



**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова**

**Научно-образовательный центр по нанотехнологиям**

**Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации,  
информации и сертификации сырья, материалов и веществ**

**Химический факультет**

**Кафедра химической технологии и новых материалов**

**С.И. Сердюков, А.С. Макарова**

**ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ  
ОБРАЩЕНИИ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ  
МАТЕРИАЛАМИ И ИХ КОМПОНЕНТАМИ**

*Учебное пособие для студентов по специальности  
«Композиционные наноматериалы»*

**МОСКВА 2010**

**Редакционный совет:**

**проф. В.В. Авдеев,**

**проф. А.Ю. Алентьев,**

**проф. Б.И.Лазорак**

**доц. О.Н. Шорникова**

**Методическое руководство предназначено для слушателей магистерской программы химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова по направлению «композиционные наноматериалы»**

**Настоящее методическое руководство подготовлено в рамках образовательной программы магистерской подготовки, ориентированной на инвестиционные проекты ГК «Роснано» в области промышленного производства препрегов на основе наномодифицированных углеродных и минеральных волокон и наномодифицированных связующих**

## ВВЕДЕНИЕ

Объемы производства и использования химической продукции в мире постоянно растут. Это приводит к увеличению уровня загрязнения окружающей среды и повышает опасность воздействия химических веществ на человека. В соответствии с данными ООН в мире каждый год появляется примерно 1500 новых химических веществ дополнительно к тем 80 тысячам, которые производятся в настоящее время. По данным ВОЗ более 25% заболеваний во всем мире обусловлено экологическими факторами, в том числе воздействием химических веществ<sup>1</sup>.

Несмотря на предпринимаемые меры, продолжают возникать чрезвычайные ситуации, связанные с обращением химической продукции, оказывающие в результате негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду<sup>1</sup>. На территорию РФ в атмосферный воздух ежегодно выбрасывается около 20 миллионов тонн химических веществ, а накопленные токсичные отходы, по данным международных организаций, составляют более 84 млн. тонн. 75% всех смертельных случаев, возникающих в результате аварий, связаны с химическим фактором.<sup>2</sup> В соответствии с конвенцией Международной Организации Труда «О безопасности при использовании химических веществ на производстве» №170 от 25 июня 1990г вся химическая продукция является потенциально опасной и подлежит обязательной оценке опасности.

Институт ООН по Обучению и Исследованиям (UNITAR) предлагает схему безопасного применения химической продукции, представленную на рис.1.<sup>3</sup> Оценка опасности и последующая ее классификация рассматриваются UNITAR в качестве основы программ, гарантирующих безопасное применение веществ и материалов. Безопасное применение химической продукции подразумевает передачу всем заинтересованным лицам информации об опасных свойствах и мерах по ее безопасному обращению. Минимизация риска воздействия веществ и материалов на здоровье человека и окружающую среду лежит в плоскости формирования системы ее рационального использования и оптимизации процессов обращения химикатов на международном, региональном и национальном уровнях.

---

<sup>1</sup> ВОЗ, 63 сессия Всемирной ассамблеи здравоохранения, п. 11.18 предварительной повестки дня от 25 марта 2010 (A63/21).

<sup>2</sup> Концепция Федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009 – 2013 годы)». Утверждена распоряжением правительства РФ от 20.01.2008 № 74-р.

<sup>3</sup> Разработка национальной стратегии внедрения СГС. Методическое руководство по внедрению согласованной на глобальном уровне системы классификации и маркировки химических веществ (СГС). Первое издание.: - Женева, UNITAR, 2005.



Анализ и оценка риска нацелены на лиц, принимающих решения о порядке обращения с химической продукцией, и служат инструментом, который позволяет проводить количественные оценки, обеспечивающие научную поддержку в процессе принятия решений.

Одной из основных задач оценки риска, возникающего при обращении с химической продукцией, является определение количественных характеристик возможной опасности. Только зная эти характеристики можно на базе общих методов разработать частные методы обеспечения безопасности и оценивать существующие системы технического регулирования с точки зрения их эффективности.

Для определения количественных характеристик возможной опасности при обращении с химической продукцией необходимо провести анализ ущерба, наносимого окружающей среде и последствий для людей, непосредственно использующих эту продукцию или находящихся вблизи от протекающего процесса её использования. Результаты рассмотрения характера нежелательных последствий, ожидаемой частоты их появления, а также ущерба, вызываемого их влиянием на окружающую среду, здоровье или жизнь людей, и являются оценкой риска. Конечным результатом изучения степени риска может быть, например, такое утверждение: “Возможное число человеческих жертв в течение года в результате использования некой химической продукции равно N человек”. Таким образом, риск можно рассматривать как частоту реализации потенциальных опасностей. Количественная оценка риска - это отношение числа тех или иных неблагоприятных последствий к их возможному числу за определенный период. С точки зрения общества в целом интересно сравнение полученной величины со степенью риска обычных условий человеческой жизни, для того чтобы получить представление о приемлемом уровне риска и иметь основу для принятия соответствующих решений.

По данным американских ученых индивидуальный риск гибели по различным причинам по отношению ко всему населению США за год составляет: автомобильный транспорт -  $30 \times 10^{-5}$ , падение -  $9 \times 10^{-5}$ , отравление -  $2 \times 10^{-5}$  и т.д. Полная безопасность человека не может быть гарантирована независимо от его образа жизни.

При уменьшении риска ниже уровня  $10^{-5}$  в год общественность не выражает чрезмерной озабоченности, и поэтому редко предпринимаются специальные меры для снижения степени риска (например, степень риска погибнуть от удара молнии составляет не более  $10^{-5}$ ). Пренебрежимо малым считается риск менее  $10^{-8}$  в год.

Необходимо отметить, что оценку риска тех или иных событий можно производить только при наличии достаточного количества статистических данных. В противном случае данные будут не точны, так как речь идет о так называемых “редких явлениях”, к которым классический вероятностный подход не применим. Так, например, до чернойбыльской аварии риск гибели в результате аварии на атомной электростанции оценивался в  $2 \times 10^{-10}$  в год.

Таким образом, необходимо анализировать все технические и социальные аспекты в их взаимосвязи. При этом возможно обеспечить приемлемый риск, который сочетает в себе технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет собой некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. В данной работе рассмотрен новый подход к систематизации и количественной оценке потенциальных опасностей, позволяющий планировать

деятельность по управлению рисками, возникающими при обращении с веществами и композиционными материалами.

# ГЛАВА 1. ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА И МАТЕРИАЛЫ

## 1. Основные понятия

Рассмотрим наиболее важные определения, используемые в данной работе.

**Вещество** - простое химическое вещество, соединение или смесь химических соединений, существующих в природе, либо искусственно созданных на их основе веществ.

**Материал** - основное отличие материала от вещества состоит в том, что материал может быть использован по назначению без изменения его химического состава и физических свойств (например, полиэтиленовая пленка является материалом, а полиэтилен в гранулах - веществом).

**Композиционный материал** – материал, состоящий из двух или более компонентов или фаз с существенно различными свойствами. Последнее условие отличает композиционный материал от смеси веществ.

**Потенциальная опасность вещества или материала** - мера вероятного наибольшего ущерба, который может быть нанесен человеку или окружающей среде в результате неправильного обращения с веществом или материалом. Потенциальная опасность вещества или материала зависит только от его физико-химических свойств и не зависит от параметров окружающей среды и от способа его использования.

**Риск.** В данном обзоре рассматриваемым источником риска являются вещества и материалы. Поэтому **риск** - это вероятность нанесения ущерба человеку или окружающей среде при обращении с веществом или материалом. Степень риска зависит как от потенциальной опасности собственно вещества или материала, так и от условий, при которых данное вещество или материал используется (от количества вещества (материала), находящегося в обращении, от применяемых мер предосторожности, от состояния окружающей среды, от уровня информированности персонала и т.п.). В данной работе риск предлагается измерять в некоторых относительных величинах - баллах, причем, максимальному риску соответствует балл, равный 1. Граница же для минимального риска не устанавливается, поскольку принимается концепция, что любая деятельность, связанная с обращением с веществами или материалами, является источником риска, который отличен от нуля.

Помимо понятий «опасности» и «риска» необходимо также дать определения и другим терминам.

**Жизненный цикл вещества или материала** - цикл, включающий в себя все стадии существования (использования) вещества или материала: разработку (синтез),

производство, испытания, транспортировку, включая ввоз на территорию Российской Федерации, вывоз с территории Российской Федерации и транзит по территории Российской Федерации, хранение, использование по назначению, ликвидацию или переработку его отходов.

**Окружающая среда (ОС)** - внешняя среда, в которой функционирует предприятие, включая воздух, воду, землю, природные ресурсы, флору, фауну, человека и их взаимодействие [1].

**Воздействие на ОС** - любое отрицательное или положительное изменение в ОС, полностью или частично являющееся результатом деятельности предприятия, его продукции или услуг [1].

**Оценка** потенциального **риска** при использовании веществ и материалов ориентирована на конкретный "управляемый" (известный и измеряемый) фактор среды. Практическое использование расчета потенциального риска в нашей стране началось достаточно давно, с внедрением концепции ПДК, когда появилась возможность, опираясь на цифры содержания вредных примесей в объектах среды обитания человека, судить о допустимости использования тех или иных веществ и материалов. Дальнейшее развитие такого подхода позволило ранжировать уровни риска на несколько степеней - от допустимого (или приемлемого) до чрезвычайно опасного, ориентируясь на кратность превышения норматива. В современных условиях специалисту необходимо отвечать на более сложные вопросы, что требует дальнейшего развития концепции риска. Так, система оценки риска должна органично вливаться в систему общего управления и принятия решений в административной практике. Риск должен измеряться, иметь стоимость, быть понятным по смыслу чиновникам и общественности, позволять проводить сравнения и нормирование [2].

**Оценка риска** является одной из основ для принятия решений по профилактике неблагоприятного воздействия экологических факторов на здоровье населения. Другие необходимые для этого условия - анализ нерисковых факторов, сопоставление их с характеристиками риска и установление между ними соответствующих пропорций. Все это входит в процедуру управления, являющуюся этапом системы мониторинга. Решения, принимаемые на такой основе, не являются ни чисто хозяйственными, ориентирующимися только на экономическую выгоду, ни чисто медико-экологическими, преследующими цель устранения даже минимального риска для здоровья человека или стабильности экосистемы без учета затрат на обеспечение такой ситуации. Другими словами, сопоставление медико-экологических, социальных и технико-экономических



факторов дает основу для ответа на вопрос о степени приемлемости риска и необходимости принятия регулирующего решения.

В работе [3] предложена концепция планирования деятельности по управлению рисками в зависимости от уровня риска (таблица 1).

**Таблица 1. Уровни риска**

Уровень риска	Способ управления
Неприемлемый (только если снижение риска непрактично или его стоимость чрезмерна)	Исключение применения
Переносимый (если стоимость снижения риска может превысить получаемое улучшение)	Снижение риска насколько разумно это практически
Пренебрежимый (общепринятый)	Незначительный риск

Помимо этого необходимо ввести классы условий (степеней риска):

- **Оптимальные** - риск отсутствует;
- **Допустимые** - пренебрежимый риск;
- **Вредные** - переносимый с мерами защиты риск;
- **Опасные** - неприемлемый риск.

При планировании деятельности, связанной с управлением рисками, мы будем опираться на классификацию рисков, приведенную в работах [3,4], в которых выделены следующие уровни риска:

**Допустимый или приемлемый риск** - сознательное допущение некоторой вероятности причинения вреда ОС и/или здоровью человека ради достижения экологического или экономического эффекта [5]. С понятием «**приемлемого риска**» связаны понятия о «**пренебрежимом**», «**предельно допустимом**» и «**чрезмерном**» уровнях риска. Например, авторы [4] дают следующие определения понятий «пренебрежимого» и «предельно допустимого» уровней риска:

**Пренебрежимый уровень риска** - уровень риска, который пренебрежимо мал, поскольку, например, он находится в пределах флуктуации естественного (фоновое) уровня риска; такой уровень риска находится вне сферы интересов регулирующего органа (регулирующий орган - наделенный официальной властью орган, занимающийся вопросами безопасности населения, охраны ОС). Пренебрежимому уровню риска соответствуют оптимальные условия из приведенной выше классификации.

**Предельно допустимый уровень риска** - уровень риска, который не должен превышать независимо от экономических и социальных преимуществ для общества в целом и деятельности, связанной с этим риском. Он должен быть настолько низким, чтобы наличие его не вызывало беспокойства.

**Чрезмерный уровень риска** характеризует чрезмерную опасность - «несоответствие среды обитания человека, растений, животных их врожденным и

приобретенным свойствам, приводящее к превышению уровня приемлемой безопасности» [6]. Уровень риска, превышающий предельно допустимый, рассматривается как чрезмерный, и любая практическая деятельность, приводящая к возникновению чрезмерного риска, является недопустимой [7].

**Цель управления** риском может быть определена как снижение уровней опасностей, реализация которых может привести к неблагоприятным последствиям для человека, общества и природы. Цель управления риском можно определить и более обобщенно: обеспечение безопасности человека, общества и природы от негативных воздействий опасных факторов, связанных с обращением с веществами и материалами на протяжении всего их жизненного цикла.

Из приведенных ранее определений риска следует, что в общем случае математическое выражение для его вычисления должно представлять собой произведение двух величин: вероятности (частоты) опасного или нежелательного события и ущерба, который может быть причинен в результате реализации такого события. Значение риска может быть как безразмерной величиной (хотя «безразмерность» может подразумевать существование размерностей типа чел./чел., руб./руб. и т.п.), так и иметь размерность (обратное время, исчисление в денежном выражении и т.д.).

Параметры, входящие в те или иные формулы для вычисления рисков, могут определяться различными способами, в том числе и с использованием известных методов прогнозирования:

- статистической обработки данных по нежелательным событиям в прошлом и экстраполяции результатов в будущее в предположении, что условия, для которых определялся риск, сохранятся в будущем;
- экспертной оценки;
- моделирования процессов или явлений на основе эмпирических или теоретических представлений. «Специалист по рискам» в этом случае ограничен только свойствами используемой модели.

Кроме того, принципиально разные по своей природе опасности при их количественной оценке в виде рисков могут быть приведены к сопоставимому виду, что позволяет:

- определять величину общего (суммарного) риска от воздействия различных факторов;
- выявлять наиболее значимые факторы опасности;
- определять вероятный ущерб как по отдельным факторам, так и по всей их совокупности;

- проводить оптимизацию затрат на снижение уровней рисков от различных факторов опасности в условиях ограниченности ресурсов.

## **2. Оценка потенциальных опасностей, связанных с обращением с веществами и материалами**

*Основные опасные и вредные производственные факторы, возникающие при обращении с веществами и материалами (ГОСТ 12.0.003-7)*

Описание основных потенциальных опасностей, возникающих при обращении с веществами и материалами, необходимо начать с исследования стандартов и документов, отражающих официальную точку зрения на проблему и политику РФ в этом вопросе. Основные опасности, связанные с обращением с веществами и материалами в процессе производства, изложены в ГОСТ 12.0.003-74. По этому ГОСТу опасные и вредные производственные факторы подразделяются на четыре группы:

- 1) группа физически опасных и вредных производственных факторов;
- 2) группа химически опасных и вредных производственных факторов;
- 3) группа биологически опасных и вредных производственных факторов;
- 4) группа психофизиологически опасных и вредных производственных факторов [8,9].

Непосредственно к опасным и вредным производственным факторам, возникающим благодаря использованию различных веществ и материалов, относится группа химически опасных вредных факторов, которая по характеру воздействия на человека подразделяет возможные опасности на шесть подгрупп:

- общетоксические вещества, действующие на центральную нервную систему, кровь и кроветворные органы (сероводород, ароматические углеводороды, оксиды углерода и т.п.);
- раздражающие вещества, действующие на слизистые оболочки глаз, носа, гортани и кожный покров (пары щелочей и кислот, оксиды азота, аммиак, ди- и триоксиды серы);
- сенсibiliзирующие вещества, которые после относительно непродолжительного воздействия на организм вызывают повышенную чувствительность к ним, т. е. быстро развиваются реакции вызывающие кожные заболевания, астматические явления, болезнь крови (ртуть, альдегиды, ароматические нитро-, нитрозо- и аминосоединения);
- канцерогенные вещества, приводящие к развитию злокачественных (раковых) опухолей (продукты перегонки нефти, сажа, деготь);
- мутагенные соединения, вызывающие нарушение наследственного аппарата человека, отражающиеся на его потомстве (соединения свинца, ртути, оксид этилена);

- вещества, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию (ртуть, свинец, стирол, радиоактивные вещества и др.).

По способу воздействия на человека различают три подгруппы:

- вещества, действующие через дыхательные пути;
- вещества, действующие через пищеварительную систему;
- вещества, действующие через кожный покров и слизистые оболочки.

*Показатели опасности веществ и материалов при воздействии на организм человека*

*(ГОСТ 12.01.007-76)*

ГОСТ 12.01.007-76 классифицирует вещества и материалы по степени их воздействия на организм человека, и, в первую очередь, в рабочей зоне [3]. В соответствии с этим ГОСТом все химические вещества и материалы разделены на четыре группы (классы опасности) в зависимости от степени их воздействия на организм человека (таблица 2).

**Таблица 2. Классификация опасности веществ по степени их воздействия на организм**

Показатель	Классы опасности			
	I	II	III	IV
Предельно допустимая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны (ПДКр.з.), мг/м <sup>3</sup>	<0,1	0,1...1,0	1,1...10	>10
Среднесмертельная доза (DL <sub>50</sub> ), мг/кг, при введении в желудок	<15	15...150	151...5000	>5000
- " - при нанесении на кожу	<100	100...500	501...2500	>2500
Среднесмертельная концентрация в воздухе (CL <sub>50</sub> ), мг/м <sup>3</sup>	<500	500...5000	5001...50000	>50000
Коэффициент возможного ингаляционного отравления (КВИО) <sup>4</sup>	>300	300...30	29...3	<3
Зона острого действия (Zac) <sup>5</sup>	<6	6...18	18,1...54	>54
Зона хронического действия (Zch) <sup>6</sup>	>10	10...5	4,9...2,5	<2,5
Пороговая концентрация (ПК), мг/л, острого действия	<0,01	0,01...0,1	0,11...1,0	>1,0
- " - хронического действия	>10	10...5	4,9...2,5	<2,5

В соответствии с этим ГОСТом основными показателями опасности вещества или материала (показателями, по которым они относятся к тому или иному классу опасности)

<sup>4</sup> КВИО - отношение максимально достижимой концентрации вещества в воздухе (Снас.) при 20<sup>0</sup>С к средней смертельной концентрации вещества для лабораторных животных (мыши, крысы и др.).

<sup>5</sup> Зона острого действия - отношение среднесмертельной концентрации вещества к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящее за пределы приспособительных физиологических реакций.

<sup>6</sup> Зона хронического действия - отношение минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящее за пределы приспособительных физиологических реакций, к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей вредное действие в хроническом эксперименте по четыре часа пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев.

являются: **острая токсичность** при ингаляции, попадании в желудок или на кожу, а также опасность **хронического воздействия**. Причем необходимо отметить, что оценка хронического действия через зону хронического действия и пороговую концентрацию представляет определенные трудности из-за отсутствия необходимых экспериментальных данных. Кроме того, при таком подходе приравниваются различные типы хронического воздействия, что неправильно, так как один тип воздействия может быть обратимым, а другой нет. Не учитывается также воздействие вредного вещества на последующие поколения.

*Основные опасности, возникающие при транспортировке веществ или материалов  
(ГОСТ 19433-88)*

Опасности, возникающие при транспортировке веществ или материалов, описаны в ГОСТ 19433-88 [10]. Этот ГОСТ, в основном, направлен на оценку и классификацию возможных опасностей в аварийных ситуациях при транспортировке веществ и материалов. Основные классы и подклассы, характеризующие опасность грузов (в нашем случае вещества и материалы), представлены в Приложении (Таблица П1). Основным отличием вышеназванного стандарта является его универсальный междисциплинарный подход к классификации опасности химических веществ, когда в соответствии с требованиями одного документа оценивается не только биологическая опасность вещества, но и его физико-химические характеристики и прежде всего такие, как пожаро- и взрывоопасность и др. Подход к маркировке опасных веществ идентичен европейскому. Например, для обозначения очень токсичного вещества имеется графический символ - всем известный череп с перекрещенными костями.

*Показатели опасности для веществ и материалов, являющихся компонентами отходов*

Для оценки опасностей, которые могут представлять отходы производства или потребления тех или иных веществ и материалов, используются свои стандарты и требования, изложенные в методических рекомендациях по определению класса опасности отходов [11].

### *Другие виды опасности*

Помимо вышеперечисленных в различной литературе [12,13], посвященной безопасности при обращении с веществами и материалами, можно также встретить следующие виды потенциальных опасностей:

1. Кумулятивность (способность накапливаться в организме).
2. Гонадотропное воздействие (воздействие на органы размножения).
3. Кожно-резорбтивное воздействие (способность всасываться через кожу).

Решению проблем классификации в токсикологии во многом способствует установление протяженности периода прямого воздействия вещества или материала на организм, а также выявление различных форм и сроков обнаружения последствий первичных токсических эффектов.

## **3. Количественная оценка опасности**

### **3.1. Оценка опасности вещества в целом.**

Количественная оценка опасности вещества или материала является довольно трудной задачей, поскольку не существует однозначной шкалы. Наиболее широко используемый в РФ и в некоторых других странах параметр, отражающий опасность вещества или материала в целом, это класс опасности [35].

Согласно ГОСТ 12.01.007-76 все вредные вещества по степени их воздействия на организм человека разделены на 4 класса: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные и малоопасные вещества [14]. Параметры, по которым определяется класс опасности того или иного вещества определены, в таблице 2.

Сходные классификации по классам опасности существуют для веществ и материалов, которые могут загрязнять атмосферный воздух, водоемы культурно-бытового и хозяйственно-питьевого назначения, почвы и кожные покровы. Существующая на настоящее время классификация отходов тоже опирается на четыре класса опасности [11].

В перечне рыбохозяйственных нормативов 1999г. [15] в четвертом классе выделены вещества, действие которых проявляется в изменении экологических условий в водоеме (эвтрофирование, минерализация и т.д.). Эти умеренно опасные вещества отнесены к 4-э классу - «экологическому», а сами классы определяются следующим образом: 1 - чрезвычайно опасные, 2 - высокоопасные, 3 - опасные, 4 - умеренно опасные и 4э – вещества, умеренно опасные «экологически».

Другой принцип оценки опасности вещества или материала в целом изложен в ГОСТ 19433-88. Согласно этому ГОСТу для описания опасности используется четырехзначный код, так называемый «классификационный шифр». Уникальность этого шифра состоит в том, что он не только отражает степень опасности вещества в целом, но и дает представление о том, каким именно видом опасности обладает данное вещество. Причем он дает представление как об основном, так и дополнительном виде опасности. Первые два символа шифра - это номер класса и подкласса основного вида опасности (в соответствии с таблицей П2). Третий символ показывает наличие дополнительного вида опасности (в соответствии с таблицами из приложения 2 к ГОСТ 19433-88, где для каждого подкласса существует своя таблица дополнительных видов опасности). Последний символ обозначает степень опасности. Установлены следующие степени опасности: 1- высокой степени опасности; 2 - средней степени опасности; 3 - низкой степени опасности. Исключение составляют взрывоопасные (класс 1) и инфекционные вещества (подкласс 6.2), для этих веществ не определяется дополнительный вид опасности и степень опасности. Помимо этого своя специфика при классификации есть и у радиоактивных веществ (класс 7).

При классификации газообразных веществ (класс 2), четвертая цифра в классификационном шифре отвечает физическим свойствам или агрегатному состоянию вещества. Какая из имеющихся опасностей вещества или материала является основной, определяется в соответствии со степенью опасности и таблицей приоритетов, приведенной в том же ГОСТе.

**Пример.** Исходные данные: Физические и химические свойства вещества: горючее твердое вещество,  $t_{пл} = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{кип} = 240^{\circ}\text{C}$ . Ядовитое действие вещества:  $DL_{50}$  при введении в желудок – 3 мг/кг;  $DL_{50}$  при нанесении на кожу – 150 мг/кг. Скорость распространения пламени (СРП) – 40 мм/с.

На основании исходных данных вещество может характеризоваться двумя видами опасности – подклассов 4.1 и 6.1. По СРП вещество характеризуется средней степенью опасности подкласса 4.1. По  $DL_{50}$  при введении в желудок степень опасности – высокая, по  $DL_{50}$  при нанесении на кожу степень опасности – средняя. Следовательно, вещество характеризуется высокой степенью опасности подкласса 6.1.

В соответствии с установленным приоритетом видов опасности (см. ГОСТ 19433-88, табл. 2) вещество должно быть отнесено к подклассу 4.1 и категории 412 (третья цифра 2 показывает, что это вещество ядовито, подробнее см. приложение 2 к ГОСТу 19433-88, табл. 17). Степень опасности назначается высокая, то есть 1. Таким образом, классификационный шифр для данного вещества 4121.

### **3.2. Классификация веществ и материалов, находящихся в почве (ГОСТ 17.4.1.02-83)**

Согласно ныне действующему стандарту (ГОСТ 17.4.1.02-83) [16] по степени опасности в почве химические вещества подразделяют на 3 класса: 1 - вещества высоко опасные; 2 - вещества умеренно опасные; 3 - вещества мало опасные. Класс опасности химических веществ устанавливают не менее, чем по трем показателям в соответствии с таблицей 3:

**Таблица 3. Параметры для классификации веществ и материалов, находящихся в почве**

Показатель	Нормы для классов опасности		
	1	2	3
Токсичность DL <sub>50</sub>	<200	200...1000	>1000
Персистентность в почве, мес.	>12	6...12	<6
ПДК в почве, мг/кг	<0,2	0,2...0,5	>0,5
Миграция	Мигрирует	Слабо мигрирует	Не мигрирует
Персистентность в растениях, мес.	≥3	1...3	<1
Влияние на пищевую ценность с.-х. продукции	Сильное	Умеренное	Нет

К 1 классу опасности относят пестициды: атразин, гексахлорбутадиен, гранозан, ГХЦГ, гептахлор, ДНОК, ДДТ, карбатион, метафос, ПХК, ПХП, севин, тордон, тиодан, ТМТД.

Ко 2 классу - агелон (атразин + прометрин), 2,4-Д, далапон, карбофос, купрозан, кельтан, нитрафен, пропанид, симазин, трефлан, хлорофос, ялан, рогор.

К 3 классу - банвел Д, дактал, дилор, мильбекс, полидим, поликарбацин, прометрин, трихлорацетат натрия, тедион, цинеб, эрадикан.

Вещества, попадающие в почву из выбросов, сбросов, отходов, делят по классам опасности следующим образом:

- 1 класс - мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен;
- 2 класс - бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром;
- 3 класс - барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон.

### 3.3. Классификация веществ и материалов по токсичности продуктов горения по ГОСТ 12.1.044-89

Показатель токсичности продуктов горения (H<sub>CL50</sub>) представляет собой отношение количества вещества или материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении вещества или материала газообразные продукты вызывают гибель 50% подопытных животных [17]. В основном этот метод используется для полимерных и композиционных материалов.

**Таблица 4. Классификация веществ и материалов по токсичности продуктов горения**

Класс опасности	H <sub>CL50</sub> , г/м <sup>3</sup> , при времени экспозиции, мин			
	5	15	30	60
Чрезвычайно опасные	<25	<17	<13	<10
Высокоопасные	25...70	17...50	13...40	10...30
Умеренно опасные	70...210	50...150	40...120	30...90
Малоопасные	>210	>150	>120	>90



### 3.4. Оценка опасностей, связанных со специфическими и отдаленными эффектами

Количественная оценка опасностей веществ и материалов, связанных со специфическими и отдаленными эффектами, является еще более сложной задачей по сравнению с оценкой опасности, связанной с острой токсичностью. В первую очередь это связано с тем, что тот или иной эффект чаще всего проявляется спустя длительный промежуток времени, когда почти не предоставляется возможным установить ни длительность воздействия вещества или материала, ни его концентрацию, а иногда даже и само вещество. Исходя из всего вышесказанного количественная оценка таких эффектов чаще всего опирается на вероятностные параметры, отражающие степень вероятности (доказанности) поражения человека или животного.

Канцерогенные вещества и материалы, а также производственные процессы по ГН 1.1.725-98 [18] подразделяются на две группы:

1. Вещества, продукты, производственные процессы и факторы с доказанной для человека канцерогенностью.

2. Вещества, продукты, лекарственные препараты и производственные процессы вероятно канцерогенные для человека (включены вещества, материалы и факторы, канцерогенность которых доказана на животных, а доказательства канцерогенности для человека ограничены).

В соответствии с классификацией Международного агентства по изучению рака (МАИР) химические соединения, их смеси, комплексы, производственные и бытовые факторы разделены на 4 группы:

1 группа - безусловно канцерогенные для человека;

2 группа

2А - вероятно канцерогенные для человека;

2Б - возможно канцерогенные для человека;

3 группа - невозможно классифицировать как канцерогенные для человека;

4 группа - вероятно не канцерогенные для человека [19].

В информационных картах (ИК) регистра потенциально опасных химических и биологических веществ (РПОХВ) [12] такие опасные свойства веществ как тератогенное, эмбриотропное, гонадотропное, сенсibiliзирующее и кожно-резорбтивное воздействие характеризуются тремя значениями: «да», «не установлено» и «не изучалось». Мутагенное воздействие и канцерогенное воздействие на человека либо характеризуется теми же тремя значениями, либо используются оценки МАИР. Для канцерогенного воздействия на животных в ИК РПОХВ используются следующие характеристики: «слабое»,

«умеренное», «сильное», «не установлено», «не изучалось». Кумулятивность описывается как «сильная», «умеренная» и «слабая».

### 3.5. Классификационная оценка химических аллергенов

При условии использования унифицированных методов введения изучаемого вещества (0,6 мг/кг массы тела животного, внутрикожно) предложенные критерии позволяют классифицировать данное вещество по степени сенсibiliзирующей активности [20].

**Таблица 5. Критерии для оценки аллергенности веществ и материалов**

Критерии оценки	Класс аллергенной активности			
	сильная	выраженная	умеренная	слабая
Частота положительных кожных тестов у опытных животных (%)	>75	> 50	> 50	> 25
Уровень статистической значимости различий (p) показателей кожных реакций опытной и контрольной групп (I-II классы по критерию "X", III-IV классы по t-критерию Стьюдента)	< 0,01	< 0,05	< 0,05	> 0,05

### 3.7. Оценка показателей опасности вещества или материала для ОС

Параметры, характеризующие степень опасности вещества или материала для ОС, такие как стабильность в абиотических условиях и биологическая диссимиляция, описываются в ИК РПОХВ [12] в зависимости от параметров, указанных в таблице 6.

**Таблица 6. Шкала для характеристик экологической безопасности**

Название параметра	Характеристика параметра				
Стабильность в абиотических условиях ( $\tau_{1/2}$ )	> 30 сут. чрезвычайно стабильно	30 – 7 сут. высоко стабильно	7-1 сут. стабильно	1 час. – 1 сут. мало стабильно	< 1 час. не стабильно
Биологическая диссимиляция (БПК <sub>5</sub> /ХПК)*100	< 10% не распадается	10 – 20% трудная	20 – 50% незначительная	50 – 90% легкая	>90% полная

Для оценки опасности веществ и материалов, связанной с загрязнением воды, можно использовать следующую шкалу:

- 0 - в основном, не опасные для загрязнения воды вещества;
- 1 - слабоопасные вещества по отношению к загрязнению воды;
- 2 - водо-загрязняющие вещества;
- 3 - высоко водоопасно-загрязняющие вещества;
- 3\* - высоко водоопасно-загрязняющие вещества, классифицируемые по недостаточным данным [19].

#### **4. Оценка показателей опасности для многокомпонентных смесей (МС) и композиционных материалов (КМ)**

Основной трудностью при оценке опасностей МС является отсутствие необходимой информации. В первую очередь это связано с тем, что количество МС, с которыми сталкивается человек, не ограничено, и поэтому не представляется возможным провести для них все необходимые исследования. Другая причина, которая затрудняет исследования, - отсутствие данных по составу. Состав некоторых МС и КМ может зависеть от условий, при которых они образуются (например, состав выхлопных газов автомобилей или отходов очистных сооружений). Вторая группа МС с неустановленным составом - это МС, получаемые промышленным способом из природного сырья (например, большинство нефтепродуктов). Третья - это МС и КМ, образующиеся из несвязанных между собой веществ в единый химический или коммерческий продукт (например, вещества, которые транспортируются, хранятся и используются в одном месте и могут при ЧС или аварии оказать комбинированное воздействие на человека и ОС).

Оценка показателей опасности МС обычно содержит некоторую неопределенность. Если МС рассматривается как одно сложное вещество (например, бензин), источник неопределенности может быть заложен в неточном описании воздействия или в неадекватной информации по токсичности. Когда смесь представлена набором нескольких веществ, источник неопределенности может быть в недостоверном представлении величины и природы токсикологических взаимодействий между компонентами, особенно в том случае, когда имеют место взаимодействия между тремя и более веществами. Из-за этих неопределенностей оценка показателей опасности для МС должна также включать в себя полный список всех сделанных допущений и предположений и, если это является возможным, идентификацию всех источников неопределенности [21].

Исходя из всего вышесказанного, учеными разных стран делаются многочисленные попытки определить показатели опасности вещества или материала, представляющего собой МС расчетным методом, опираясь на данные или по уже изученным смесям подобным исследуемой, или на данные по компонентам, составляющим эту МС.

##### **4.1. Виды взаимодействий между компонентами смеси.**

Изолированное действие веществ и материалов, образующих МС, встречается редко, обычно имеет место так называемое комбинированное действие [8]. Различают несколько видов комбинированного (совместного) действия вредных веществ [8,21]:

- *синергизм* - одно вещество усиливает (потенцирует) действие другого вещества;

- *химический синергизм* - когда между веществами протекает реакция с образованием другого химического соединения, при этом, воздействие на ОС и/или организм человека получившегося продукта больше, чем возможное воздействие исходных компонентов;

- *аддитивность* (суммирующее действие) - в большинстве случаев токсичные вещества, обладающие идентичным воздействием на организм, в сочетании действуют именно по этому типу;

- *аддитивность доз* (суммирование доз) - когда воздействие МС эквивалентно воздействию «эквивалентной дозы» одного из веществ. *Эквивалентная доза* - это сумма доз всех компонентов умноженных на некоторый коэффициент - «химический индекс», отражающий степень их воздействия на человека или ОС, по сравнению с веществом, выбранным в качестве эталона. Компонент, выбираемый в качестве эталона, должен иметь точно определенную кривую «доза-эффект»;

- *аддитивность отклика* - когда отклик (предельно допустимое значение, область воздействия, риск или вероятность воздействия) для МС равен сумме откликов компонентов и определяется по формуле для суммирования независимых вероятностей;

- *антагонизм* - одно вещество ослабляет действие другого. Ослабление токсического действия является следствием химического, физического или физиологического взаимодействия токсикантов как во внешней среде, так и в организме;

- *химический антагонизм* - когда между веществами протекает реакция и образуется новое вещество, при этом воздействие получившегося продукта на ОС и/или организм человека меньше, чем возможное воздействие исходных компонентов;

- *маскировка* - когда два вещества производят прямо противоположные или функционально конкурирующие воздействия на одни и те же органы, системы или реципиенты, так что их совместное воздействие меньше, чем воздействие от каждого вещества в отдельности;

- *ингибирование* - когда вещество в отдельности не оказывает опасного воздействия на человека или ОС среду, но будучи добавленным к другому опасному веществу уменьшает опасность последнего;

- *потенцирование* - когда вещество в отдельности не оказывает опасного воздействия на человека или ОС, но будучи добавленным к другому опасному веществу увеличивает опасность последнего;

- *отсутствие осязательного воздействия* - когда вещество само по себе не оказывает негативного воздействия на организм человека или ОС и не оказывает никакого воздействия на степень опасности другого вещества.

- *отсутствие наблюдаемого воздействия* - когда ни один компонент МС в отдельности не оказывает никакого воздействия на организм человека или ОС, так же как и МС в целом.

Кроме того, необходимо учитывать возможность так называемого *сложного взаимодействия*, когда взаимодействие трех или более объединенных компонентов не может быть оценено в соответствии с каким-либо определенным видом.

#### 4.2. Расчет показателей пожаровзрывоопасности МС и КМ

Оценка показателей пожаровзрывоопасности не представляет особых трудностей. В первую очередь это связано с тем, что результаты расчетного метода легко проверить на практике. Эта методика хорошо отработана в РФ и внесена в ГОСТ 12.1.044-89 [17]. Показатели, рассчитываемые и/или контролируемые по этой методике, представлены в таблице 7.

Таблица 7. Показатели пожаровзрывоопасности

Показатель	Агрегатное состояние веществ и материалов			
	газы	жидкости	твердые	пыли
Группа горючести	+	+	+	+
Температура вспышки	-	+	-	-
Температура воспламенения	-	+	+	+
Температура самовоспламенения	+	+	+	+
Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения)	+	+	-	+
Температурные пределы распространения пламени (воспламенения)	-	+	-	-
Температура тления	-	-	+	+
Условия теплового самовозгорания	-	-	+	-
Минимальная энергия зажигания	+	+	-	+
Кислородный индекс	-	-	+	-
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами	+	+	+	+
Нормальная скорость распространения пламени	+	+	-	-
Скорость выгорания	-	+	-	-
Коэффициент дымообразования	-	-	+	-
Индекс распространения пламени	-	-	+	-
Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов	-	-	+	-
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода	+	+	-	+
Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора	+	+	-	+
Максимальное давление взрыва	+	+	-	+
Скорость нарастания давления взрыва	+	+	-	+
Кроме указанных в таблице 7, допускается использовать другие показатели, более детально характеризующие пожаровзрывоопасность веществ и материалов [17].				

Из выше перечисленных показателей расчетным методом можно найти:

- температуры вспышки жидкостей (ГОСТ 12.1.044-89, приложение 2);

<sup>7</sup> Знак «+» обозначает применяемость, знак «-» - неприменяемость показателя.

- температуры воспламенения жидкостей (ГОСТ 12.1.044-89, приложение 3);
- концентрационные пределы распространения пламени по газо- и паровоздушным смесям (ГОСТ 12.1.044-89, приложение 4);
- температурные пределы распространения пламени (ГОСТ 12.1.044-89 приложение 6);
- максимальное давление взрыва газо- и паровоздушных смесей (ГОСТ 12.1.044-89, приложение И);
- скорость нарастания давления взрыва газо- и паровоздушных смесей (ГОСТ 12.1.044-89, приложение 12).

#### 4.3. Определение класса опасности для отходов и других МС

В нашей стране существуют две методики определения класса опасности для отходов, представляющих собой МС. Согласно «Методическим рекомендациям по определению класса токсичности промышленных отходов» [22] основой для отнесения отходов к определенному классу опасности являются *индекс токсичности*:  $K^i$

$$K^i = \frac{\text{ПДК}_n^i}{s + C_b},$$

где  $\text{ПДК}_n^i$  - предельно допустимое количество (концентрация) токсичного химического вещества  $i$ , содержащегося в отходе, в почве;  $s$  - безразмерный коэффициент, характеризующий растворимость веществ в воде, г/г воды;  $C_b$  - содержание данного компонента в общей массе отходов, т/т отходов;  $i$  - порядковый номер данного компонента.

Значение  $K^i$ , как правило, округляют до первого знака после запятой. Рассчитав  $K^i$  для отдельных компонентов отхода, выбирают от 1 до 3 ведущих компонентов, имеющих минимальное значение  $K^i$ . *Суммарный индекс токсичности (опасности)  $K^\Sigma$*  определяют по формуле:

$$K^\Sigma = \sum_{i=1}^n K^i,$$

где  $n \leq 3$ . После этого устанавливают класс токсичности с помощью вспомогательной таблицы 8.

Таблица 8.

$K^\Sigma$	$K_D^\Sigma$	Класс токсичности (опасности)	Степень опасности	DL <sub>50</sub> мг/кг
<2	<1,3	I	Чрезвычайно опасные	15
2...16	1,3...3,2	II	Высокоопасные	150
16,1...30	3,3...10	III	Умеренно опасные	5000
>30	>10	IV	Малоопасные	Более 5000

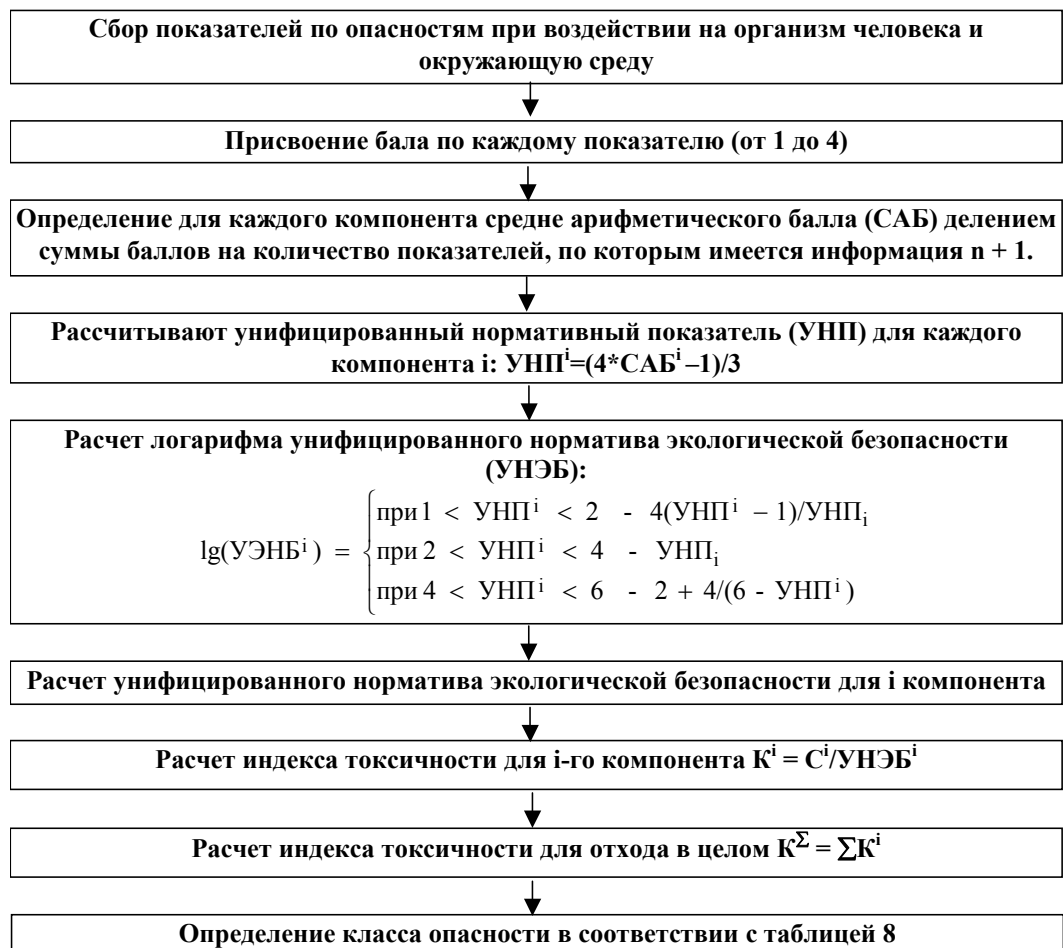


Рис. 2. Этапы оценки класса опасности отхода с использованием унифицированного норматива экологической безопасности.

В тех случаях, когда для конкретных веществ отсутствуют данные по их ПДК<sub>п</sub>, для расчета  $K^i$  можно использовать следующую формулу:

$$K^i = \frac{\lg(DL_{50})^i}{s + C_b + 0.1F}$$

где:  $DL_{50}$  - среднесмертельная доза вещества, мг/кг массы тела;  $F$  - безразмерный коэффициент летучести данного компонента, мм.рт.ст./760 мм.рт.ст. (например, для  $CCl_4$   $P_{насыщ} = 112,2$  мм.рт.ст., отсюда  $F = 112,2/760 = \sim 0,15$ ). Величина  $K^\Sigma$  определяется также, как и в предыдущем случае.

Согласно методическим рекомендациям по определению класса опасности отходов [11], более достоверной считается методика, основанная на **унифицированном нормативе экологической безопасности (УНЭБ)**. Эта методика включает в себя следующие этапы оценки, изображенные на рис. 2.

Как уже отмечалось выше, если класс опасности одного и того же отхода, установленный в соответствии с изложенными выше методиками имеет разные значения,

то предпочтение отдается классу опасности установленному в соответствии с методикой, основанной на УНЭБ. Однако, абсолютную приоритетность имеют данные, полученные в ходе экспериментальных исследований отходов в целом.

#### 4.4. Оценка показателей опасности МС, основанная на сложении доз

Сложение доз применяется в том случае, когда компоненты смеси подобны, т.е. совпадают как их физиологические параметры (поглощение, метаболизм, распределение, выведение), так и токсикологические параметры.

##### *Индекс опасности*

Одним из вариантов подхода к оценке воздействия с использованием сложения доз является метод, основанный на **индексах опасности** (НИ) [21]. Этот метод имеет менее жесткие требования к данным и начальным условиям, применяется в общих случаях и имеет больше неопределенностей в конечной оценке. Вместо условия подобия токсикологического воздействия, необходимым условием применимости НИ метода является только подобие поражаемых органов или систем. Основной формулой, по которой определяется НИ, является следующее выражение:

$$НИ = \sum_{i=1}^n \frac{C^i}{L^i}$$

где  $L^i$  - предел, при котором уровень риска, связанного с отрицательным воздействием компонента, является приемлемым (единицы измерения  $C^i$  и  $L^i$  должны быть одинаковые),  $n$  – число компонентов.

В качестве значения для  $L^i$  в зависимости от того, какой именно вид опасности рассчитывается, можно взять ПДК, максимальную недействующую дозу (МНД), различные пороговые дозы и концентрации (ПК, ПД, порог однократного действия  $Lim_{ac}$  и др.), максимальную дозу не вызывающую гибель ( $DL_0$ ), допустимую концентрацию миграции в воду ДКМ и т.п. [12,23]. Если  $НИ > 1$ , то данная МС в данной концентрации способна оказать определяемый вид опасности.

##### *Индекс загрязнения атмосферы*

В [16,24,25] предлагается учитывать особенности кумулятивного взаимодействия компонентов МС, вводя в индекс опасности дополнительный коэффициент  $B_i$ , позволяющий оценивать изоэффективность этого действия для компонентов различных классов опасности. Эффект при воздействии вещества или материала третьего класса



опасности концентрации  $C$  равен эффекту при воздействии вещества или материала другого класса опасности концентрации  $C^i$  в степени  $B_i$ , если концентрацию выражать в долях ПДК. При этом считается, что значения коэффициента  $B_i$  должно быть принято для веществ 1, 2, 3 и 4 классов соответственно на уровне 1,7; 1,3; 1; 0,9 соответственно (в [16] значения  $B_i$  принимается равным 2,35; 1,28; 1,00; 0.87 соответственно, но существенные различия имеются только для веществ 1-го класса опасности). Например, для атмосферного воздуха вместо индекса опасности можно использовать показатель, называемый **индексом загрязнения атмосферы (ИЗА)**. Комплексный ИЗА, учитывающий  $n$  веществ, рассчитывается по формуле:

$$\text{ИЗА} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C^i}{\text{ПДК}_c^i} \right)^{B_i}.$$

При этом можно отметить, что ИЗА по сути представляет собой кратность превышения ПДК условного вещества третьего класса опасности, токсический эффект которого равен сумме токсических эффектов всех веществ, входящих в МС. Используя такой коэффициент, можно оценить степень медико-экологического неблагополучия в соответствии с таблицей 9 [2].

Таблица 9. Оценка загрязнения атмосферного воздуха

Оценка загрязнения воздуха	Величина ИЗА при числе веществ, загрязняющих воздух			
	2..4	5...9	10...20	> 20
Допустимая	≤ 2	≤ 3	≤ 4	≤ 5
Слабая	>2...4	>3...6	>4...8	>5...10
Умеренная	> 4 – 8	> 6 – 12	> 8 - 16	>10...20
Сильная	> 8 – 16	> 12 - 24	> 16 - 32	> 20...40
Очень сильная	> 16	> 24	>32	>40

Кроме того, ИЗА можно использовать для сравнительного анализа (например, для определения наиболее загрязненной территории) или для определения веществ, вносящих наибольший вклад в уже имеющийся уровень загрязнения, а также для оценки риска [2,26].

#### *Индекс загрязнения воды*

К категории наиболее часто используемых показателей для оценки качества водных объектов, содержащих большое количество загрязнителей, относят **гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ)** [27]. Индекс загрязнения воды, как правило, рассчитывают по шести – семи показателям, которые можно считать гидрохимическими; часть из них (концентрация растворенного кислорода, водородный показатель рН, биологическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub>) является обязательной:

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C^i}{\text{ПДК}_B^i * n} \right)$$

где:  $C^i$  –концентрация компонента (в ряде случаев – значение параметра);  $n$  – число показателей, используемых для расчета индекса;  $\text{ПДК}_B^i$  – установленная предельно допустимая величина для соответствующего типа водного объекта.

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (таблица 10). Индексы загрязнения воды сравнивают для водных объектов одной биогеохимической провинции и сходного типа, для одного и того же водотока (по течению, во времени и т. д.).

**Таблица 10. Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды**

<b>Воды</b>	<b>Значения ИЗВ</b>	<b>Классы качества вод</b>
Очень чистые	до 0,2	1
Чистые	0,2–1,0	2
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	3
Агрязненные	2,0–4,0	4
Грязные	4,0–6,0	5
Очень грязные	6,0–10,0	6
Чрезвычайно грязные	>10,0	7

Такие параметры, как ИЗВ и ИЗА, используются для оценки влияния МС на воду или воздух, задавая некоторую условную концентрацию, в которой эта МС может оказаться в ОС.

## **ГЛАВА II. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИИ РИСКАМИ, ВОЗНИКАЮЩИМИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ВЕЩЕСТВАМИ И МАТЕРИАЛАМИ**

В данной работе основной целью рассматриваемого подхода является идентификация, оценка и планирование деятельности по управлению рисками, возникающими при обращении с веществами и композиционными материалами. При оценке рисков на конкретном предприятии или территории можно использовать изложенный ниже алгоритм [28]:

1) **Выявление опасности** - установление источников и факторов рисков, а также зон и объектов их потенциального воздействия, основные формы такого воздействия. Вначале определяют перечень предприятий (на уровне территории) или технологий (на уровне предприятия), использующих энергонасыщенное оборудование, высокие давления, агрессивные и токсичные компоненты или производящих потенциально опасную продукцию (например, химические вещества, пестициды и др.). Затем определяют факторы рисков, воздействующие на здоровье человека и ОС при регламентной эксплуатации инженерного объекта, а также высвобождаемые при «залповых» выбросах и авариях.

2) **Выявление объектов и зон потенциального негативного воздействия.** При оценке риска на уровне территории это в первую очередь население, а внутри него - наиболее уязвимые социальные группы (группы риска) и ОС. При оценке риска на уровне предприятия больший упор делается на риски для обслуживающего персонала.

3) **Определение вида воздействия фактора риска на объекты и степени его опасности для этих объектов.** На этом этапе делают вывод о том, может или нет временное или постоянное присутствие определенного вещества вызвать заболевания (онкологические, нарушения репродуктивных функций и т.д.) или изменения в ОС.

4) **Анализ воздействия факторов риска на обслуживающий персонал, население и ОС,** в частности, установление стандарта (норматива). Это подразумевает определение безопасного для человека и экосистемы уровня воздействия, определение дестабилизирующих факторов или их комбинаций. Именно на этом этапе выясняют, существует ли порог воздействия. Чаще всего это делают эмпирическим путем.

5) **Оценка подверженности,** т.е. реального воздействия фактора риска на человека и ОС. На этом этапе проводят определение масштабов (уровня) воздействия, его частоты и продолжительности.

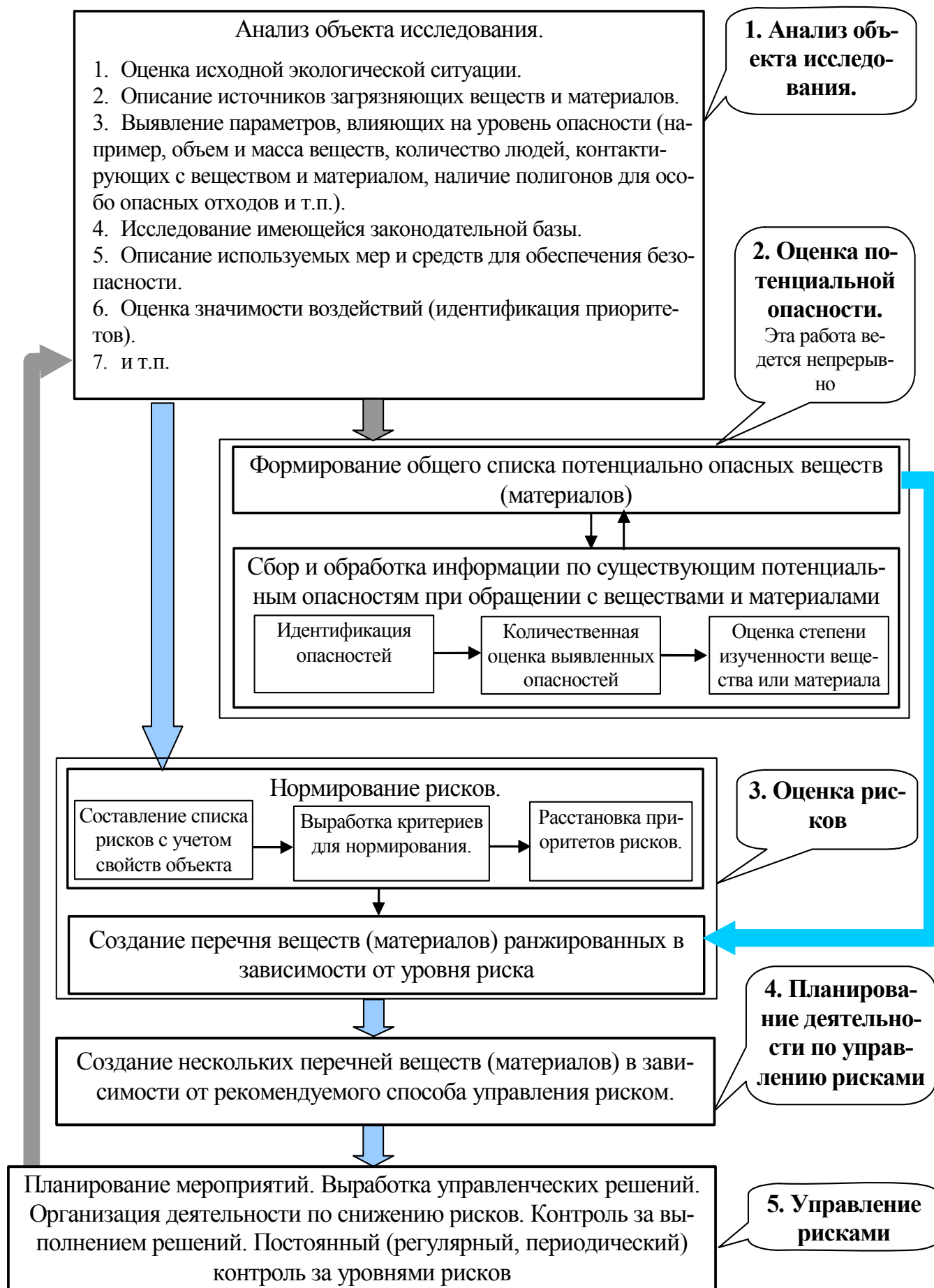


Рис. 3. Схема процесса управления рисками при обращении с веществами и материалами

С учетом всего вышесказанного в данной работе предложен алгоритм оценки и управления рисками при обращении с веществами и материалами, включающий в себя следующие этапы [35,36] (рис. 12).

1. Анализ объекта исследования (территории или предприятия), на котором находятся потенциально опасные вещества или материалы.

2. Оценка потенциальной опасности вещества или материала.

3. Оценка рисков при обращении с веществами или материалами на исследуемом объекте (территории или предприятии).

4. Планирование деятельности по управлению рисками при обращении с веществами или материалами.

5. Управление рисками.

Рассмотрим приведенные этапы подробно.

## **1. Анализ объекта исследования**

### **1.1. Оценка исходной экологической ситуации**

Для более адекватной оценки экологической ситуации рекомендуется провести экологическую оценку (ЭО). В ходе ЭО должно быть проанализировано состояние только тех компонентов природной среды, информация о которых необходима для принятия решений. Поэтому вначале необходим отбор тех компонентов ОС, которые в дальнейшем будут детально изучены. В ходе такого отбора следует руководствоваться следующими вопросами:

1. Могут ли используемые вещества и материалы, находящиеся на данном объекте, повлиять на состояние выбранных компонентов ОС?
2. Могут ли эти компоненты влиять на деятельность объекта и уровень безопасности?
3. Представляют ли они значительный интерес для общественности?

Наряду с природными условиями и компонентами окружающей среды должны быть определены и описаны наиболее важные составляющие социально-экономической обстановки в районе расположения объекта. Это связано с тем, что при проведении ЭО "окружающая среда" рассматривается как единая природно-социальная система. Значимость изменений в ОС в большой степени определяется именно последствиями социально-экономического характера.

При анализе современного состояния ОС и тенденций ее изменения можно использовать фондовые материалы, литературные источники, а также проводить

изыскания, собирать собственные данные в зависимости от наличия средств и необходимой глубины изучения.

В ходе экологической оценки природные условия должны быть не только проанализированы с научной точки зрения, но и описаны в терминах, которые бы позволили общественности и лицам, принимающим решения, судить о степени их уникальности, ценности, уязвимости и т.д. Например, при выявлении мест обитания биологического вида необходимо отметить, насколько редок данный вид, насколько уязвимы его места обитания и т.д. В качестве одного из подходов предлагается [29] сравнивать существующее состояние ОС:

- со стандартами;
- с фоновым уровнем (в регионе, в стране или в мире);
- с многолетними данными.

В некотором смысле, речь здесь идет об оценке значимости тех или иных компонентов ОС, общие принципы которой сходны с принципами оценки значимости воздействий.

## **1.2. Описание источников загрязняющих веществ и материалов**

Выявления и описание источников загрязняющих веществ начинается с описания объекта исследования, рассматриваемого как система [30]. Для этого, например, если объектом является реально существующее предприятие, то необходимо собрать и изучить следующую информацию относительно:

- 1) структуры и основных частей объекта;
- 2) размещения составных частей;
- 3) видов источников химической опасности на объекте и, в частности, какие токсичные химические, огне- и взрывоопасные вещества и материалы, какова их масса. Масса в значительной мере определяет токсический или энергетический потенциал, сконцентрированный на объекте;
- 4) отказов оборудования и аварий, которые имели место на данном объекте и его аналогах;
- 5) количественных показателей надежности используемого оборудования;
- 6) технологической документации разного типа.

Если же объектом исследования является территория, то рекомендуется собрать и изучить следующую информацию об:

- 1) основных опасных объектах, расположенных на ней;
- 2) месте расположения опасных объектов;

3) виде объектов и частоте воздействия (например, уточнить является ли описываемый объект точечным или распределенным источником опасных веществ, действует ли он постоянно, периодически или возможно однократное залповое воздействие);

4) количестве опасных веществ, находящихся на объекте;

5) имеющихся средствах и мерах по предотвращению и/или ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и аварий.

### 1.3. Выявление параметров, влияющих на уровень опасности

Таковыми параметрами могут быть: объем и масса веществ, количество людей, контактирующих с веществом и материалом, наличие полигонов для особо опасных отходов и т.п. Или, например, при оценке пожаровзрывоопасности объекта надо иметь ввиду, что для возникновения пожара наличие только огнеопасных веществ и материалов недостаточно, поэтому необходимо описать наличие окислителя и инициатора (для образования искры).

В данной работе в результате анализа нескольких объектов различного назначения выделены следующие параметры.

**Для предприятия:** вид риска; масса вещества или материала, находящегося в обращении на исследуемом предприятии; количество людей непосредственно соприкасающихся с данным веществом или материалом.

**Для территории:** вид риска; масса вещества или материала, находящегося в обращении на предприятиях, расположенных на исследуемой территории, а также масса транспортируемых веществ или материалов; длина транспортного пути; наличие и качество полигонов для захоронения отходов; наличие и уровень специализированных предприятий по переработке отходов; количество веществ и материалов попадающих в ОС; плотность распределения вещества или материала, используемого в бытовых условиях по исследуемой территории и т.п.

### 1.4. Исследование имеющейся законодательной базы

Выявляются все существующие законодательные акты, нормы и правила, регулирующие и регламентирующие обращение с используемыми на данном объекте веществами и материалами и имеющие отношение к данному типу объекта, а также к типу его деятельности. При этом рекомендуется исследовать как национальные, так и международные законодательства в данной области.

**Пример.** Рассмотрим случай, когда объектом исследования является Черное море или предприятия, находящиеся на его побережье. Тогда в качестве одного из законодательных актов следует рассмотреть Конвенцию «О защите Черного моря от загрязнения (Бухарест, 21 Апреля 1992.г.)»- В приложениях 1 и 2 к этой конвенции приведены следующие списки веществ:

*Приложение 1 (опасные вещества и материалы).*

В соответствии с данной конвенцией необходимо предотвращать и устранять загрязнение морской среды Черного моря, исключая применение перечисленных ниже веществ и материалов.

1. Органогалогенные соединения (типа ДДТ, ДЦИ, ДПД, ПХБ).

2. Ртуть и ртутные соединения.
3. Кадмий и кадмиевые соединения.
4. Оловоорганические соединения.
5. Стойкие синтетические материалы, способные плавать, тонуть или оставаться во взвешенном состоянии.
6. Отработанные смазочные масла.
7. Свинец и соединения свинца.
8. Радиоактивные вещества и отходы, в том числе отработавшее радиоактивное топливо.
9. Сырая нефть и углеводороды любого происхождения.

*Приложение 2 (ядовитые вещества и материалы).* Эти вещества, соединения или материалы отобраны на основе критериев, использованных в Приложении 1, с учетом того факта, что они являются менее вредными или быстрее обезвреживаются в результате естественных процессов.

В соответствии с данной конвенцией необходимо сокращать и, по возможности, устранять загрязнение морской среды Черного моря, исключая применение перечисленных ниже веществ и материалов.

1. Бициды и их производные, не охваченные Приложением I.
2. Цианиды, фториды и атомарный фосфор.
3. Патогенные микроорганизмы.
4. Не поддающиеся биохимическому разложению детергенты и их поверхностно-активные вещества.
5. Щелочные или кислотные соединения.
6. Вещества, которые, хотя и не являются токсичными, могут стать вредными для морской биоты в силу количеств, в которых они сбрасываются, в частности: неорганические питательные соединения, а также вещества, оказывающие неблагоприятное воздействие на содержание кислорода в морской среде.
7. Нижеследующие элементы и их соединения: цинк, селен, олово, ванадий, медь, мышьяк, барий, кобальт, никель, сурьма, бериллий, таллий, хром, молибден, бор, теллур, титан, уран, серебро.
8. Сточная грязь.

Некоторые из результатов этого исследования могут быть внесены в матрицу «Вещество – опасность» в качестве дополнительных показателей. Соответственно веществам, перечисленным в приложении 1, по параметру, характеризующему уровень опасности для морской среды Черного моря, присваивается 1 балл, веществам и материалам, перечисленным в приложении 2, – 2 балла, сложным смесям, содержащим очень незначительный процент веществ, перечисленных в приложениях 1 и 2, – 3 балла, всем остальным веществам и материалам – 4 балла.

В конце этого этапа рекомендуется провести анализ и оценку соблюдения объектом исследования действующего природоохранного законодательства.

### **1.5. Описание используемых мер и средств, используемых для обеспечения безопасности**

На этом этапе собираются данные и сведения о системе научно-технического обеспечения безопасности, в состав которой входят защитные средства, имеющиеся на предприятии или территории, проводимые мероприятия по повышению безопасности. В состав описываемой системы входят подсистемы обеспечения надежности, предотвращения аварий, защиты от аварий, мониторинга, локализации аварий, ликвидации последствий от них и др. Исключительно важный вклад в уровень опасности объекта в целом вносит квалификация кадров и работа с ними. Неправильные действия или бездействие персонала сплошь и рядом являются причиной повышенного риска. Также на этом этапе необходимо изучить имеющийся перечень правил и норм техники безопасности, действующих на объекте.



## **1.6. Оценка значимости воздействий (идентификация приоритетов).**

После проведения анализа предприятия или территории выявляются объекты, представляющие наибольшую опасность. Данный анализ рекомендуется проводить с участием экспертов, руководства, обслуживающего персонала и др. заинтересованных лиц.

## **2. Оценка потенциальной опасности вещества или материала**

### **2.1. Формирование общего списка потенциально опасных веществ (материалов)**

Оценка потенциальной опасности начинается с формирования списка потенциально опасных веществ, риск при обращении с которыми на данном объекте может превысить приемлемое значение. Критерии отбора веществ в этот список могут быть различны, например:

- в список вносятся все вещества (материалы), попадающие под действие ГОСТ Р 12.1.052-97, то есть это те вещества (материалы), на которые должны быть разработаны паспорта безопасности;
- в список вносятся все вещества (материалы), классифицируемые как опасные грузы в соответствии с ГОСТ 19433-88;
- в список вносятся все вещества (материалы), имеющие № ООН и считающиеся опасными на международном уровне;
- в список вносятся все вещества (материалы), перечисленные в национальных или международных списках опасных веществ;
- и т.п.

### **2.2. Сбор и обработка информации по потенциальным опасностям при обращении с веществами и материалами**

После того как сформирован общий список для всех веществ и материалов, проводится сбор и обработка информации по потенциальным опасностям, которые, в свою очередь, состоят из двух этапов: *идентификации опасности* и ее *количественной оценки*. Для этого, на основе проведенного в первой главе анализа, был составлен список показателей для оценки опасности, содержащий 44 показателя. Для количественной оценки по данным показателям была предложена балльная система: по каждому из показателей для оцениваемого вещества (материала) выставляется некий балл (в зависимости от значения показателя), характеризующий уровень опасности. Для того, чтобы получаемые оценки максимально соответствовали российскому законодательству и

легко интерпретировались, была взята четырехбалльная система (по аналогии с классами опасности по ГОСТ 12.1.007-76, на основе которых и построено Российское законодательство в области, касающейся управления безопасностью при обращении с веществами и материалами). Баллы распределяются следующим образом:

1. *Чрезвычайно опасное вещество (материал)* по оцениваемому показателю.
2. *Высокоопасное вещество (материал)* по оцениваемому показателю.
3. *Умеренно опасное вещество (материал)* по оцениваемому показателю.
4. *Малоопасное вещество (материал)* по оцениваемому показателю.

Для всех выбранных 44 показателей составлена таблица (см. Приложение 1), в которой приведены диапазоны значений, в зависимости от которых показателю присваивается тот или иной балл. В результате выполнения этого этапа должна быть сформирована таблица «Вещество – опасность» (см. Главу III).

### **3. Оценка рисков при обращении с веществами и материалами на исследуемом объекте**

#### **3.1. Нормирование рисков**

В данной работе предлагается проводить нормирование рисков при помощи метода, основанного на экспертных оценках, включающего следующие этапы:

1. На основе выполненного ранее анализа объекта исследования составляется общий список значимых рисков. Причем, немаловажное значение на данном этапе имеет действующее национальное или международное законодательство для данного типа объектов и типа деятельности.

2. Вырабатываются критерии для нормирования этих рисков.

3. Проводится расстановка приоритетов среди рисков. Расстановку приоритетов в данной работе рекомендуется проводить с использованием коэффициентов  $k_R^i$ , полученных методом экспертных оценок.

#### *Метод экспертных оценок*

В настоящее время экспертные оценки являются сформировавшимся научным методом анализа сложных неформализуемых проблем. Сущность метода экспертных оценок заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с

количественной оценкой суждений и обработкой их результатов. Обобщенное мнение группы экспертов принимают как решение проблемы.

Подбор количественного и качественного состава экспертов производят на основе анализа широты проблемы, достоверности оценок, характеристик экспертов и затрат ресурсов. Группу экспертов подбирают на основе индивидуальных характеристик: компетентности, креативности, отношения к экспертизе, конформизма, конструктивности мышления, коллективизма, самокритичности. В настоящее время перечисленные характеристики в основном оцениваются качественно. Только для некоторых из них имеются попытки ввести количественные оценки (см. Приложение 3).

Если же эксперты не только проводят ранжировку рисков по их значимости для объекта исследования, но и присваивают им оценки, тогда для обработки полученных результатов предлагается использовать элементы **математической статистики**.

Построение *обобщенной групповой оценки объектов* осуществляют путем обработки индивидуальных оценок экспертов. В соответствии с гипотезой о том, что эксперты являются достаточно точными «измерителями», групповую оценку строят на основе применения методов осреднения. Это соответствует тому, что индивидуальные оценки экспертов образуют компактную группу и в качестве наиболее согласованной групповой оценки используют математическое ожидание (среднее значение), медиану (срединное значение упорядоченного ряда по возрастанию или убыванию) или моду (наиболее вероятная оценка).

Метод экспертных оценок для определения степени риска используют в разных вариантах. Он позволил разделить очень сложный комплекс рисков на управляемые составляющие и сделать выводы о вероятности проявления и степени последствий исследуемых рисков [31]. Этот метод очень трудоемок. Его недостатком является повышенная субъективность полученных результатов. Тем не менее, оценочные показатели экспертного характера находят широкое применение. Самый перспективный и самый сложный подход к определению оценочных показателей - *рейтинг комплексного характера*, который объединяет все основные факторы в одно значение. Основные возникающие здесь проблемы - это сопоставимость и взвешенность всех составляющих показателей исходных величин. В некоторых случаях сопоставимость параметров можно получить путем их нормировки, т.е. делением на максимальное значение. Взвешенность показателей обеспечивается ранжированием по важности (расположение с учетом значимости) и расчетом весовых коэффициентов (установлением степени влияния).

### Нормированные списки рисков для предприятия

Рассмотрим в качестве исходного список рисков для предприятия, представленный в таблице 11.

**Таблица 11. Пример нормированного списка рисков для предприятия**

№	Вид риска	$k_R^i$	
1.	Опасные отдаленные последствия воздействия на организм	$k_R^1$	
2.	Опасные для здоровья обслуживающего персонала воздействия при непосредственном контакте с веществом, в том числе острое токсическое воздействие	$k_R^2$	
3.	Пожаровзрывоопасность	При наличии взрывчатых веществ	$k_R^3$
4.		При наличии ЛВЖ	$k_R^4$
5.		При наличии полимеров	$k_R^5$
6.	Разрушительное взаимодействие с другими веществами и материалами	$k_R^6$	
7.	Коррозия	$k_R^7$	

### Нормированные списки рисков для территории

При составлении списка рисков для территории учитывается также способ обращения с веществами и материалами, находящимися на ней. Рассмотрим подробно следующие ситуации:

#### I. Размещение и удаление отходов.

При обращении с отходами наиболее значимым фактором риска является загрязнение ОС, при этом коэффициент  $k_R^i$  может изменяться в зависимости от ценности объекта ОС (почвы, водоема, флоры, фауны и т.п.), который может подвергаться или подвергается воздействию веществ и материалов.

**Таблица 12. Пример нормированного списка рисков при обращении с отходами**

№	Вид риска	$k_R^i$
1.	Действие на ОС	$\sigma k_R^1$
2.	Комплексные показатели	$k_R^2$

$\sigma$  - безразмерный коэффициент, учитывающий ценность объекта ОС

#### II. Хранение и использование веществ и материалов в промышленности.

При описании рисков, связанных с хранением и использованием веществ и материалов в промышленности, рекомендуется использовать результаты статистики по чрезвычайным и аварийным ситуациям, данные мониторинга о состоянии ОС, данные о здоровье обслуживающего персонала и местного населения и т.п.(табл. 23).

**Таблица 13. Пример нормированного списка рисков при хранении и использовании веществ и материалов в промышленности**

№	Вид риска	$k_R^i$
1.	Действие на ОС	$k_R^1$
2.	Опасные отдаленные последствия действия на организм	$k_R^2$
3.	Токсическое воздействие	$k_R^3$
4.	Пожаровзрывоопасность	$k_R^4$

### III. Транспортировка веществ и материалов.

При составлении нормированного списка рисков, проявляющихся при транспортировке веществ и материалов, в данной работе был использован ГОСТ 19433-88 [10], в соответствии, с которым был предложен следующий список:

**Таблица 14. Пример нормированного списка рисков при транспортировке, веществ и материалов**

№	Вид риска	$k_R^i$
1.	Взрывоопасность	$k_R^1$
2.	Пожароопасность	$k_R^2$
3.	Окислительная способность	$k_R^3$
4.	Токсичность	$k_R^4$
5.	Коррозия	$k_R^5$
6.	Воздействие на ОС	$k_R^6$

Представленные в данной работе списки являются рекомендуемыми и должны быть обязательно скорректированы с учетом свойств анализируемого объекта, коэффициенты  $k_R^i$  являются экспертными оценками и также подлежат коррекции.

### **3.2. Создание перечня опасных веществ и материалов, ранжированных по уровню риска**

#### *Составление матрицы «вещество-риск» для предприятия*

Составление уравнения для матрицы «вещество-риск» для предприятия предполагает анализ основных особенностей данного объекта в соответствии с разделом 1 данной главы. Однако, если рассматривать проблему в общем, то очевидно, что уровень риска зависит от набора параметров. Причем состав этих параметров изменяется в зависимости от типа объекта исследования (предприятия или территории) и вида деятельности, в которую вовлечены те или иные вещества и материалы.

Поэтому уравнение для предприятия имеет следующий вид:

$$R_j^i = H_j^i k_R^i k_{mj} k_{Nj}$$

где:  $R_j^i$  -  $i$ -й вид риска для  $j$ -го вещества;  $H_j^i$  - значение в баллах из матрицы «вещество - опасность» для  $j$ -го вещества  $i$ -го показателя опасности (показатель берется для вида опасности обуславливающей наличие  $i$ -го риска, при наличии нескольких показателей выбирается наименьший);  $k_R^i$  - коэффициент характеризующих уровень приоритетности  $i$ -го вида риска;  $k_{mj}$  - коэффициент, характеризующий влияние количества  $j$ -го вещества на уровень его риска;  $k_{Nj}$  - коэффициент, характеризующий влияние количества людей, связанных с  $j$ -м веществом.

### *Составление матрицы «вещество-риск для территории*

Так же, как и списки рисков, вид уравнения для территории зависит от способа обращения с веществами и материалами, находящимися на ней.

#### I. Размещение и удаление отходов.

При обращении с отходами уровень риска зависит от вида риска  $k_R^i$ , массы вещества или материала, находящегося в обращении на исследуемом предприятии  $k_{mj}$ , наличия и качества полигонов для захоронения отходов  $k_{пол. j}$ , наличия и уровня специализированных предприятий по переработке отходов  $k_{пред. j}$ :

$$R_j^i = H_j^i k_R^i k_{mj} k_{пол. j} k_{пред. j}$$

#### II. Хранение и использование веществ и материалов в промышленности.

Уравнение, используемое при описании рисков, возникающих при хранении и использовании веществ на промышленных объектах, должно быть во многом сходно с уравнением, используемым при оценке для отдельного предприятия. Однако в данном случае количество людей, непосредственно соприкасающихся с данным веществом или материалом, не так важно. Гораздо большую роль начинает играть количество веществ и материалов, выбрасываемых в окружающую среду  $k_{мсб. j}$ :

$$R_j^i = H_j^i k_R^i k_{mj} k_{мсб. j}$$

#### III. Транспортировка веществ и материалов.

При обращении с отходами уровень риска зависит от вида риска  $k_R^i$ , массы транспортируемых веществ или материалов, длины транспортного пути  $k_L$  и т.п.:

$$R_j^i = H_j^i k_R^i k_{mj} k_L$$

### Сортировка матрицы «вещество-риск»

После этого матрица «вещество-риск» сортируется по предложенному ниже алгоритму:

1. Элементы в каждой строке матрицы сортируются по возрастанию.
2. Далее строки полученной матрицы сортируются по возрастанию, причем первой считается строка, содержащая наименьший элемент в 1 столбце, если же две строки содержат в первом столбце одинаковые элементы, то наименьшей из них будет строка, содержащая наименьший элемент во 2 столбце и т.д.

В результате описанных выше действий получается список веществ ранжированных по уровню риска (см. пример, представленный ниже).

*Пример. Конечный список веществ ранжированных по степени риска.*

	$R_1$	$R_2$	$R_3$
Вещество1	1.5	16	3
Вещество2	3	1.5	2
Вещество3	6	2	13

↓

Вещество1	1.5	3	16
Вещество2	1.5	2	3
Вещество3	2	6	13

↓

Вещество2	1.5	2	3
Вещество1	1.5	3	16
Вещество3	2	6	13

Кроме того, в этом списке отдельно помечаются вещества, требующие дальнейших исследований. Например, это могут быть вещества, имеющие 1 балл по информационному показателю и т.д.

#### 4. Планирование управления рисками, возникающими при обращении с веществами и материалами

Как уже было описано выше, при планировании деятельности, связанной с управлением рисками, мы будем опираться на следующую классификацию рисков:

**Пренебрежимый риск** - уровень риска, который пренебрежимо мал, поскольку его значения находятся в пределах естественного (фонового) риска; такой риск находится вне сферы наших интересов.

**Lim<sub>пр</sub>** - предельное значение риска, при котором он все еще может считаться пренебрежимым.

**Допустимый или приемлемый риск** – сознательное допущение некоторой вероятности причинения вреда ОС и/или здоровью человека ради достижения экологического или экономического эффекта.

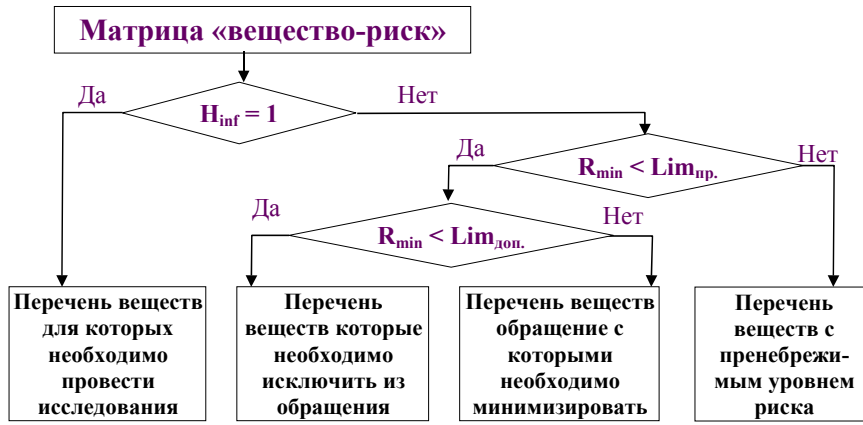
**Lim<sub>доп</sub>** - предельно допустимый уровень риска. Уровень риска, который не должен превышать независимо от экономических и социальных преимуществ для общества в целом, полученных в результате деятельности, связанной с этим риском. Он должен быть настолько низким, чтобы наличие его не вызывало беспокойства.

**Чрезмерный риск** - характеризует чрезмерную опасность и означает несоответствие среды обитания человека, растений, животных их врожденным и приобретенным свойствам, приводящее к превышению уровня приемлемой безопасности. В дополнение ко всему вышесказанному мы будем считать, что отсутствие необходимой информации также является источником повышенного риска. Например, те вещества и материалы, для которых показатель опасности по информационному фактору менее 0,5 (или 50%), т.е.  $H_{inf} = 1$  балл, будут считаться вследствие их недостаточной их изученности, потенциальными источниками чрезвычайного риска. Такие вещества или материалы должны быть или немедленно исследованы, или вовсе исключены из обращения.

Остальные же пределы устанавливаются экспертами в зависимости от списка веществ и экономического уровня предприятия.

В данной работе предлагается планирование деятельности по управлению рисками путем создания нескольких перечней (в данном случае четырех) в зависимости от рекомендуемого способа управления рисками в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.





$Lim_{пр.}$  – предел пренебрежимого риска

$Lim_{доп.}$  - предел допустимого риска

Рис. 4. Планирование деятельности по управлению рисками

### **III. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ОБРАЩЕНИИ НА ШИННОМ ЗАВОДЕ**

В данном разделе рассмотрим конкретное предприятие – шинный завод, расположенный в черте города. Продукцией завода являются покрышки для легковых и грузовых автомобилей. Резина покрышек, содержащая технический углерод, представляет собой типичный пример композиционного материала. Основным сырьем для предприятия является технический углерод и каучуки различных видов. Побочное сырье представляет собой разнообразные ингредиенты для создания резиновых смесей (сера, вулканизирующие агенты, цинковые белила, белая сажа и т.д.), стальная проволока, текстильный корд, латекс для пропитки текстильного корда и каолин для изоляции гранул резиносмесей.

#### **1. Анализ источника рисков и оценка опасности веществ и материалов**

##### *Формирование общего списка потенциально опасных веществ и материалов*

Основным критерием отбора веществ в общий список был класс опасности в воздухе рабочей зоны цехов предприятия. В данный список вошли все вещества, используемые в подготовительном цехе и на линии по производству легковых радиальных шин. В этот список попали:

Цинковые белила  
Формальдегид  
Фталевый ангидрид  
Бензол  
Резорцин-формальдегидная смола  
Гуадин Ф  
Нафтам  
Ацетонанил Р  
Тиурам Д  
Натр едкий

##### *Сбор и обработка информации по потенциальным опасностям при обращении с веществами и материалами*

В соответствии с имеющимися данными по веществам в данной работе выделен ряд показателей. Для этих показателей на основе свойств веществ и в соответствии с предложенными ранее соотношениями (таблица П2) была составлена матрица «вещество-опасность» (таблица 15).

Таблица 15. Матрица «вещество-опасность» для шинного завода

	Воздух рабочей зоны	Атмосферный воздух	Культурно-бытовые и хозяйственные-питьевые	Рыбохозяйственные водоемы	Почва	Действие на кожу	Сенсибилизация	Раздражающее действие	Эмбриотропное действие	Тератогенное действие	Гонадотропное действие	Мутагенное действие	Канцерогенное действие	Кумулятивность	Пожаровзрывоопасность	Список CERCLA	Список EPA	Информационный показатель
№ показателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Формальдегид	2	2	2	4	3	2	2	1	3	4	3	3	2	3	3	1	1	4
Формалин	2	2	2	4	3	2	2	1	3	4	3	3	2	3	4	1	1	4
Фталевый ангидрид	2	2	3	3		3	3	2	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4
Ацетонанил Р	2	2				3		2						4	3	4	4	2
Белила цинковые	2	3	3					3	3			3		3	4	4	4	3
Гуадин Ф	2	1	3				2								3	4	4	2
Нагр едкий	2	2	3	4				1				3	4	4	4	4	4	3
Нафтам	2	2														4	4	1
Тиурам Д	2	3	2	1	1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
Бензол	2	2	2	4	1	4	2	1	3	3	3	3	1	4	1	1	1	4

## 2. Оценка рисков

Нормирование рисков проводили четверо экспертов. После исследования статистики по авариям и ЧС, включая превышение ПДК и залповые выбросы вредных веществ, этими экспертами был составлен *список рисков*, представленный в таблице 16. Оценка уровня этих рисков проводилась по десятибалльной шкале (чем более значим риск, тем более низкой выставляется оценка).

Таблица 16. Экспертные оценки рисков по десятибалльной шкале

№	Наименование риска	Оценки экспертов					
		1 эксперт	2 эксперт	3 эксперт	4 эксперт	Среднее значение	D <sup>1</sup>
1	Опасность связанная с отдаленными последствиями воздействия вредных веществ	2	2	1	2	1.75	0,5
2	Опасность для ОС	4	5	4	3	4	0,81
3	Опасность связанная с непосредственным воздействием опасного вещества на обслуживающий персонал	8	6	8	8	7.5	0,57
4	Пожаровзрывоопасность	9	9	9	8	8.75	0,5

D<sup>1</sup> – ошибка воспроизводимости оценок S экспертами i-го риска

Поскольку в данном случае значениям риска присваивались оценки, то для определения достоверности результатов были использованы методы математической статистики. Так как на мнение экспертов не влияли никакие внешние факторы, то их оценку можно считать случайной величиной, подчиняющейся закону распределения

случайных величин.

$$D^i = \sqrt{(D^i)^2} = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^S (R_s^i - \bar{R}^i)^2}{S-1}},$$

где:  $D^i$  – ошибка воспроизводимости оценок  $S$  экспертами  $i$ -го риска;  $R_s^i$  – оценка  $i$ -го риска,  $s$ -тым экспертом;  $S$  – общее число экспертов, принимавших участие в оценке. Таким образом, максимальная ошибка воспроизводимости результатов опроса составляет 0,81, что позволяет считать результаты проведенной работы приемлемыми для данного исследования.

*Создание перечня опасных веществ ранжированного по уровню риска. Составление матрицы «вещество-риск»*

Для составления уравнения для матрицы «вещество-риск» (таблица 17) воспользуемся уравнением  $R_j^i = H_j^i k_R^i k_{mj} k_{Nj}$  (см. раздел 3.2 главы II), где коэффициенты

- $k_R^i$  принимаются равными усредненному значению мнений экспертов об  $i$ -ом риске;
- $k_{mj}$  и  $k_{Nj}$  принимаются равными 1.

Таким образом, уравнение принимает следующий вид:

$$R_j^i = H_j^i k_R^i,$$

где:  $R_j^i$  –  $i$ -й вид риска для  $j$ -го вещества;  $H_j^i$  – значение в баллах из матрицы «вещество-опасность» для  $j$ -го вещества  $i$ -го показателя опасности (показатель берется для вида опасности, обуславливающей наличие  $j$ -го риска, при наличии нескольких показателей выбирается наименьший). Если для  $i$ -го вида риска для вещества  $j$  отсутствуют значения по указанным показателям, то в этом случае  $H_j^i$  и  $R_j^i$  не рассматривается;  $k_R^i$  – коэффициент характеризующий уровень приоритетности  $i$ -го вида риска.

Риск, связанный с опасностью возникновения отдаленных последствий от воздействия вредных веществ  $R^1$ , зависит от показателей № 9 – 14 таблицы 15.

Риск, связанный с опасностью негативного воздействия вредных веществ на окружающую среду  $R^2$ , зависит от показателей № 2 – 5.

Риск, связанный с непосредственным воздействием опасного вещества на обслуживающий персонал  $R^3$ , зависит от показателей № 1,6,7,8.

Риск, связанный с пожаровзрывоопасностью вещества  $R^4$  зависит от показателя №15.

Риск по международной оценке  $R^5$  зависит от показателей № 16,17.

Риск, связанный с отсутствием информации  $R^6$  зависит от показателя № 18.

**Таблица 17. Матрица «вещество-риск»**

	$R^1 (k^1_R = 1,75)$	$R^2 (k^2_R = 4)$	$R^3 (k^3_R = 7,5)$	$R^4 (k^4_R = 8,75)$	$R^5 (k^5_R = 1)$	$R^6$
Формальдегид	3.5	8	7.5	26.25	1	4
Формалин	3.5	8	7.5	35	1	4
Фталевый ангидрид	5.25	8	15	26.25	4	4
Ацетонанил Р	5.25	8	15	26.25	4	2
Белила цинковые	5.25	12	15	35	4	3
Гуадин Ф	1.75	4	15	26.25	4	1
Натр едкий	5.25	8	7.5	35	4	3
Нафтам	1.75	8	15	26.25	4	1
Тиурам Д	5.25	4	7.5	26.25	4	4
Бензол	1.75	4	7.5	8.75	1	4

Рассмотрим далее пять столбцов матрицы «Вещество-риск»:

Формальдегид	3.5	8	7.5	26.25	1
Формалин	3.5	8	7.5	35	1
Фталевый ангидрид	5.25	8	15	26.25	4
Ацетонанил Р	5.25	8	15	26.25	4
Белила цинковые	5.25	12	15	35	4
Гуадин Ф	1.75	4	15	26.25	4
Натр едкий	5.25	12	7.5	35	4
Нафтам	1.75	8	15	26.25	4
Тиурам Д	5.25	4	7.5	26.25	4
Бензол	1.75	4	7.5	8.75	1

Пересортируем последнюю матрицу: в каждой строке расположим цифры по возрастанию. В результате получим

1	3.5	7.5	8	26.25	Формальдегид
1	3.5	7.5	8	35	Формалин
4	5.25	8	15	26.25	Фталевый ангидрид
4	5.25	8	15	26.25	Ацетонанил Р
4	5.25	12	15	35	Белила цинковые
1.75	4	4	15	26.25	Гуадин Ф
4	5.25	7.5	12	35	Натр едкий
1.75	4	8	15	26.25	Нафтам
4	4	5.25	7.5	26.25	Тиурам Д
1	1.75	4	7.5	8.75	Бензол

В последней матрице пересортируем строки (и, следовательно, вещества). Первой считается строка, содержащая наименьший элемент в первом столбце. Если же две строки содержат в первом столбце одинаковые элементы, то наименьшей из них будет строка, содержащая наименьший элемент во втором столбце и т.д. Окончательно получаем

1	1.75	4	7.5	8.75	Бензол
1	3.5	7.5	8	26.25	Формальдегид
1	3.5	7.5	8	35	Формалин
1.75	4	4	15	26.25	Гуадин Ф
1.75	4	8	15	26.25	Нафтам
4	4	5.25	7.5	26.25	Тиурам Д
4	5.25	8	15	26.25	Фталевый ангидрид
4	5.25	8	15	26.25	Ацетонанил Р
4	5.25	12	7.5	35	Натр едкий
4	5.25	12	15	35	Белила цинковые

Таким образом, наибольший риск имеет место при обращении с бензолом, формальдегидом и формалином.

### 3. Планирование управления рисками и повышение уровня безопасности при обращении с веществами и материалами на шинном заводе

Для планирования деятельности по управлению рисками были составлены следующие списки веществ:

Перечень веществ требующих дальнейшего изучения		
№	Вещество	Комментарий
1	Гуадин Ф	значение информационного показателя = 1
2	Нафтам	значение информационного показателя = 1

Перечень веществ которые желательно исключить из производства		
№	Вещество	комментарий
1	Бензол	канцероген, аллерген, весен в списки особо опасных веществ CERCLA и EPA
2	Формальдегид	канцероген, аллерген, весен в списки особо опасных веществ CERCLA и EPA
3	Формалин	канцероген, аллерген, весен в списки особо опасных веществ CERCLA и EPA
4	Гуанид Ф	так как исследование не проводилось данное вещество может быть источником повышенного риска
5	Нафтам	так как исследование не проводилось данное вещество может быть источником повышенного риска
6	Тиурам Д	чрезвычайно опасен для рыбохозяйственных водоемов, не допускается наличие в пище, аллерген

Перечень веществ которые нуждаются в минимизации или жестком контроле, в том числе и за применением средств индивидуальной защиты.		
№	Вещество	комментарий
1	Фталевый ангидрид	оказывает негативное действие на функцию воспроизводства
2	Ацетонанил Р	оказывает негативное действие на функцию воспроизводства

Белила цинковые и едкий натр, относятся к веществам, не требующим дополнительных мер по безопасности (кроме контроля за выполнением имеющихся).

Основываясь на полученных выше результатах, с целью повышения уровня безопасности при обращении с веществами и материалами на шинном заводе, был поставлен ряд задач.

- 1) Довести концентрацию особо опасных веществ и материалов в рабочей зоне до ПДК.
- 2) Разработать и внедрить стандарты предприятия по обращению с особо опасными веществами.
- 3) Довести уровень персонала, прошедшего вводное экологическое обучение, до 100% к концу года.
- 4) Довести долю рабочих основного производства, участвующих в экологической деятельности, до 30% к концу года.

5) Довести количество предложений от рабочих основного производства по программе экологического менеджмента до 2 шт./мес. на одного рабочего к концу года.

6) Определить оптимальный способ утилизации изношенных автомобильных шин и организовать их сбор.

Таким образом, приведенная в данной работе методология позволяет провести оценку рисков, возникающих в процессе обращения химической продукции на протяжении всего ее жизненного цикла. Необходимо отметить, что при составлении методологии одной из приоритетных задач было следование международному принципу "от колыбели до могилы" ("cradle to grave" approach). Данный принцип означает то, что оборот токсичных и потенциально опасных химических веществ необходимо регулировать и контролировать, включая стадии производства, транспортировки, реализации, использования и утилизации как самих веществ, так и продукции, которая содержит подобные вещества.

Разработанная методология позволяет управлять рисками и гарантировать безопасное обращение с химической продукцией, в состав которой входят вещества, представляющие наибольшую опасность для здоровья человека и окружающей среды, а также повысить доверие общественности к тем видам химической продукции, которые такую опасность не представляют.



## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Таблица П 1. Классификация опасных грузов по ГОСТ 19433-88**

№ класса	№ подкласса	Наименования подклассов
1	1.1	Взрывчатые вещества и материалы (ВВМ) с опасностью взрыва массой
	1.2	ВВМ не взрывающиеся массой
	1.3	ВВМ пожароопасные, не взрывающиеся массой
	1.4	ВВМ не представляющие значительной опасности
	1.5	Очень нечувствительные ВВМ
	1.6	Изделия чрезвычайно низкой чувствительности
2	2.1	Невоспламеняющиеся неядовитые газы
	2.2	Ядовитые газы (ЯГ)
	2.3	Воспламеняющиеся газы (ВГ)
	2.4	Ядовитые и воспламеняющиеся газы
3	3.1	Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки менее минус 18°С в закрытом тигле
	3.2	ЛВЖ с температурой вспышки не менее минус 18°С, но менее 23°С в закрытом тигле
	3.3	ЛВЖ с температурой вспышки не менее 23°С, но не более 61°С, в закрытом тигле
4	4.1	Легковоспламеняющиеся твердые вещества (ЛТВ)
	4.2	Самовозгорающиеся вещества
	4.3	Вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой
5	5.1	Окисляющие вещества
	5.2	Органические пероксиды
6	6.1	Ядовитые вещества
	6.2	Инфекционные вещества
7	-	Радиоактивные материалы на подклассы не разделены
8	8.1	Едкие и (или) коррозионные вещества, обладающие кислотными свойствами
	8.2	Едкие и (или) коррозионные вещества, обладающие основными свойствами
	8.3	Разные едкие и (или) коррозионные вещества
9	9.1	Грузы, не отнесенные к классам 1-8
		911 – вещества в аэрозольной упаковке
		912 – вещества с температурой вспышки более 61°С, но не более 90°С
		913 – вещества воспламеняющиеся; вещества способные самопроизвольно нагреваться и воспламеняться; вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой;
		914 – слабые окислители
		915 – малоопасные ядовитые вещества
		916 – слабые едкие и (или) коррозионные вещества
	917 – намагниченные вещества	
	9.2	Грузы, обладающие видами опасности, проявление которых представляет опасность только при их транспортировании навалом водным транспортом
		921 – горючие твердые вещества; вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой
922 – ядовитые		
	923 – едкие и (или) коррозионные вещества	
	924 – поглощающие кислород воздуха	

Таблица П 2. Диапазоны значений показателей соответствующих тому или иному баллу.

№	Показатель	Количество баллов, соответствующих численному значению показателя			
		1	2	3	4
1.	Взрывоопасность (Описано в соответствии с рекомендациями NFPA, подробнее см. приложение 1 таблица 35).	Вещества и материалы, взрывающиеся при комнатной температуре (соответствует символу «4» на желтом поле).	Могут взрываться при ударе, нагревании в закрытом объеме или при смешивании с водой (соответствует символу «3» на желтом поле).	Нестабильны при смешивании с водой могут вызвать реакцию (соответствует символу «2» на желтом поле).	Могут реагировать при нагревании или при смешивании с водой, но не бурно или не взрывоопасны (символы «1» или «0» на желтом поле).
2.	Температура вспышки в закрытом тигле <sup>8</sup>	< -18 <sup>0</sup> С	-18 <sup>0</sup> С...+23 <sup>0</sup> С	+23 <sup>0</sup> С ...+61 <sup>0</sup> С (ЛВЖ) +61 <sup>0</sup> С ...+90 <sup>0</sup> С (ГЖ)	>90 <sup>0</sup> С
3.	Группа горючести в соответствии с [32,33].	Г4 – сильногорючие	Г3- нормальнгорючие	Г2-умеренногорючие и Г1 слабогорючие	НГ – негорючее
4.	Воспламеняемость в соответствии с [32,33].	В3 - легковоспламеняемые	В2 - умеренновоспламеняемые	В3 - трудновоспламеняемые	НГ – негорючее
5.	Распространение пламени по поверхности в соответствии с [32,33].	РП4 – сильнораспространяющие пламя	РП3 – умеренно распространяющие пламя	РП2 – слабораспространяющие пламя	РП1 – нераспространяющие пламя или НГ – негорючее
6.	Дымообразующая способность в соответствии с [32,33].	Д3 – высокая дымообразующая способность	Д2 – умеренная дымообразующая способность	Д1 – малая дымообразующая способность	Не образует дыма или НГ – негорючее
7.	Токсичность продуктов горения в соответствии с [32,33].	Т4 – чрезвычайно опасные	Т3 - высокоопасные	Т2 - умеренно опасные	Т1 - малоопасные
8.	Период времени, в течение которого вызывается видимый некроз кожной ткани животного, ч	<0,05	0,05...1	1...4	>4
9.	ПДКп.(ОДК), мг/кг	< 5	5...200	201...10000	>10000
10.	ПДКв (ОДУ), мг/л	<0,01	0,01...0,1	0,11...1	>1
11.	ПДКсс (ПДКм.р., ОБУВ), мг/м <sup>3</sup>	<0,01	0,01...0,1	0,11...1	>1
12.	ПДКр.з.(ОБУВр.з.) <sup>9</sup> , мг/м <sup>3</sup>	<0,1	0,1...1	1,1...10	>10
13.	Класс опасности в почве по ГОСТ 17.4.1.02.-83	Не присваивается	1	2	3
14.	Класс опасности в воде водоема	1	2	3	4
15.	Класс опасности в атмосферном воздухе	1	2	3	4
16.	Класс опасности в рабочей зоне	1	2	3	4
17.	DL <sub>50</sub> при введении в желудок <sup>10</sup> , мг/кг	<15	15...150	151...5000	>5000
18.	CL <sub>50</sub> , мг/м <sup>3</sup>	<500	500...5000	5001...50000	>50000
19.	Lg (S,мг/л/ПДКв.,мг/л),	>5	5...2	1,9...1	<1
20.	Lg (Снас.,мг/м <sup>3</sup> /ПДКр.з.,мг/м <sup>3</sup> )	>5	5...2	1,9...1	<1
21.	Канцерогенность	доказана для человека. 1 группа (МАИР)	доказана для животных 2А группа (МАИР)	есть вероятность для животных 2Б и 3 группы (МАИР)	не канцероген (доказано) 4 группа (МАИР)

<sup>8</sup> Данный показатель применим только к жидкостям – веществам с температурой плавления (каплепадения) менее 50<sup>0</sup>С [Ошибка! Закладка не определена.].

<sup>9</sup> При отсутствии нормативов можно взять аналогичный зарубежный норматив, например норматив США – величину TVL – threshold limit value (пороговая предельная величина).

<sup>10</sup> При отсутствии DL<sub>50</sub> при введении в желудок, можно взять аналогичную величину, полученную при внутривенном, внутривнутрибрюшинном и т.п. введении ксенобиотика в организм.

№	Показатель	Количество баллов, соответствующих численному значению показателя			
		1	2	3	4
22.	Lg(K <sub>ow</sub> ) октанол/вода	>4	4...2	1,9...0	<0
23.	Lg (С <sub>нас.</sub> , мг/м <sup>3</sup> /ПДКс.с., мг/м <sup>3</sup> )	>7	7...3,8	3,7...1,6	<1,6
24.	DL <sub>50</sub> , при нанесении на кожу, мг/кг	<100	100...500	501...2500	>2500
25.	CL <sub>50</sub> <sup>W</sup> (рыбы), мг/л/96ч	> 1	1...5	6...100	>100
26.	CL <sub>50</sub> <sup>W</sup> (дафнии), мг/л/96ч	<10	10...100	101...1000	>1000
27.	КВИО	>300	300...30	29...3	<3
28.	Zac – (зона острого действия)	<6	6...18	18.1...54	>54
29.	Zch – (зона хронического действия)	>10	10...5	4,9...2,5	<2,5
30.	Персистентность (трансформация в ОС): по токсичности продуктов распада:	образование более токсичных продуктов, в том числе обладающих отдаленными эффектами или новыми свойствами	образование продуктов с более выраженным влиянием и другими критериями вредности	образование продуктов, токсичность которых близка к токсичности исходного вещества	образование менее токсичных продуктов
31.	Персистентность в почве, мес.	Не присваивается	> 12	6...12	< 6
32.	Персистентность в растениях, мес.	Не присваивается	≥ 3	1...3	<1
33.	Миграция	Не присваивается	Мигрирует	Слабо мигрирует	Не мигрирует
34.	Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	выраженное накопление во всех звеньях	накопление в нескольких звеньях	накопление в одном из звеньев	нет накопления
35.	Биологическая диссимилиация (БД).	<10% (не распадается)	10%...50% (трудная или незначительная)	51%...90% (легкая)	>90% (полная)
36.	Стабильность в абиотических условиях (τ ½)	> 30 сут. (чрезвычайно стабильно)	30 – 7 сут. (высоко стабильно)	7-1 сут. (стабильно)	1 час. – 1 сут. (мало стабильно) или < 1 час. (не стабильно)
37.	ПДКпп (МДУ, МДС) (продукты питания), мг/кг	<0,01	0,01...1,0	1,0...10	>10
<b>ОТДАЛЕННЫЕ, СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ</b>					
38.	-сенсibilизация (в соответствии с таблицей 5) <sup>11</sup>	сильная	выраженная	умеренная	слабая
39.	- мутагенный	эффект обнаружен (или неизвестно)	существует возможность проявления указанного эффекта для человека	существует возможность проявления указанного эффекта для животного	отсутствует (доказано)
40.	- тератогенный				
41.	- гонадотропный				
42.	- эбриотропный				
43.	- нейротоксичный				
44.	Показатель опасности по информационному фактору n/N	<0,5	0,5...0,7	0,71...0,9	>0,9

<sup>11</sup> При отсутствии сведений можно оценивать данный эффект также как и эмбриотропное, гонадотропное и т.п. воздействия.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТОВ

Для количественной оценки степени компетентности используется *коэффициент компетентности*, с учетом которого взвешивается мнение эксперта. Наиболее простой является методика оценки относительных коэффициентов компетентности по результатам высказывания специалистов о составе экспертной группы. По результатам опроса формируют матрицу, состоящую из элементов  $x_{ij}$  ( $i, j = 1, \dots, n$ ), причем  $x_{ij} = 1$ , если  $j$ -й эксперт назвал  $i$ -го эксперта,  $x_{ij} = 0$  если  $j$ -й эксперт не назвал  $i$ -го эксперта.

Каждый эксперт может включать или не включать себя в экспертную группу. По данным матрицы вычисляют коэффициенты компетентности как относительные веса экспертов:

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}}$$

где  $K_i$  - коэффициент компетентности  $i$ -го эксперта,  $n$  - число экспертов. Коэффициенты компетентности нормированы так, что

$$\sum_{i=1}^n K_i = 1$$

Таким образом, коэффициент компетентности определяют как относительное число экспертов, высказавшихся за включение  $i$ -го эксперта в список экспертной группы.

Анализ характеристик эксперта требует очень трудоемкой работы по сбору информации и ее изучению. Как правило, часть характеристик эксперта оценивают положительно, а часть отрицательно. Возникает проблема согласования характеристик и выбора экспертов с учетом противоречивости их качеств. Необходимо сформулировать обобщенную *характеристику эксперта*, учитывающую как его важнейшие качества, так и допускающую непосредственное ее измерение. В качестве такой характеристики можно применять *достоверность оценки эксперта*. Однако применение такой обобщенной характеристике требует информации о прошлом опыте участия эксперта в решении проблемы. Достоверность оценки эксперта количественно оценивают по формуле:

$$D_i = \frac{N_i}{N},$$

где  $N_i$  - число случаев, когда  $i$ -й эксперт дал решение, подтвержденное практикой;  $N$  - общее число случаев участия  $i$ -го эксперта в решении проблемы.

Вклад каждого эксперта в достоверность оценок всей группы  $D_i^{om\delta}$  определяют по формуле:

$$D_i^{om\delta} = \frac{D_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i} = \frac{nN_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

где  $n$  - число экспертов в группе.

*Основными видами опроса экспертов* являются: анкетирование, интервьюирование, мозговой штурм, дискуссия. *При обработке результатов опроса* возникают следующие задачи: определение согласованности мнений экспертов; построение обобщенной оценки объектов; определение зависимости между суждениями экспертов; определение относительных весов объектов; оценка надежности результатов экспертизы.

При ранжировании объектов эксперты обычно расходятся во мнениях по решаемой проблеме. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки степени согласия экспертов. Получение количественной меры согласованности мнений экспертов позволяет более обоснованно интерпретировать причины в расхождении мнений. В настоящее время известны две меры согласованности мнений группы экспертов: *дисперсионный и энтропийный коэффициенты конкордации*.

**Дисперсионный коэффициент конкордации** (коэффициент согласования). Рассмотрим матрицу результатов ранжировки  $L$  рисков группой из  $S$  экспертов  $\|r_{ls}\|$  ( $s=1, \dots, S; l=1, \dots, L$ ), где  $r_{ls}$  - ранг (порядковый номер), присваиваемый  $s$ -м экспертом  $l$ -му риску. Составим суммы рангов по каждой строке. В результате получим вектор с компонентами [34]

$$r_l = \sum_{s=1}^S r_{ls},$$

Величины  $r_l$  рассмотрим как реализации случайной величины и найдем оценку дисперсии. Как известно, оптимальная по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценка дисперсии определяется формулой [34]

$$D = \frac{1}{L-1} \sum_{l=1}^L (r_l - \bar{r})^2,$$

где

$$\bar{r} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L r_l = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S r_{ls}$$

- оценка математического ожидания.

Дисперсионный коэффициент конкордации  $W$  определяется как отношение оценки дисперсии  $D$  к максимальному значению этой оценки  $D_{max}$

$$W = \frac{D}{D_{max}}$$

и изменяется от нуля до единицы.

Вычислим максимальное значение оценки дисперсии для случая отсутствия связанных рангов (все оцениваемые виды рисков различны и не связаны между собой). Поскольку эксперт использует для ранжировки натуральные числа от 1 до  $L$ , то  $\sum_{l=1}^L r_{ls} = \sum_{l=1}^L l = \frac{L(L+1)}{2}$ , что позволяет вычислить оценку математического ожидания:

$$\bar{r} = \frac{1}{L} \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L l = \frac{S(L+1)}{2}.$$

Таким образом, оценка математического ожидания зависит только от числа объектов и количества экспертов. Максимальное значение дисперсии достигается при полном совпадении оценок экспертов, т.е. при  $r_l = lS$ . Это позволяет вычислить дисперсию:

$$D_{max} = \frac{1}{L-1} \sum_{l=1}^L \left[ Sl - \frac{S(L+1)}{2} \right]^2 = \frac{S^2}{L-1} \sum_{l=1}^L \left[ l^2 - l(L+1) + \frac{(L+1)^2}{4} \right] = \frac{S^2 L(L+1)}{12},$$

где мы использовали известные равенства  $\sum_{l=1}^L l = \frac{L(L+1)}{2}$  и  $\sum_{l=1}^L l^2 = \frac{L(L+1)(2L+1)}{6}$ .

Вводя обозначение  $A = D(L-1)$ , получаем окончательное выражение для коэффициента конкордации:

$$W = \frac{12A}{S^2 L(L^2 - 1)}.$$

Коэффициент конкордации равен 1, если все ранжировки экспертов одинаковы.

Например, матрице  $\|r_{ls}\| = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$  соответствует вектор  $r_l = \begin{pmatrix} 4 \\ 8 \\ 12 \end{pmatrix}$ , причем  $\bar{r} = 8$  и

$D = D_{max} = 16$ , т.е. одинаковая ранжировка приводит к максимальному значению дисперсии. Коэффициент конкордации равен нулю, если есть равное количество прямо

противоположных оценок экспертов. Например, матрице  $\|r_{ls}\| = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

соответствует вектор  $r_l = \begin{pmatrix} 8 \\ 8 \\ 8 \end{pmatrix}$ , причем  $\bar{r} = 8$  и  $D = 0$ .

**Энтропийный коэффициент конкордации** определяется формулой:

$$W = 1 - \frac{H}{H_{max}}$$

где  $H$  – энтропия, вычисляемая по формуле

$$H = \sum_{l=1}^L H_l = - \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S p_{ls} \log p_{ls},$$

где  $H_{max}$  - максимальное значение энтропии,  $H_l = - \sum_{s=1}^S p_{ls} \log p_{ls}$  - энтропия по Шеннону.

В формуле для энтропии,  $p_{ls}$  - оценки вероятностей  $s$ -го ранга, для  $l$ -го объекта. Эти оценки вероятностей вычисляются как отношения количества экспертов  $S_{ls}$ , приписавших ранг  $l$  объектам  $1, 2, \dots, L$ , к общему числу экспертов  $S$ :

$$p_{ls} = \frac{S_{ls}}{S},$$

т.е. вероятность встретить в ряду  $l$  матрицы  $\|r_{ls}\|$  число  $1, 2, \dots, L$ . Очевидно, что

$$\sum_{s=1}^S S_{ls} = S \text{ и } \sum_{s=1}^S p_{ls} = 1.$$

Нулевое значение энтропии достигается при  $S_{ll} = S$  и  $p_{ll} = 1$ . Максимальное значение энтропии достигается при равновероятном распределении рангов, т. е. при  $S = L$  и  $S_{ls} = 1$ ,

$p_{ls} = \frac{1}{L}$  и имеет вид

$$H_{max} = - \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^L \frac{1}{L} \log \frac{1}{L} = \sum_{l=1}^L \log L = L \log L.$$

Например, матрицам  $\|r_{ls}\| = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$ ,  $\|p_{ls}\| = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$  соответствует нулевая

энтропия, тогда как матрицам  $\|r_{ls}\| = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 \end{pmatrix}$ ,  $\|p_{ls}\| = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix}$  - максимальная

энтропия.

Коэффициент согласия изменяется от нуля до единицы. При  $W = 0$  расположение объектов по рангам равновероятно, поскольку в этом случае  $H = H_{max}$ . Данный случай может быть обусловлен либо невозможностью ранжировки объектов по сформулированной совокупности показателей, либо полной несогласованностью мнений

экспертов. При  $W = 1$ , что достигается при нулевой энтропии ( $H=0$ ), все эксперты дают одинаковую ранжировку.

Сравнительная оценка дисперсионного и энтропийного коэффициентов конкордации показывает, что эти коэффициенты дают примерно одинаковую оценку согласованности экспертов при близких ранжировках. Однако, если например, вся группа экспертов разделилась в мнениях на две подгруппы, причем ранжировки в этих подгруппах противоположные, то дисперсионный коэффициент конкордации будет равен нулю, а энтропийный отличен от нуля. Таким образом, энтропийный коэффициент конкордации позволяет зафиксировать факт деления мнений на две противоположные группы. Объем вычислений для энтропийного коэффициента конкордации несколько больше, чем для дисперсионного.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО 14004-98. Системы управления окружающей средой. Общие руководящие указания по принципам, системам и средствам обеспечения функционирования. – М: Госстандарт России, 1998.
2. Маймулов В.Г., Нагорный С.В., Шабров А.В. соавт. Н.В.Зайцева, П.З.Шур. Основы системного анализа в эколого-гигиенических исследованиях".- СПб.: ГМА им. Мечникова.- 2000.- с. 94 - 121.
3. Аверкиев А.В. Оценка последствий аварий и управление аварийными ситуациями на объектах повышенной техногенной опасности. Диссертация. – М.: РХТУ, 1998.
4. Кузьмин И.И., Махутов Н.А., Хетагуров С.В. Безопасность и риск эколого-экономические аспекты. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 1997.
5. Снакин В.В. Экология и охрана природы. Словарь-справочник. Под. Редакцией академика А.Л. Яншина. – М: Academia, 2000. 384с.
6. Проценко А.Н. Развитие теории риска в федеральной программе «Безопасность населения и объектов с учетом риска техногенных и природных аварий и катастроф»//Proc. of Int. Conf. "Risk science: employment and training", Moscow, 13-17 Oct., 1996. – AP/CAT (97) 3. – Strasbourg, 1997. – P. 40-56.
7. Харченко С.Г., Прохожев А.А., Шахраманьян М.А. и др. Концептуальные основы государственной стратегии снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций. I. Основные термины и понятия// Экология и промышленность России, № 10, 1997. – С.31-34.



8. Бобков А.С., Блинов А.А, Роздин И.А., Хабарова Е.И. Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности./Учебное издание для вузов. – М.: Химия, 1996.
9. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные факторы. Классификация.
10. ГОСТ 19433-88. Грузы опасные. Классификация и маркировка. – М: Издательство стандартов, 1988.
11. Методические рекомендации по определению класса опасности отходов. Проект. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации. Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации. – М.: 1995.
12. Информационные карты потенциально опасных химических и биологических веществ. Свидетельства государственной регистрации. - М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 1994-2000гг.
13. Паспорта безопасности веществ и материалов. – М.: Гостстандарт России.
14. ГОСТ 12.01.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
15. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.
16. Захарченко М.П. с соавт. Гигиеническая экспресс-диагностика токсичности дезинфектантов питьевой воды с помощью биотестирования. Гигиена и санитария №9, 1994.
17. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
18. ГН 1.1.725-98. Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 23 с.
19. Показатели опасности веществ и материалов. Т.1./А.К. Чернышев, Б.А. Лубис, В.К. Гусев, Б.А. Курляндский, Б.Ф. Егоров. Под общ. ред. В.К. Гусева. – М.: Фонд им. И.Д. Сытина, 1999г.
20. Методические указания, утвержденные МЗ РБ (№ 10-53-97 от 13.08.97г.).
21. Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. NCEA-C-0148 April 1999. External Scientific Peer Review Draft. Risk Assessment Forum Technical Panel.

22. Временный классификатор токсичных промышленных отходов и методические рекомендации по определению класса токсичности промышленных отходов (утв. Минздравом СССР 13.05.1987, № 4286-87 ГКНТ СССР 05.051987г).
23. Новые сведения о токсичности и опасности химических и биологических веществ./ Под ред. Б.А.Курляндского и К.К.Сидорова. - М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ, 1995.
24. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. – Л., 1986.
25. РД 52.04.186-89. — Л.: Гидрометеиздат, 1991.
26. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды./Учебное пособие для инженера-эколога. Под ред. профессора А.Ф.Порядина и А.Д. Хованского. – М.: НУМЦ Минприроды России, Издательский Дом «Прибой», 1996г.
27. Справочник по гидрохимии./под ред. Никанорова Н.А. – Л.: Гидрометеиздат, 1988г.
28. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности – М.: «Экспертное бюро-М», 1998. – 224 с.
29. Canter, L.W. Environmental Impact Assessment. 2nd Edn. — NY.:McGraw-Hill, 1996.
30. Способы предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах: Учебное пособие/ В.А.Колесников, А.Ю.Налетов, В.П.Мешалкин, Н.П.Тарасова, Б.В.Ермоленко, Г.С.Соловьев, С.В.Макаров, С.И.Корнилова, РХТУ им. Д.И.Менделеева, М., 1997, 67 с.
31. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 263 с.
32. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений (утв. Постановлением Минстроя РФ от 13 февраля 1997 г № 18-7).
33. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. Ч.1.-М.: Асс. «Пожнаука», 2000. –709с.
34. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. М.: Экономика, 1978, 133 с.
35. Макарова А.С., Кузнецов Д.О., Егоров А.Ф., Макаров С.В. Идентификация, оценка и управление рисками при обращении с потенциально опасными веществами и материалами.//Экологическая экспертиза, №3, 2001. – с. 2-106.
36. Макарова А.С. Разработка метода оценки и управления рисками, возникающими при обращении с веществами и материалами. Дисс. ... канд. техн. наук . – М.: РХТУ, 2002.