

ГЛАВА 8

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРИЧИНЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО УЩЕРБА

8.1. Краткая характеристика этапов процесса причинения техногенного ущерба

Статистика современных аварий, катастроф и несчастных случаев с людьми свидетельствует: наибольший техногенный ущерб людским, материальным и природным ресурсам ныне связан с пожарами и происшествиями на транспорте, а также с взрывами разрушениями зданий. Большинство же техногенных происшествий обусловлено неконтролируемым высвобождением кинетической энергии движущихся машин и механизмов, а также потенциальной или химической энергией, накопленной в сосудах высокого давления и топливовоздушных смесях, конденсированных взрывчатых веществах, ядовитых технических жидкостях и других вредных веществах.

К основным поражающим факторам техногенного характера обычно относят: а) термический (тепловое излучение, «удар» пламенем или криогенным веществом) – 56% от общего числа причин разрушительного воздействия; б) бризантно-фугасный (дробящее, метательное или осколочное воздействие движущихся тел, включая непосредственные продукты взрыва) – 29%; в) агрессивные или токсичные свойства вредных или аварийно опасных химических веществ – около 10 %.

Приведенные данные свидетельствуют о чрезвычайном многообразии обстоятельств проявления техногенных происшествий и разрушительного воздействия на различные ресурсы перечисленных выше и иных факторов. Вот по нему их детальное рассмотрение удобно провести после декомпозиции всего процесса причинения техногенного ущерба на ряд стадий, подобно тому как это уже делалось ранее – при построении дерева событий. Напомним, что там были выделены следующие *четыре* этапа или стадии:

1) высвобождение (расконсервация) накопленной в человеко-машинной системе энергии или запасов вредного вещества вследствие возникшей там аварии;

2) неконтролируемое распространение (трансляция) их потоков в процессе истечения вещества и энергии в новую для них среду и перемещения в ней;

3) физико-химическое их превращение (трансформация) там с дополнительным энерговыделением и переходом в новое агрегатное или фазовое состояние;

4) разрушительное воздействие (адсорбция) первичных потоков и/или наведенных ими поражающих факторов на не защищенные от них объекты.

Последовательно и кратко охарактеризуем все перечисленные этапы, обращая внимание на их особенности, а также на те сочетания уже

упомянутых и других факторов, которые имеют существенное значение для последующего моделирования и системного анализа всего рассматриваемого здесь процесса причинения техногенного ущерба. Преимущественное внимание при этом уделим поведению аварийно-опасных химических веществ. Это вызвано тем, что большинство видов энергии (кроме механической и тепловой) высвобождается и распространяется практически мгновенно и без существенного изменения ее параметров, в пределах рассматриваемого здесь сравнительно малого времени или пространства.

Характеристику первого этапа, т. е. процесса расконсервации аварийно-опасных энергии и вещества, накопленных в объектах техносферы, проведем путем ответа на такие три вопроса:

- а) что высвобождается;
- б) откуда или из чего оно истекает;

в) каким образом это случилось или происходит. При этом основное внимание при ответе на каждый из них будет уделено соответственно физико-химическим свойствам вещества или энергии, их высвобождающемуся количеству и динамике (изменению во времени) рассматриваемого процесса.

Возможны такие основные варианты ответа на эти вопросы:

а) твердое тело или вещество – газообразное, жидкое, газокапельное или порошкообразное, которое может быть инертным и неинертным или меняющим и не меняющим свое агрегатное состояние после высвобождения, а также энергия – в форме движущихся тел или потока невидимых частиц-волн;

б) из генератора (компрессора, насоса, источника энергии) или аккумулятора (емкости) – через образовавшуюся в них трещину либо отверстие;

в) практически мгновенно (залповый выброс), непрерывно – с постоянным или переменным расходом и эпизодически – регулярно или случайным образом.

Целью системного анализа и моделирования данной стадии может служить прогнозирование таких ее параметров, как количество внезапно или постепенно высвободившегося вредного вещества, интенсивность и продолжительность его истечения, а также плотность потока тел либо частиц и напряженность электромагнитных полей или ионизирующих излучений.

Особенности протекания второго этапа рассматриваемого процесса обусловлены как перечисленными только что факторами, так и спецификой пространства, заполняемого веществом или находящегося между источником энергии и подверженным ее воздействию объектом. Чаще всего это пространство может быть трехмерным (атмосфера, водоем, почва), иметь заполнение – неоднородное или однородное, неподвижное или подвижное (несущую среду), обладать фактически бесконечными размерами или ограничиваться другой средой, способной поглощать или отражать потоки энергии или вещества.

С учетом данного обстоятельства возможны различные сочетания существенных для энерго - массо- и потокообразования факторов, приводящих к различным *сценариям*: начиная с растекания жидких веществ по твердой поверхности и завершая заполнением всего пространства смесью аэрозоли, газа и/или жидкости. Учитывая практическую нецелесообразность детального рассмотрения всех действительно возможных сценариев, в последующем ограничимся лишь теми из них, которые связаны с распространением аварийно-опасных химических веществ и более естественной для людей (воздушной) среде пребывания. Сделаем это последовательно с учетом и без учета реально протекающих там атмосферных процессов.

Если не учитывать подвижность атмосферы, то можно утверждать о подверженности распространения в ней газообразных веществ некоторым базовым тенденциям. Они проявляются обычно в образовании либо облака (для залпового выброса газов), либо шлейфа (для их непрерывного истечения), которые затем ведут себя соответственно следующим образом: а) стелятся над поверхностью или постепенно приближаются к ней – для тяжелых газов, б) касаются земли или распространяются параллельно ее поверхности – для нейтральных и в) поднимаются в виде гриба или расширяющегося конуса, поперечные сечения которых называются «термиками» (интенсивно перемешиваемыми образованиями с поднимающимися легкими потоками внутри и опускающимися из-за охлаждения более плотными снаружи – для легких газов.

В случае же учета реальной подвижности рассматриваемой здесь несущей среды (скорости ветра их), а также шероховатости подстилающей (ее) поверхности, рельефа местности и вертикальной устойчивости атмосферы данные тенденции слегка видоизменяются. Обычно это приводит к дрейфу шлейфа или облака в атмосфере с постепенным изменением их высоты и формы примерно так, как это показано на рис. 8.1. Причины тому - действие архимедовых и гравитационных сил, а также размывание поверхности этих образований за счет трения о поверхность и турбулентного рассеяния газов в процессе так называемой атмосферной диффузии.

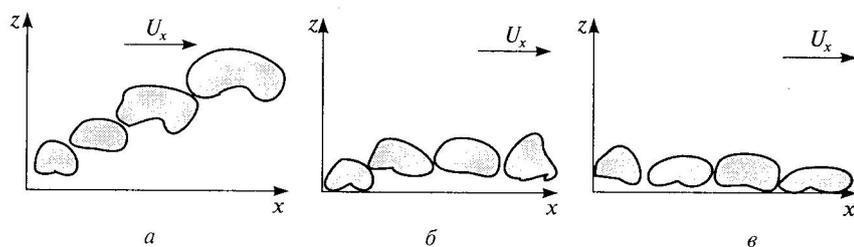


Рис. 8.1. Распространение облака разной плавучести в атмосфере:
а – легкий; б – нейтральный; в – тяжелый газ

Если величина трения о земную поверхность обычно зависит от размеров зданий, оврагов, деревьев, кустов и других естественных «шероховатостей», то влияние атмосферы определяется направлением и скоростью циркулирующих в ней потоков, в том числе потока тепловой энергии. Для

учета такого влияния обычно вводят шесть *классов* устойчивости (иногда – стабильности) атмосферы: *A* – сильно неустойчивая, с преобладанием конвекции, *B* – умеренно неустойчивая, *C* – слабо неустойчивая атмосфера, *D* – нейтральная стратификация, т.е. изотермия, *E* – слабо устойчивая с инверсией и *F* – умеренно устойчивая. Одна из таких базовых классификаций, учитывающая время суток, облачность, уровень солнечной радиации и скорость ветра, приведена в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Классы устойчивости атмосферы по Ф. Пэсквиллу

Ветер на высоте 10 м, м/с	День			Ночь	
	Инсоляция			Облачность	
	интенсивная	умеренная	слабая	тонкая ($>5/8$)	отсутствует ($<3/8$)
$U \leq 2$	<i>A</i>	<i>A-B</i>	<i>B</i>	-	-
$U \leq 3$	<i>A-B</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
$U \leq 5$	<i>B</i>	<i>B-C</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
$U \leq 6$	<i>C</i>	<i>C-D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>
$U > 2$	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>

Примечание. При полной облачности днем и ночью обычно подразумевается класс *D*.

Приведенная классификация используется затем для определения ряда эмпирических коэффициентов и зависимостей, существенно влияющих на рассеяние вредного вещества в атмосфере. В качестве других исходных данных применяются перечисленные ранее сценарии и факторы, а также количественные же характеристики, полученные при исследовании первого этапа процесса причинения техногенного ущерба. Конечной же *целью* последующего системного анализа и моделирования процесса распространения энергии и вредного вещества служит построение полей пространственно-временного распределения плотности их потоков или концентрации.

Что касается третьей стадии, т.е. трансформации аварийно высвободившихся потоков энергии и запасов вредного вещества, то возможность и характер такого превращения также зависят от большого числа указанных выше факторов и их вероятных сочетаний. Однако доминирующее положение среди них занимают те физико-химические свойства распространившихся в новой среде продуктов выброса, которые характеризуют их взаимную инертность. В противном случае в образовавшихся или изменившихся под их воздействием объемах пространства возможны не только различные фазовые переходы типа «кипение-испарение», но и химические превращения в форме горения или взрыва, сопровождающиеся большим энерговыделением.

Особенно это характерно для больших проливов аварийно-опасных химических веществ или заполнения их парами сравнительно небольших объемов воздушного пространства. Дело в том, что при этом могут

создаваться топливовоздушные смеси, способные к трансформации в одной или нескольких из упомянутых выше форм. Например, залповый выброс значительного количества сжиженного углеводородного газа сопровождается его практически мгновенным испарением с образованием смеси, способной затем (после контакта с открытым огнем) взорваться или интенсивно сгореть.

Обратим внимание на принципиальное отличие между двумя такими режимами физико-химического превращения с большим энерговыделением, как горение (дефлаграция) и взрыв (детонация). Помимо значительно большей (в среднем до 2-х порядков) скорости распространения детонаций, ее фронт представляет собой практически плоскую, а не «сморщенную турбулентностью» (как при горении) поверхность и характеризуется на порядок большим градиентом давления в генерируемых детонацией волнах сжатия (примерно 2, а не 0,1 МПа). Именно последней особенностью и объясняется колоссальный по разрушительности эффект взрыва топливовоздушных смесей.

Целью системного анализа и моделирования данной стадии рассматриваемого процесса служит прогнозирование не только характера трансформации вредных веществ, рассеянных в результате аварии, но и поражающих факторов, обусловленных последующим превращением в новой для них среде. Перечень таких факторов уже приведен в начале данного параграфа, а для априорной оценки их количественных параметров должны использоваться результаты, получены на этом и двух предыдущих этапах.

Четвертой стадией и конечной целью всего исследования процесса причинения техногенного ущерба является изучение поражающего воздействия первичных и вторичных продуктов аварийного выброса на незащищенные от них людские, материальные и природные ресурсы. Основными используемыми при этом исходными данными являются параметры а) поражающих факторов (перепад давления во фронте воздушной ударной волны, концентрация токсичных веществ, интенсивность тепловых и ионизирующих излучений, плотность потока и кинетическая энергия движущихся осколков), б) потенциальных жертв (стойкость и живучесть конкретных объектов, с учетом частоты или длительности вредного воздействия на них и качества аварийно-спасательных работ).

Сам же ущерб от такого воздействия целесообразно делить на два вида. *Прямой* или непосредственный ущерб, обусловленный утратой целостности или полезных свойств конкретного объекта, и *косвенный*, вызванный разрушением связей между ним и другими объектами.

Более детальное представление первого компонента техногенного ущерба реализовано с помощью табл. 8.2.

В табл. 8.2 систематизированы некоторые формы проявления прямого ущерба (ее правая часть) применительно к различным видам ресурсов (левая часть). При этом интенсивность или доза вредного воздействия указанных выше поражающих факторов снижается по мере рассмотрения столбцов правой части слева направо, тогда как степень отдаленности последствий ухудшения повреждаемых объектов растет в этом же направлении. Что

касается градации интенсивности и отдаленности, то она – двухступенчатая: «большая» - «малая» и «немедленно» - «в последствии» соответственно.

Несмотря на определенную условность и нечеткость, приведенная в табл. 8.2 классификация помогает убедиться как в многогранности проявления техногенного ущерба, так и в его зависимости от большого числа перечисленных выше факторов.

Все это свидетельствует о необходимости привлечения к прогнозированию рассматриваемого здесь ущерба самых разнообразных моделей и методов. Для того чтобы выбрать из накопленного ныне опыта лишь наиболее подходящее для последующего моделирования и системного анализа выделенных выше этапов, вначале проанализируем известные подходы к решению соответствующих задач.

Таблица 8.2

Формы и особенности проявления непосредственного ущерба

Ресурсы и объекты причинения ущерба	Форма причинения ущерба в зависимости от интенсивности вредного воздействия и отдаленности его проявления			
	большая	немедленная	малая	в последствии
Материальные: производственные, бытовые и культурные здания, помещения и оборудование, готовая продукция	Уничтожение в результате катастрофы либо аварии	Вывод из строя по причине отказов	Снижение эффективности из-за нерасчетных режимов работы	Повышенный износ либо интенсивное старение
Человеческие: непосредственно работающие и обслуживающий их персонал, проживающие вблизи люди	Гибель и увечья по причине несчастных случаев	Снижение трудоспособности из-за травмирования	Ухудшение здоровья в результате профзаболевания	Преждевременная смертность и плохая наследственность
Природные: фауна и флора, другие органические энергоресурсы и минеральные руды	Вымирание биоособей и уничтожение ресурсов из-за аварий	Снижение биоразнообразия и жизнестойкости видов	Нарушение естественных биогеохимических циклов вещества	Мутагенные изменения и/или истощение запасов сырья

8.2. Классификация и анализ известных моделей и методов прогнозирования техногенного ущерба

Среди существующих материальных и идеальных моделей различных этапов процесса причинения ущерба можно выделить практически все известные их классы. Однако применение физических моделей (натурных и аналоговых) ограничено сферой пригодности и высокой стоимостью. Ранее они использовались преимущественно для получения статистических данных (например, при испытаниях оружия массового поражения). Сейчас для проверки других моделей и обобщения результатов, полученных на аналогах, если соблюдается требование *автомодельности* (известны параметры какого-либо подобия, допустим, геометрический или иной масштаб).

Значительно шире применяются идеальные модели, начиная от интуитивных (метод сценариев развития аварии) либо Смысловых

(зависимость типа «доза-эффект») и завершая знаковыми (математическими и алгоритмическими). Под последней группой имеется в виду следующее.

1. Аналитические модели: а) параметрические формулы типа уравнения М. Садовского для перепада давлений в атмосфере или модель рассеяния в ней вредных веществ К. Гаусса; б) интегральные модели, базирующиеся на интегральных законах баланса массы либо энергии и описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями; в) модели, построенные на интерпретации параметров состояния или энергообмена в их оригинальном виде и реализуемые системами дифференциальных уравнений Б частных производных.

2. Методы имитационного, статистического и численного моделирования, основанные на использовании случайных распределений параметров совокупности разных моделей и учете их непрерывно меняющихся факторов.

Что касается предназначения перечисленных моделей и методов, то их удобно разделить по четырем этапам причинения техногенного ущерба. Наибольший интерес представляют модели таких объектов или процессов, как: а) источник выброса энергии или вредного вещества, истечение газообразных веществ или растекание по твердой поверхности – жидких; б) распространение энергии или массы в несущей среде или их межсредный перенос; в) вскипание сжиженного газа, испарение перегретой жидкости, энерговыделение и образование полей поражающих факторов; г) реципиент этих факторов, защита от них и поражение ресурса конкретным фактором. Проиллюстрируем приведенную классификацию на примере краткого сравнительного анализа наиболее характерных из известных ныне математических моделей и численных методов.

Высвобождение и/или истечение энергии и вещества

Наиболее простыми из моделей и методов данного класса являются те, которые описывают высвобождение энергии (механической, тепловой и электрической), а также истечение инертных или не меняющих при этом агрегатное состояние жидкостей и газов. Аналогично обстоит дело с потоками ионизирующих частиц и электромагнитных излучений.

Дело в том, что соответствующие математические соотношения описываются довольно простыми расчетными формулами типа уравнений для потенциальной и кинетической энергии различных тел; законом Ома для участка электрической цепи; формулой для расхода жидкости через отверстие и законом Стефана - Больцмана для потока теплового излучения. Параметрами этих аналитических моделей соответственно служат масса и высота либо скорость тела; перепад электрического напряжения или гидравлического давления, а также препятствующее высвобождению потоков сопротивление среды либо площадь отверстия, температура или интенсивность источника соответствующего излучения и степень его ослабления разного рода экранирующими устройствами.

Заметно сложнее обстоит ситуация с выбросом веществ, меняющих свое состояние в результате интенсивного вскипания и испарения после

разгерметизации емкости, например, сжиженных газов или криогенных жидкостей. Если в перечисленных выше случаях используются довольно строгие аналитические модели, то данная ситуация все еще исследована недостаточно. По этой причине наиболее слабым моментом известных ныне методик служит прогноз интенсивности истечения подобных веществ и их выброшенного количества, а также оценка влияния на эти параметры инородных включений, например аэрозолей.

Выходом из подобных ситуаций служит повсеместное использование либо различных упрощенных сценариев (полный и частичный выброс накопленного где-либо энергозапаса), либо полуэмпирических зависимостей или постоянных коэффициентов. В целом же данный класс моделей представляется достаточно разработанным, а при их выборе необходимо учитывать гомогенность и возможные фазовые переходы рассматриваемого вещества, а также конструктивные особенности их аккумулятора.

Распространение потоков энергии и вещества

Как уже указывалось в предыдущем параграфе, моделирование процессов трансляции и трансформации потоков ионизирующих излучений и электромагнитной энергии в техносфере в целом представляется малопродуктивным по причине их очень большой скорости и практической инвариантности во времени. Учитывая это обстоятельство, а также последующее рассмотрение разрушительного воздействия поражающих факторов взрыва и пожара на конкретные объекты, основное внимание на данной стадии будет уделено лишь распространению вредных веществ.

Дело в том, что моделирование и прогноз параметров распространения химических или радиоактивных веществ связаны с необходимостью учета большого числа факторов. Например, концентрация данных веществ в точке с радиус-вектором \underline{r} (x, y, z), обычно выражаемая функцией $c(\underline{r}, t)$ этих прямоугольных координат и времени t , зависит от трех групп факторов: а) источник – его геометрия, расход, термодинамические параметры; б) среда – температурная и скоростная стратификация на макро уровне, а также ее локальная неоднородность, нерегулярность и турбулентность; в) вредное вещество – плотность, размер частиц, их склонность к физико-химическим превращениям после контакта со средой и ограничивающей поверхностью.

Естественно, что наиболее полный и достоверный прогноз функций $c(\underline{r}, t)$ возможен лишь на основе *численного моделирования* системы соответствующих дифференциальных уравнений в частных производных. Особенно это касается последствий истечения мощных струй и мгновенных выбросов большого количества тех веществ, которые имеют существенно отличную от несущей среды температуру или плотность, т.е. при разрушениях магистральных газопроводов, взрывах токсичных продуктов и проливах сжиженных природных газов. В основе соответствующих математических соотношений чаще всего выступают следующие основные законы сохранения [18, 29, 30]:

а) уравнение сохранения массы (неразрывности):

б) уравнение сохранения импульса:

в) уравнение сохранения энергии:

Приведенные уравнения могут быть, как упрощены (допустим, предположением о несжимаемости среды), так и усложнены, например, из-за учета аэрозольной фазы в уравнениях баланса импульса и энергии – включением слагаемых межфазного обмена для неравновесной (по скорости и температуре) среды.

Естественно, что для решения всей этой системы потребуются специальные методы численного моделирования, и существенные затраты машинного времени. Однако данный метод позволяет учесть практически все важные факторы, а потому является наиболее точным способом построения полей концентрации вредного вещества в атмосфере.

Примерно также моделируется процесс распространения этих веществ в зоне их возможного рассеяния и с помощью *интегральных моделей*, представленных обыкновенными дифференциальными уравнениями. Чаще всего в качестве таких математических соотношений используются следующие уравнения:

а) изменение формы облака с примесями вредного вещества под воздействием гравитации:

б) сохранение массы вещества в облаке:

в) уравнение сохранения энергии в облаке:

К числу параметров этой системы, характеризующих процесс тепломассообмена между атмосферой и облаком цилиндрической формы (его вертикальной (вер) и боковыми (бок) поверхностями) благодаря диффузии, конвекции и излучению подстилающей поверхности (под), относятся: R , B – текущие значения радиуса и высоты облака такой формы, имеющего равномерное распределение вредного вещества по всему его объему; M , T и (Q или q) – масса, температура и количество теплоты соответственно воздуха (воз), водяного пара (вод) либо вредного вещества (без индекса); C_p , C_v – их удельные теплоемкости при постоянных давлении и объеме; $\rho_{\text{воз}}$, γ , U^* – плотность воздуха, эмпирическая константа и динамическая скорость, характеризующие влияние трения подстилающей (несущую среду) поверхности на интенсивность диффузии в ней вредного вещества.

Анализ только что приведенных выражений свидетельствует о возможности уже не точного, а приближенного определения всех параметров, что обусловлено принятыми там допущениями. Ведь ими игнорируется влияние на тепломассобмен неоднородности концентрации вредного вещества и гравитационного растекания облака, а также начальных условий его образования и перемещения над различной местностью. Очевидна также трудоемкость получения исходных данных и решения этих дифференциальных уравнений.

По этим причинам заметно чаще применяются *параметрические формулы* и основанные на них методы прогнозирования полей концентрации загрязнителя в зонах его рассеяния. Эти подходы базируются на

закономерностях диффузии или турбулентного обмена между слоями атмосферы и вероятно – статистических (гауссовых) представлениях о рассеянии в ней или водной среде загрязнителей.

параметрические формулы позволяют моделировать распространение вредных веществ и прогнозировать плотность их распределения. Кроме того, в сравнении с приведенными выше численными и интегральными моделями они более просты, что облегчает системный анализ этих процессов. Именно данное обстоятельство и способствовало широкому использованию данных соотношений в действующих ныне официальных методиках.

Поскольку чрезвычайная неоднородность приземных слоев атмосферы и непрерывно меняющаяся там турбулентность исключают теоретическим вывод зависимости дисперсии от всех влияющих на нее факторов, то первое слагаемое формулы (8.15) обычно представляют следующими тремя группами *эмпирических* выражений, полученных с помощью полей концентрации от точечных источников мгновенного или непрерывного действия.

Известны также модификации некоторых из перечисленных моделей, обеспечивающие лучшее согласие между экспериментальными и расчетными данными о полях концентрации, а потому и являющиеся более совершенными.

В завершение знакомства с параметрическими гауссовыми моделями отметим и ряд присущих им *недостатков*, обусловленных, например, игнорированием следующих реально действующих факторов: а) влиянием выброса больших количеств вредного вещества, обладающего заметно большей или меньшей чем у атмосферы) плотностью и начальной скоростью; б) наличием в несущей среде слоев с разной температурой и/или плотностью, заметно изменяющих интенсивность их перемешивания.

По этим причинам рассмотренные здесь параметрические модели целесообразно использовать лишь при соблюдении ряда условия, которые будут обсуждены несколько ниже (см. разд. 10.3). В противном случае можно получить необоснованно завышенные или заниженные прогнозы концентрации $c(\underline{r}; t)$. Последнее может иметь место, например, вследствие раздвоения облака паров сжиженного тяжелого газа из-за игнорирования гауссовыми моделями мощных нисходящих потоков в центре его большого пролива и таких же, но в обратном направлении по периметру зоны его испарения.

Заканчивая краткий сравнительный анализ известных моделей и методов прогнозирования параметров распространения вредных выбросов, обратим внимание на следующее. При моделировании этой стадии процесса причинения техногенного ущерба важно учитывать специфику каждого из этих веществ, условия их выброса и истечения, что под силу лишь методам численного моделирования. Для рассеяния тяжелого газа пригодны также интегральные математические соотношения (8.5) - (8.10), обеспечивающие приемлемую точность прогноза его концентрации и размеров облака. А вот приведенные выше гауссовы модели способны к подобным предсказаниям,

но только вдали от источника выброса.

Трансформация потоков энергии и вещества

Среди известных ныне моделей изменения агрегатного состояния (испарение, кипение) и преобразования вещества с интенсивным энерговыделением (горение и взрыв) преобладают параметрические формулы. Чаще всего они основаны на общепринятых теоретических положениях и результатах обработки экспериментальных данных. В порядке иллюстрации приведем самые распространенные из таких формул.

К сожалению, в данной формуле не учитывается изменение температуры поверхностного слоя пролива вследствие испарения, поскольку она принята равной исходному значению этого параметра. На практике это обычно приводит к завышенным, а иногда (что реже) и заниженным значениям q_u .

Что касается *горения* с малой (до 1 м/с) скоростью распространения фронта пламени, то тепловой поток q_b , образующийся в результате такого энерговыделения, рекомендуется рассчитывать по аналогичным формулам. Их параметрами-сомножителями обычно служат площадь пожара и его суммарная теплоизлучающая поверхность, массовая скорость и теплота сгорания пожароопасного вещества, а также температура поверхности факела, степень его черноты и коэффициенты, характеризующие специфику конкретного вещества.

Аналогичные параметрические соотношения используются и при более интенсивном тепловыделении, сопровождающемся образованием так называемого огненного шара.

Для определения характера чрезвычайно интенсивного – взрывного – высвобождения энергии аварийно-опасных веществ обычно используется какая-либо классификация заполненных ими объемов по степени соответствующей чувствительности. Например, методика [19] предлагает делить все топливоздушные смеси на такие четыре класса (см. табл. 8.3): 1 – особо чувствительные, 2 – чувствительные, 3 – умеренно чувствительные и 4 – слабо чувствительные. Аналогично классифицируются этой методикой и заполненные ими пространства: 1 – сильно загроможденные, с замкнутыми полостями, 2 – загроможденные, с полузамкнутыми объемами, 3 – частично загроможденные отдельными предметами или сооружениями и 4 – слабо загроможденные.

Исходя из оцененного таким образом класса аварийно-опасного горючего вещества и заполненного им объема, затем определяется вероятный режим высвобождения энергии этих смесей (Табл. 8.4). В качестве режимов подразумеваются: 1 – детонация (взрывное горение со скоростью более 500 м/с), 2 – дефлаграция при 300-500 м/с, 3 – дефлаграция со скоростью 200-300 м/с, 4 – дефлаграция при 100-200 м/с, 5 – дефлаграция со скоростью, равной $40 M^{1/6}$ (M – масса облака, т) и 6 – медленная дефлаграция при скорости в $(21M^{1/6})$ м/с.

В процессе же прогнозирования зоны распространения продуктов взрывного высвобождения энергии обычно исходят из того, что основными

поражающими факторами при этом служат осколки и сейсмическая или воздушная ударная волна.

Таблица 8.4

Режимы взрывного горения топливовоздушных смесей

Подгруппа вещества	Класс загроможденности пространства			
	1	2	3	4
1	Режим 1	Режим 1	Режим 2	Режим 3
2	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4
3	Режим 2	Режим 3	Режим 4	Режим 5
4	Режим 3	Режим 4	Режим 5	Режим 6

Подобные полуэмпирические соотношения используются также для прогноза радиуса разрушительного действия сейсмической ударной волны и осколков.

Завершая краткую характеристику моделей и методов, применяемых для исследования данной стадии процесса причинения техногенного ущерба, отметим следующее. Наиболее слабым местом приведенных здесь подходов и основанных на них методик служит а) прогноз количества аварийно-опасного вещества в облаке и той его доли, которая реально участвует в химическом превращении; б) неправдоподобные оценки параметров вблизи или/и на большом удалении от его центра. Устранить эти недостатки можно определением избыточного давления методом численного моделирования или за счет модификации последних параметрических формул, что и будет показано в разд. 9.2.

Разрушительное воздействие потоков энергии и вещества

В общем случае представляется логичным рассмотрение не только ущерба от аварийных, но и систематических вредных выбросов. При этом следует также исходить из необходимости прогнозирования как конкретных форм его причинения людским, материальным и природным ресурсам (см. табл. 8.2), так и всевозможных сочетаний подобного разрушительного воздействия этих выбросов все это указывает на сложность и трудоемкость одновременного моделирования всех возможных последствий вредных выбросов и априорной оценки наблюдаемого при этом эффекта.

В качестве одного из способов преодоления связанных с этим трудностей часто используется введение понятия «средний ущерб» от одного вредного выброса конкретного типа, а также оперирование вероятностью появления хотя бы одного (любого) из них. С учетом подобных допущений величина среднего социально-экономического ущерба людским, материальным и природным ресурсам за некоторый период времени может быть рассчитана по такой сравнительно несложной формуле:

Другой способ упрощенного прогноза последствий разрушительного воздействия аварийно-опасных веществ связан с определением «зон поражения», под которыми понимают объемы пространства или площади

поверхности, в пределах которых располагаются не защищенные от этих факторов людские, материально и природные ресурсы.

А вот для априорной оценки конкретных последствий разрушительного воздействия рассматриваемых факторов удобно пользоваться зависимостями между вероятностями Q_{kc} , Q_{kl} и Q_{kq} вывода из строя учитываемых здесь ресурсов и полученной ими мощностью дозы вредных факторов DP . Графики наиболее типичных таких зависимостей $R(DP)$, иногда называемых функциями «доза-эффект» (где под R подразумевается риск, измеряемый одной из только что перечисленных вероятностей причинения конкретного ущерба), изображены на рис. 8.3, а.

Чаще всего на практике пользуются нелинейным представлением функций $R(DP)$ и $R(X)$. При этом для значений доз поражающего фактора меньших DP_2 и больших DP_3 обычно исходят из предположения о полной безвредности и абсолютной губительности соответствующих доз для рассматриваемых здесь ресурсов; тогда как внутри образуемого этими дозами интервала подразумевается вероятностный характер причинения конкретного ущерба.

Среди способов определения только что рассмотренных зависимостей и входящих в них параметров можно выделить и экспериментальные, и теоретические. Первые базируются на статистической обработке эмпирических данных, накопленных путем изучения последствий реальных происшествий в техносфере либо результатов опытов над животными. В большинстве случаев именно они и использованы при составлении и оценке параметров «пробит-функций», порядок практического применения которых подробно рассматривается ниже (см. разд. 10.2).

Вторые же, связаны с моделированием потенциальной жертвы как реципиента (адсорбера, ингалятора) вредных техногенных факторов. Например, при оценке последствий воздействия на человека электротока его моделью может служить сосуд, образованный плохо проводящим ток кожным покровом тела и наполненный почти не имеющим сопротивления ему электролитом (внутренними тканями). Если же моделируются последствия токсического воздействия на живые организмы, то их внутренние органы могут быть представлены в виде совокупности камер, которые постепенно впитывают в себя вредное вещество и разрушаются по этой причине.

Подводя итоги краткого обзора моделей и методов, используемых на данном этапе исследования процесса причинения техногенного ущерба, отметим удовлетворительную точность методик, рекомендуемых ныне для оценки последствий взрывного превращения конденсированных зарядов и топливовоздушных смесей, но только в виде облака сферической формы. Несколько хуже обстоит дело с учетом ими иной пространственной геометрии облака и различных преград, а также с расчетом пороговых токсодоз для отдельных вредных веществ и прогнозом осколочного воздействия взрыва.

В целом же приведенная выше классификация, а также краткий обзор и

сравнительный анализ учитываемых ею современных подходов к прогнозированию техногенного ущерба позволяют не только формализовать соответствующую процедуру, но и указать направления их возможного совершенствования.

8.3. Обобщенная методика формализации и системного анализа процесса причинения техногенного ущерба

Сделанная выше краткая характеристика процесса и способов прогнозирования ущерба от происшествий в техносфере, а также принятая ранее энергоэнтропийная концепция о закономерностях их появления позволяют сформулировать основные положения соответствующей методики. Она должна основываться на закономерностях появления того ущерба, который обусловлен случайными и непрерывными выбросами энергии и вредного вещества. Тогда как его величину следует увязывать с объемами и токсичностью таких выбросов, а также с количеством и степенью уязвимости ресурсов, подверженных их вредному воздействию.

Следовательно, можно утверждать о целесообразности включения в методику следующих основных *шагов*: а) идентификации источников энергии и запасов вредных веществ, способных к нежелательному высвобождению, б) прогнозирования предпосылок и сценариев таких выбросов, в) оценки частоты и объемов неконтролируемых утечек вредного вещества и энергии, г) определения размеров зон их разрушительного действия и насыщенности этих зон людскими, материальными и природными ресурсами, д) сопоставления сопутствующих вредным выбросам поражающих факторов со стойкостью указанных ресурсов, е) прогноза характера разрушительных для них эффектов и ж) оценка связанного с этим прямого и косвенного ущерба.

Общая последовательность процесса формализации и предварительной количественной оценки техногенного риска, учитывающая предложенные выше шаги, методы и показатели, показана на рис 8.4. В сущности, данная блок-схема представляет собой алгоритмическую модель итерационной процедуры количественной оценки частоты и тяжести тех вредных последствий, которые сопровождаются возможными в человеко-машинных системах вредными выбросами вещества и энергии. При этом каждая ее итерация включает не менее 21 шага.

Охарактеризуем все этапы предложенной здесь методики, увязывая необходимость прогноза вероятности и размеров техногенного ущерба с реальными практическими или учебными целями – экспертизой конкретных проектов составлением деклараций об их безопасности или выполнением студентами дипломных (курсовых) работ и домашних заданий по соответствующим дисциплинам.

1. При определении предназначения и области применимости методики следует исходить из следующего. *Целью* априорной количественной оценки техногенного риска служит не точный количественный прогноз случайной величины техногенного ущерба, который невозможен в принципе для таких

сложных систем, как человеко-машинные, а сравнительная количественная оценка степени опасности однотипных производственных или транспортных объектов, а также оценка эффективности альтернативных мероприятий по снижению прогнозируемого на них техногенного риска.

Естественно, что результаты такой оценки будут тем достовернее, чем проще исследуемый объект и надежнее исходные данные об источниках опасности и факторах, способствующих ее реализации. Следовательно, *областью* предпочтительного использования рассматриваемой методики будут сравнительно простые производственные и транспортные объекты, эксплуатация которых декомпозируется на отдельные технологические операции, рассматриваемые как функционирование конкретных человеко-машинных систем.

Другим применением методики может стать предварительная количественная оценка степени опасности разрабатываемых объектов и процессов. В этом случае приступать к прогнозу техногенного риска целесообразно не ранее, чем будет составлен рабочий проект, т.е. после четкого определения структуры и параметров соответствующих человеко-машинных систем, а также учета особенностей функционирования и взаимодействия с окружением всех их основных компонентов.

В качестве интегрального показателя опасности исследуемых объектов должен использоваться связанный с их функционированием техногенный риск, рассчитываемый по формулам (8.24)-(8.25), как математическое ожидание величины случайного (в общем случае) ущерба. Если на объекте непрерывно действуют источники вредных материальных выбросов большой мощности, то соответствующий ущерб от них учитывается вторым слагаемым выражения (8.24), параметры которого должны соотноситься с продолжительностью, токсичностью или мощностью вредных выбросов.

1.

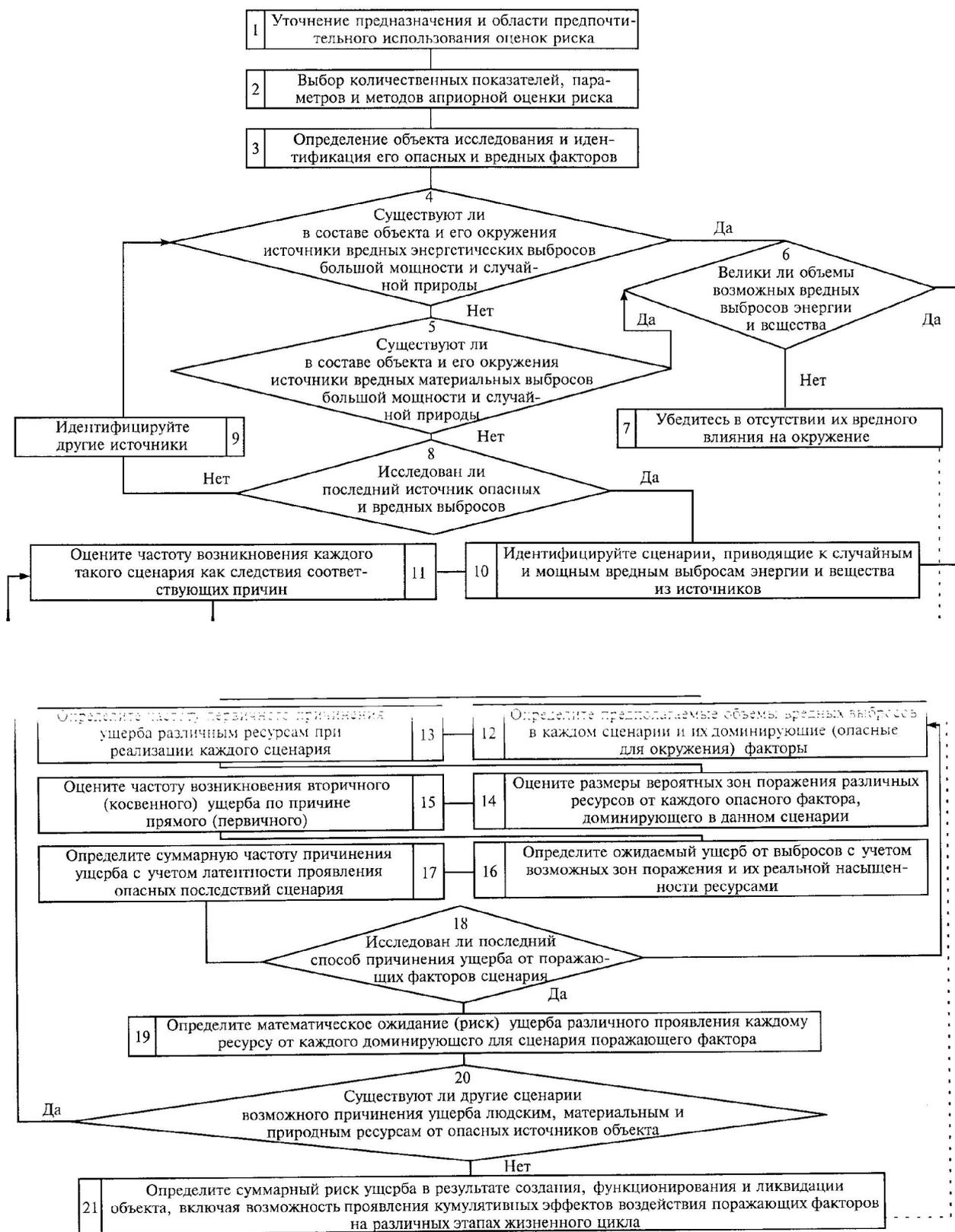


Рис. 8.4. Логика и последовательность прогнозирования техногенного риска

Состав исходных данных, необходимых для априорной оценки возможного ущерба, зависит от выбранного метода и цели такого прогноза. При декларировании безопасности и выполнении дипломной работы

(проекта) рекомендуется моделировать сценарии возникновения и распространения вредных энергетических и материальных выбросов. Учитываемыми в этом случае параметрами служат интенсивности отказов технологического оборудования, ошибок эксплуатирующего его персонала и опасных воздействий на них извне, а также гидрометеорологические условия и средняя плотность ресурсов в районе дислокации объекта.

Для приближенной оценки техногенного риска в ходе выполнения курсовых проектов и домашних заданий можно использовать статистические данные об опасности аналогичного оборудования – частоты и объемы случайных вредных выбросов, закономерности и параметры процессов их истечения, распространения, трансформации и разрушительного воздействия на ресурсы региона в пределах зон поражения (см. прил. 1,2,4 и 5).

3. Непосредственными *источниками* опасности конкретных производственных и транспортных объектов следует считать генераторы или аккумуляторы энергии и вредных веществ – насосы и компрессоры, цистерны и сосуды с токсичными жидкостями, резервуары и трубопроводы со сжатыми газами, пожароопасные, взрывчатые и иные аварийно-опасные химические вещества, движущиеся машины, механизмы или их отдельные компоненты.

В аварийных ситуациях, обусловленных разрушительным высвобождением накопленного в этих элементах энергозапаса, могут проявляться все перечисленные в разд. 8.2 факторы причинения ущерба, включая и образовавшиеся вследствие так называемого эффекта домино. Особо отметим, что вероятность появления таких ситуаций и размеры соответствующего ущерба возрастают по мере старения оборудования, повышения его энергетических потенциалов и плотности ресурсов, постоянно дислоцируемых вблизи рассматриваемых объектов или временно оказавшихся в зонах их вероятного поражения.

4-9. При идентификации конкретных источников опасности нужно руководствоваться величиной накопленной в них энергии, а при принятии решения о необходимости составления декларации о безопасности или принятия дополнительных мер по снижению возможного техногенного ущерба – предельно допустимыми запасами вредных веществ (см. табл. П.4.1). В качестве *критерия* в первом случае следует использовать размеры вероятных зон поражения, образуемых при их аварийных выбросах: если они незначительны, то соответствующие устройства исследуемых объектов могут считаться безопасными и исключаться из последующего рассмотрения.

Для принятия решения о необходимости учета непрерывных вредных выбросов из рассматриваемых объектов следует исходить как из установленных для них предельно допустимых норм, так и из «техноемкости» окружающей природной среды. В последнем случае речь идет о возможности обеспечения безопасности людей, фауны и флоры, в предположении о том, что вредные выбросы не будут затем накапливаться вокруг рассматриваемых здесь объектов вследствие их постепенного включения в естественные биогеохимические циклы миграции вещества в

природе.

10. Для выявления *сценариев* нежелательного высвобождения энергозапаса должны использоваться как эмпирические данные и сравнительно простые диаграммы типа дерево событий (преимущественно – в ходе выполнения домашних и курсовых работ), так и результаты более адекватного моделирования – при оценке и декларировании безопасности производственных и транспортных объектов, а также в процессе дипломного проектирования.

В двух последних случаях лучше всего применять перечисленные в предыдущем параграфе параметрические и интегральные модели наиболее вероятных сценариев аварийного высвобождения, распространения трансформации и разрушительного воздействия энергозапаса. Делать это следует в соответствии с рекомендациями двух последующих глав этой части учебника, содержащих более полное изложение и иллюстрацию работоспособности соответствующих способов системного анализа каждого этапа рассматриваемого здесь процесса причинения техногенного ущерба.

11. *Оценку* частоты или вероятности появления конкретных сценариев аварийного высвобождения, распространения, трансформации и разрушительного воздействия вредных веществ и энергии нужно осуществлять с помощью результатов, полученных на предыдущем шаге – путем моделирования или на основе обработки статистических данных об аналогичных происшествиях.

Наиболее приемлемы для декларирования безопасности и дипломных работ точные аналитические выражения (5.6)-(5.7) и (5.9)-(5.10), а для курсовых и домашних работ – их приближенные аналоги типа формулы (5.19), увязывающей вероятность головного события с подобными параметрами исходных предпосылок. При наличии исходных данных о значениях последних оценка вероятности или частоты каждого сценария сводится к проведению несложных вычислений по указанным формулам.

12. Определение *количества* аварийно высвободившейся энергии или объема вредных веществ следует проводить с помощью специально разработанных моделей соответствующих истечений или на основе обработки имеющихся статистических данных. В ходе выполнения курсовых работ и заданий можно ограничиться грубыми (пессимистическими) оценками. Например, объем пролитого топлива считать равным той его величине, которая до аварии находилась в разгерметизированной части емкости или трубопровода между запорной арматурой.

А вот при разработке декларации о безопасности и выполнении дипломных работ (проектов) нужно рассматривать довольно большое число модельных сценариев нежелательного выброса трансляции и трансформации энергозапаса, каждый со своим вероятностями и исходами. Интенсивность испарения вредного вещества, например, следует оценивать по формуле (8.21). Зная же расход и время, нетрудно оценить ожидаемый средний объем аварийного выброса – как сумму произведений вероятностей конкретных вариантов на сопутствующие им размеры вредных веществ или энергии.

Доминирующие по опасности факторы нужно определять с учетом специфики высвобождающихся потоков энергии либо вредных веществ и образуемых ими поражающих факторов. Например, при взрывах – это фугасный, тепловой и осколочный; при пожарах и проливах ядовитых веществ – термический и токсичный; при рассеивании радиоактивных веществ – ионизирующий, а иногда и токсический; при столкновении движущихся тел – дробящий или деформирующий; при коротких замыканиях в электросетях – тепловой и электромагнитный...

13. Оценку частоты или *вероятности* причинения прямого (непосредственного) ущерба следует проводить исходя из частоты воздействия поражающих факторов на не защищенные от них ресурсы и полученной ими мощности дозы поражающего фактора. Степень же повреждения конкретных объектов или меру возможности появления какого-либо разрушительного эффекта целесообразно определять по зависимостям типа доза – эффект после сравнения полученных доз с пороговыми для этих объектов значениями. В тех случаях, когда известны вид и параметры пробит-функции, делать это можно и с их помощью (подробнее об этом – см. разд. 9.2).

Учитывая большое число факторов, влияющих на степень повреждения конкретных ресурсов, при определении частоты причинения прямого ущерба рекомендуется: а) при составлении декларации о безопасности и дипломном проектировании – рассмотреть не менее чем два-три основных опасных фактора и две-три степени поражения каждого ресурса; б) в ходе выполнения курсовых и домашних работ – достаточно ограничиться одним (доминирующим) поражающим фактором и одним (летальным) исходом поражения людей или полным разрушением зданий (транспортных средств).

14. Размеры *зон* поражения людских, материальных и природных ресурсов, а также потенциалы наблюдаемых в них опасных факторов (концентрации вредных веществ, перепад либо импульс давления на фронте воздушной ударной волны, уровни ионизирующих излучений) должны рассчитываться с помощью специально разработанных моделей рассеяния или на основе обработки имеющихся статистических данных. Последний способ применим для приближенного прогноза или в учебных целях, а проводить его можно путем представления лишь зон достоверного поражения кругом или шаром, радиусы которых оценены по формулам типа (8.22).

При составлении же деклараций о безопасности и дипломном проектировании априорную оценку зон поражения следует осуществлять по результатам численного или аналитического моделирования. В первом случае должны использоваться хорошо зарекомендовавшие себя прикладные пакеты программ типа «Феникс» и т. п. Во втором – рассмотренные выше или иные интегральные модели и параметрические формулы после их усовершенствования и с учетом оцененных выше уровней поражающих факторов и поглощенных конкретными объектами вредных доз, а также своевременности проведения там аварийно-спасательных работ по

ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

15. Оценка частоты или вероятности причинения *косвенного* (вторичного) ущерба крайне желательна во всех случаях, поскольку тяжесть таких издержек обычно превышает прямой ущерб в 3 - 4 раза. Однако для прогноза косвенного ущерба от техногенных происшествий требуется разработка дополнительных моделей, учитывающих отношения между повреждаемыми и другими объектами биосферы или техносферы. Именно это и затрудняет оценку данных издержек, например, при выполнении студентами курсовых и домашних заданий, поскольку там подобные исследования обычно не предусматриваются учебными планами и программами.

Совсем иная ситуация характерна для декларирования безопасности и дипломного проектирования, цель которых как раз и состоит в априорной оценке вероятности и размеров причинения ущерба самым различным ресурсам. В этом случае необходимо разрабатывать дополнительные модели и иметь информацию о цепочках снабжения сырьем или комплектующими материалами, их запасах и источниках пополнения, а также о мерах по нейтрализации повреждений, полученных конкретными объектами.

При отсутствии подобной информации могут быть рекомендованы следующие способы ее получения: а) для материальных ресурсов – изучение взаимозависимости и хозяйственных связей между производственными и транспортными предприятиями; б) для природных – прогноз последствий нарушения естественных геобиохимических циклов; в) для людских – учет вынужденной миграции населения, ухудшения его физического и психологического здоровья в регионах с повышенной опасностью.

Что касается частоты возникновения косвенного ущерба, то для редко встречающихся техногенных происшествий ее можно приравнять к частоте их появления. Однако по мере роста повторяемости конкретных аварий или катастроф вероятность и тяжесть рассматриваемых здесь издержек будут постепенно снижаться вследствие постепенной адаптации хозяйственной или природной системы (например, за счет исключения или дублирования ненадежных ее связей и принятия заблаговременных мер по созданию собственных резервов).

16. Предварительную оценку *ущерба* от аварийных и систематических вредных выбросов в общем случае целесообразно проводить по формуле (8.25) – перемножением найденных выше частот их появления, ожидаемых при этом размеров зон поражения, плотности и стоимости, расположенных в них ресурсов, а также величины вероятностей причинения каждому из них ущерба конкретной степени тяжести.

При составлении деклараций о безопасности и дипломном проектировании следует учитывать изменение некоторых из перечисленных выше параметров в зависимости от времени года или суток. Например, поголовье фауны и насыщенность флорой зон поражения будут различными зимой и летом, а численность населения в жилых и промышленных районах населенного пункта – днем и ночью. В процессе приближенной оценки среднего ущерба в курсовых и домашних заданиях эти отличия можно не

учитывать.

17. Суммарная *частота* причинения ущерба людским, материальным и природным ресурсам в первом приближении – в ходе выполнения курсовых и домашних заданий – может быть определена простым суммированием частот его первичного и вторичного появления. Более точная оценка, желательная при дипломном проектировании, предполагает введение соответствующих весов или условных вероятностей, позволяющих оперировать как бы средневзвешенными частотами возникновения прямого и косвенного ущерба.

Еще более корректно следует подходить к прогнозированию данной частоты при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов [21]. Например, для объектов ядерной энергетики необходимо оговаривать временной лаг проявления ущерба, с тем, чтобы учесть и возможную латентность его образования вследствие радиоактивного заражения местности и находящихся на ней ресурсов.

18 - 19. Определение частот и объемов случайных вредных выбросов следует проводить одновременно для всех источников опасности данного производственного или транспортного объекта. Подобным образом можно найти суммарные частоты и ущербы от аварийных выбросов любого рассматриваемого сценария, рассчитывая эти параметры как математические ожидания соответствующих случайных величин. Аналогичную процедуру целесообразно использовать и для априорной оценки техногенного ущерба каждому конкретному объекту, оказавшемуся под воздействием вредных выбросов.

Иначе говоря, и на этом этапе уместно использовать стандартный способ расчета риска с помощью формулы (8.25). Однако интерпретировать входящие в нее параметры следует не как случайные величины, а как оценки математического ожидания вероятности и тяжести причинения ущерба какому-либо ресурсу на выбранном интервале времени.

20 - 21. Количественная оценка интегрального риска людским, материальным и природным ресурсам на всех стадиях жизненного цикла конкретного объекта техносферы должна проводиться подобно предыдущим этапам рассматриваемой методики. Возможные *отличия* могут быть лишь в следующем: а) рассматриваются не отдельно взятые выбросы, а всевозможные их сценарии и сочетания; б) для людских и природных ресурсов учитывается вероятность нелинейного роста суммарного ущерба вследствие проявления синергетического эффекта и аккумуляции накопленных ранее повреждений.

Учет последней особенности необходим лишь при декларировании безопасности особо опасных производственных и транспортных объектов. Реализовать же его можно введением в выражения для прогнозирования риска (8.24) - (8.25) дополнительного слагаемого – произведения вероятностей кумулятивного эффекта и размеров дополнительного ущерба от него. А вот при прогнозировании техногенного риска в учебных целях, равно как и при его приближенной оценке, этим эффектом можно пренебречь.

Следование логике, установленной данной обобщенной методикой, позволит в последующем обеспечить системность учета и прогноза параметров тех наиболее существенных факторов, которые свойственны процессу причинения техногенного ущерба. Однако сопоставление ее требований с рассмотренным до этого материалом свидетельствует о необходимости в уточнении известных и привлечении дополнительных моделей и методов, позволяющих провести не только качественный, но и количественный анализ рассматриваемого здесь процесса.

Контрольные вопросы

1. Перечислите факторы, наиболее часто приводящие к появлению техногенного ущерба от происшествий в техносфере.
2. На какие этапы целесообразно декомпозировать процесс причинения ущерба от техногенных происшествий?
3. Всегда ли целесообразно декомпонировать на эти этапы процесс причинения ущерба аварийно высвободившимися потоками энергии?
4. Ответ на какие вопросы должен быть найден в результате изучения процесса аварийного высвобождения энергозапаса, накопленного в объектах техносферы?
5. Какова конечная цель системного исследования данного этапа?
6. Укажите тенденции, характерные для распространения в неподвижной атмосфере продуктов залпового выброса газообразных веществ.
7. Как обычно распространяются там эти же вещества при их непрерывном выбросе?
8. Каким образом сказывается влияние подвижности атмосферы и других сил, действующих на оказавшиеся в ней газовые выбросы?
9. В чем заключается конечная цель системного исследования процесса распространения аварийных выбросов?
10. От чего зависит возможность и характер трансформации продуктов аварийного выброса в новой для них среде?
11. Назовите наиболее типичные формы превращения в атмосфере аварийных выбросов вещества и обусловленные этим опасные факторы.
12. Перечислите признаки, с помощью которых можно отличить трансформацию вещества в форме «взрыва» и «горения».
13. Каковы конечные цели системного исследования этапа возможной трансформации аварийно-опасного химического вещества?
14. Чем (какими факторами) определяются последствия воздействия продуктов аварийного выброса на живые и неживые объекты?
15. На какие виды целесообразно декомпонировать ущерб, связанный с разрушительным эффектом техногенных происшествий?
16. Перечислите группы моделей, наиболее пригодных для системного исследования процесса причинения ущерба.
17. Укажите слабые и сильные стороны метода численного моделирования и обусловленную этим область его предпочтительного использования.
18. В чем состоит идея построения интегральных моделей и с чем

связаны особенности их практического применения для прогнозирования ущерба?

19. На каких этапах системного анализа всего этого процесса целесообразно использовать параметрические формулы и почему?

20. На чем основана идея формализации процесса прогнозирования техногенного ущерба, положенная в основу соответствующей обобщенной методики?