
	4. Аварии на радиационно опасных объектах
	5. Аварии на пожаро- и взрывоопасных объектах