

соба встроить их в интеллектуальную программу, тем более в такую специализированную, как экспертная система.

По этим причинам, а также по ряду других, связанных с общественной приемлемостью экспертных систем, они долго еще будут использоваться не в качестве самостоятельного субъекта, принимающего окончательные решения, а в качестве консультантов или советчиков, оказывающих в интерактивном режиме взаимодействия помощь экспертам в некоторой предметной области. И прежде всего это будет происходить потому, что предстоит еще много сделать (и не только в такой относительно узкой предметной области, как оценка состояния ШВС) для того, чтобы иметь полное понятие об адекватном представлении неопределенности в сложных технических системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. –М.: Мир, 1989. –388 с.
2. Джексон П. Введение в экспертные системы. –М.; С.-Пб.; Киев: Издательский дом Вильямс, 2001. – 623 с.
3. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.А. Разработка экспертных систем. Учебное пособие. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2003. –606 с.

УДК 621.001.25

Шеманвёв В.И., Дырда В.И.

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЛОЖНЫХ ЭКОТЕХНОСИСТЕМ

Розглядається деякі проблеми стійкого розвитку складних екотехносистем в контексті факторів ризику.

PROBLEMS OF SECURITY AND INCONVERTIBLE DEVELOPMENT OF COMPOSITE ECOTECHNICAL SYSTEMS

Is considered some problems of inconvertible development composite ecotechnical systems in a context of the factors of hazard.

Предисловие

В последнее время стало совершенно очевидным, что перспективы эволюции человечества связаны не только с техническим совершенствованием современной цивилизации; так называемый научно-технический прогресс хотя и продемонстрировал могущество человеческой мысли, но и со всей очевидностью показал тупиковость создавшейся ситуации. По мнению многих ученых [1-19] развитие человеческого общества в первую очередь связано с глобальной перестройкой отношений с природой, с изменением шкалы ценностей, с установлением примата духовности.

Ниже рассматриваются основные проблемы безопасности сложных экотехносистем типа крупных предприятий, включающих в себя экосистемы, техносистемы, жилищную и транспортную инфраструктуру и т.д.; системы управляются человеком, состоят из большого количества эле-

ментов, которые взаимодействуют между собой и внешней средой для достижения цели, образуя при этом неразрывную целостность.

Системы рассматриваются как многоцелевые и многофункциональные с положительными и отрицательными обратными связями; им присуща стохастичность и непредсказуемость; главным источником непредсказуемости динамики эволюции систем являются процессы самоорганизации, которые исходят от нелинейности всех функциональных зависимостей, обратных связей и феномена бифуркационных механизмов.

Для построений модели таких сложных систем как системы самоорганизующейся привлечены принципы и методы теории катастроф и синергетики. Модель адекватно отображает основные параметры их организационных структур и логические связи между ними.

В контексте устойчивого развития экотехноложных систем авторы рассматривают следующие важные составляющие:

- система должна быть рационально организована и следовать принципам экологического императива; такой императив формирует понимание социума не как механический конгломерат биологических и социальных составляющих, а как целостное образование; природа, среда обитания не просто наше окружение, а мы сами; поэтому необходимо: осуществить трансформацию от «человека мыслящего» (Рене Декарт) к «человеку существующему»; социально-гуманистические и моральные принципы должны быть распространены и на природу, на среду обитания в целом;
- в систему должны быть заложены принципы восстановления жизнедеятельности элементов, которые были разрушены от техногенного или экологического воздействия; одним из таких принципов является рекультивация нарушенных земель — в Днепропетровском государственном аграрном университете имеется многолетний опыт по решению этой важной для Украины проблемы; работы проводились в том числе и в рамках международного проекта «Тетрис-Тасис»; впервые на Украине введена новая специальность «Экономика окружающей среды»;
- система должна обладать оптимальным количеством локальных экосистем (поля, леса, водоемы), достаточным для ее устойчивого развития, т.е. для того, чтобы при функционировании имеющейся техносферы параметры важнейших составляющих системы (земли, воды, воздуха) не выходили за границы допустимых значений.

1 Введение

Безопасность человеческой жизни в процессе цивилизованного развития человечества все более утверждается как главный и всеобщий гуманистический принцип, определяющий подход ко всем проблемам, возникающим в обществе. В начале XXI века проблема безопасности приобретает все большую важность. Изменяется характер опасности, угро-

жающей жизни человека и прогрессивному развитию всего общества. Если раньше наибольшую опасность представляли для людей войны, эпидемии и стихийные бедствия, то теперь, по крайней мере, в промышленно развитых странах, на первый план выходят опасности, вызванные техническим прогрессом — техногенные опасности. Все возрастающие сложности современных технологий, растущее количество предприятий вместе с ростом народонаселения ставят проблему защиты от техногенной и экологической опасности на одно из первых мест среди глобальных проблем. Для ее решения требуется проведение большого объема научно-исследовательских работ, особенно в центральной области проблемы — безопасности сложных экотехносистем.

В последнем тысячелетии человечество переживает эпоху научно-технического прогресса и в то же время эпоху кризисов: аварий, катастроф, бедствий. Они имеют разнообразный характер, представляют собой, как правило, стихийно развивающиеся ситуации, требующие чрезвычайных мер для их преодоления. Издавна известны кризисы, засухи и голод, эпидемии. Эти кризисы порождались внешними причинами. Человек был лишь жертвой их, а не причиной. Современные кризисы являются результатом деятельности самого человека, результатом неконтролируемого взаимодействия с окружающей средой — это, так сказать, «антропогенные» кризисы.

Наиболее общая классификация аварий и катастроф может быть основана на двух принципах: наследственном, учитывающем их последствия, и причинном, учитывающем причины их возникновения.

Наследственная классификация должна учитывать, по меньшей мере, три фактора:

- 1) гуманитарный фактор — общее количество жертв и пострадавших;
- 2) экономический фактор — совокупный материальный ущерб,
- 3) экологический фактор — полную величину площади и степени загрязнения окружающей среды радиоактивными, химическими, биологически вредными веществами.

Возможен учет и других факторов: политических, военных, социальных, психологических и т.п.; однако они являются производными от первых трех и трудно поддаются количественному выражению, в то время как первые три в принципе допускают численную оценку. Так, выразив по определенной системе ущерб от каждого фактора в баллах (скажем, от 1 до 10), можно получить суммированием полный балл аварии или катастрофы, например, от 1 до 30.

В частности, можно получить для анализа следующие известные основные классы аварий и катастроф: глобальные, национальные, региональные, местные, объектовые. Глобальные катастрофы техногенного и природного характера возникают с интервалами от 15-20 до 30-40 лет,

ущерб от них достигает десятков и сотен миллиардов долларов. Примером такой катастрофы техногенного происхождения является авария на Чернобыльской АЭС. Для местных аварий и катастроф с периодичностью в несколько месяцев экономические потери достигают сотен миллионов долларов. Число объектовых аварий характеризуется наименее значительными в указанном смысле последствиями, вместе с тем растет наиболее интенсивно.

Необходим тщательный анализ последствий аварий и катастроф всех типов, их более подробная классификация с целью выделения наиболее опасных и определения первоочередных задач по устранению причин их возникновения.

Причинная классификация — это, прежде всего, деление на природные, техногенные и природно-техногенные (смешанные) аварии и катастрофы. С развитием общества относительная доля природных аварий и катастроф должна уменьшаться, доля «природности» в смешанных авариях и катастрофах также должна падать (что следует из примеров землетрясений).

Таким образом, главную и возрастающую опасность для человека и окружающей его среды представляют техногенные аварии и катастрофы. В табл. 1 представлены наиболее вероятные для Украины, равно как и для других стран,

Таблица 1

Объекты аварийных и катастрофических ситуаций	Аварийные и катастрофические ситуации
Предприятия ядерной энергетики	Расплавление активной зоны атомных реакторов, взрывы с выбросами продуктов деления, крупные аварии на предприятиях переработки и хранения радиоактивных материалов
Предприятия химической промышленности	Крупномасштабные выбросы химически и биологически активных веществ, взрывы и пожары
Предприятия энергетического, металлургического, машиностроительного, горнодобывающего комплексов	Аварии, связанные с крупным нарушением энергообеспечения, выбросами отравляющих веществ, пожарами, взрывами, затоплениями
Трубопроводный транспорт	Катастрофическое разрушение трубопроводов, аварии на пересечении нескольких ниток трубопроводов, при пересечении трубопроводов железных и шоссейных дорог, поселков, экологически уязвимых районов
Предприятия, сооружения и комплексы гражданского и промышленного строительства	Разрушение уникальных конструкций, воздействие землетрясений и ударных волн предельной силы
Транспорт и транспортные системы	Аварии на пассажирском и крупнотоннажном грузовом транспорте при перевозках больших масс людей и особо опасных веществ и объектов
Предприятия специального назначения	Аварии при производстве, эксплуатации и ликвидации объектов спецтехники (в т.ч. оружие массового поражения)

Как будет показано ниже, безопасность функционирования сложных экотехносистем в целом можно свести к безопасности и надежности

отдельных элементов этих систем. Это подтверждается и аналитически, и многолетней практикой их эксплуатации.

Ниже сделана попытка создать вариант безопасного функционирования сложных экотехносистем на базе существующих подходов к этой довольно сложной и далеко неоднозначной проблеме.

2 Концепция безопасности и надежности сложных экотехносистем

Принятая терминология

Прежде, чем перейти к изложению основного материала, рассмотрим с учетом государственного стандарта (ДСТУ 2156-93. Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення) такие понятия как «безопасность», «опасность» и другие в более широком понимании, акцентируя внимание на их отношении к сложным экотехносистемам.

Опасность, сопряженная с эксплуатацией промышленного предприятия постоянно действующая или случайно возникающая в результате некоторого иницирующего события либо при некотором стечении обстоятельств совокупность факторов, оказывающих (способных оказать) негативные воздействие на реципиентов.

Безопасность (населения, материальных объектов, окружающей среды). Отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба.

Безопасность промышленного предприятия. Свойство предприятия при нормальной эксплуатации и в случае аварии ограничивать воздействие источников опасности на персонал, население и окружающую среду установленными пределами.

Применение.

1. Уровень безопасности считается приемлемым, если обеспечено соблюдение требований государственных нормативных документов по безопасности.

2. В области стандартизации безопасность продукции, процессов и услуг обычно рассматривается с целью достижения оптимального баланса ряда факторов, включающего такие нетехнические факторы, как поведение человека, и позволяющего свести риск, связанный с возможностью нанесения ущерба здоровью людей и сохранности имущества, до приемлемого уровня.

Потенциально опасный объект. Любой источник потенциального ущерба жизненно важным интересам человека.

Нормальная эксплуатация. Работа предприятия в эксплуатационных режимах, предусмотренных плановым регламентом.

Аварийная ситуация. Состояние потенциально опасного объекта, характеризующееся нарушением пределов и (или) условий безопасной эксплуатации, но не перешедшее в аварию, при котором все неблагопри-

ятные воздействия источников опасности на персонал, население и окружающую среду удерживаются в приемлемых пределах посредством соответствующих предусмотренных проектом технических средств.

Авария на промышленном предприятии. Нарушение эксплуатации предприятия, при котором происходит превышение нормируемых пределов воздействия на персонал предприятия, население и окружающую среду. Авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями.

Проектная авария. Авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния, а также предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.

Запроектированная авария. Авария, вызываемая не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающиеся дополнительными, по сравнению с проектными авариями, отказами систем безопасности, технологического оборудования или ошибками персонала, которые могут привести к тяжелым повреждениям объекта. Уменьшение последствий такой аварии достигается управлением аварией и (или) реализацией планов мероприятий по защите всех реципиентов.

Аварийная защита. Предусмотренная в техническом проекте предприятия система (устройство, элемент), предназначена для обеспечения безопасности в аварийной режиме.

Определение безопасности и понятие опасности. Рассмотрение проблемы безопасности невозможно без максимально точного и полного определения самого понятия «безопасность». В качестве отправной точки удобно выбрать определение этого понятия, имеющее международно признанный характер: «Безопасность — защита отдельных лиц, общества и окружающей среды от чрезмерной опасности, где под термином «опасность» понимается любой фактор, воздействие которого может привести к неблагоприятному отклонению здоровья человека или состояния окружающей среды от их среднестатистических значений [8].

Сформулированное в более короткой форме, использующей только ключевые слова, это определение гласит: «Безопасность — это защита от чрезмерной опасности». Смысл рассматриваемого определения состоит, таким образом, в его практическом, реалистическом характере. Безопасность понимается не в некотором полном, абсолютном смысле — как отсутствие всякой опасности, а в ограниченном смысле — как отсутствие или даже только защита от существующей чрезмерной опасности. Таким образом, признается неизбежность постоянного существования рядом с человеком некоторой опасности, не превосходящей некоторый критический уровень, определяющий понятие «чрезмерной» опасности. Разделение понятий «допустимой опасности» и «чрезмерной», т.е. недопустимой

опасности, является, поэтому, ключевым, принципиальным моментом понятия безопасности (в рассматриваемом определении).

Будем считать приведенное определение достаточно точным и удобным для рассмотрения проблемы безопасности. Поскольку оно определяет понятие «безопасность» через понятие «опасность» (что, разумеется, неизбежно по смыслу этих понятий), то дальнейший анализ проблемы безопасности требует рассмотрения понятия опасности.

Качественное разнообразие опасностей, подстерегающих человека в современном мире, как следует из анализа приведенной выше литературы и жизненного опыта, весьма велико, но их естественно разделить на четыре группы.

1. Природные опасности: природные катастрофы (землетрясения, наводнения, сели, засухи и др.), опасные атмосферные явления (ураганы, смерчи и др.), неблагоприятные изменения климата.

2. Военные опасности: межгосударственные и внутренние войны и конфликты, служба в вооруженных силах в мирное время.

3. Социальные опасности: терроризм, криминальная опасность, недостаточный уровень жизни.

4. Техногенные опасности: аварии и катастрофы на промышленных предприятиях и транспорте, загрязнение окружающей среды в результате нормальной работы производств и аварий.

Это разделение достаточно условно, так как, например, при землетрясениях большинство людей гибнет под обломками разрушившихся зданий, и, следовательно, причину их гибели можно видеть не в действии стихии, а в недостаточной прочности и надежности зданий. Тем не менее, при всей условности этот качественный анализ опасностей необходим для более полного и глубокого исследования всей проблемы безопасности человека, общества и окружающей среды.

Концепция риска. Поскольку, как следует из вышесказанного, центральным для всей проблемы безопасности является понятие опасности, то необходим более подробный анализ этого понятия. Для того чтобы понятие опасности приобрело не только теоретическое, но и практическое значение, необходимо придать ему количественную определенность, т.е. необходимо каким-то образом измерить опасность. Единица измерения величины опасности и сам смысл этой величины должны отражать природу этого понятия. Природа же опасности состоит в наличии возможности какого-то неблагоприятного события; опасность содержит в себе нечто потенциальное — то, что может произойти. Она имеет, следовательно, случайную природу, и единственным средством для измерения ее величины является понятие вероятности. Чем больше вероятность наступления неблагоприятного события, тем больше опасность, исходящая от этого возможного события. Вероятность неблагоприятного события для исхода какого-либо действия принято называть

риском. Таким образом, величина опасности измеряется риском — чем больше риск, тем больше опасность и наоборот. Такое понимание величины опасности вполне согласуется с обычным разговорным словоупотреблением. Например, когда говорят о некотором объекте, что он «потенциально опасен», то фактически имеют в виду, что вероятность неблагоприятного воздействия со стороны объекта достаточно мала, т.е. риск мал, а когда используют выражение «этот объект создает реальную опасность» (или «повышенную опасность»), то имеется в виду, что риск достаточно или угрожающе велик (при этом имеется в виду, что в первом и втором случаях объект и степень неблагоприятности его воздействия один и тот же).

Опасность события. Опасность какого-либо определенного неблагоприятного события есть сочетание тяжести последствий этого события и риска события. Это сочетание двух разнородных факторов не приводит к некоторой единой величине, позволяющей сравнивать опасности любых событий, что было бы желательно. Легко сравнить опасности двух событий в случае, когда они имеют одинаковую тяжесть последствий, но разные риски, или в обратном случае, если же, например, одно событие имеет тяжесть последствий большую, чем у второго события, но второй имеет больший риск, чем у первого — определить, какое событие опаснее, весьма затруднительно, если вообще возможно. Таким образом, сравнение опасностей качественно различных событий является весьма непростой проблемой, которая при этом является чрезвычайно распространенной, так как большинству людей в той или иной ситуации приходится решать подобные вопросы. Особенно важны они при обосновании и проектировании новых предприятий в атомной, химической и др. отраслях промышленности, строительстве трубопроводов, на транспорте и т.п.

Использование понятия риска, имеющего вероятностно-статистическую природу, при распространении в кругах проектировщиков, конструкторов и инженеров и тем более в широких общественных слоях встречает значительные психологические трудности. Они вызваны двумя обстоятельствами. Во-первых, само понятие вероятности является одним из самых трудных научных понятий, плохо поддающимся правильному восприятию даже образованными людьми; принципы и методы теории вероятностей еще недостаточно распространены среди проектировщиков, конструкторов и инженеров. У многих людей вызывает серьезные трудности процесс принятия детерминированного решения, исходя из вероятностных данных и оценок. Во-вторых, использование вероятностных понятий в вопросах безопасности, когда речь идет о человеческой жизни, для многих является неприемлемым и по моральным представлениям. Однако важность проблемы безопасности требует более широкого распространения понятия риска в общественных слоях, поскольку, по-

видимому, иного понятия и иных методов описания потенциальной природы опасности, кроме метода теории вероятности, не существует.

Индивидуальный риск. Так как все опасности, в конце концов, сводятся к опасности для здоровья или жизни отдельного индивидуума, то центральным понятием теории безопасности можно считать понятие индивидуального риска. Индивидуальным риском называется вероятность гибели или определенного нарушения здоровья для одного человека в течение определенного времени от определенной причины. Поскольку число раненых или получивших какое-либо иное нарушение здоровья при авариях, катастрофах или бедствиях обычно взаимосвязано с числом погибших, то, как правило, используется понятие фатального индивидуального риска, т.е. риска гибели человека. Далее под индивидуальным риском будем подразумевать именно фатальный риск. В качестве отрезка времени для измерения риска выбирают чаще всего один год, но в некоторых случаях удобно выбрать один час или другую единицу. Таким образом, индивидуальный риск измеряют в чел/год, хотя в публикациях относят величину индивидуального риска к группе в 10 человека или более (для получения более удобочитаемых значений). Как следует из данных, приведенных в [9], в развитых странах значения индивидуального риска, воспринимаемые населением как приемлемые, лежат в пределах 10^{-5} - 10^{-4} чел/год. Риск 10^{-4} чел/год примерно равен риску несчастного случая в быту.

Индивидуальный риск разделяют на общегражданский, которому подвергаются все жители данной страны или региона, и добровольно принимаемый. Добровольно принимаемый в свою очередь разделяется на профессиональный (например, риск пилота гражданской авиации) и риск как плату за удовольствие и комфорт (например, риск альпинистов или курильщиков).

Техногенный риск. Техногенным риском будем называть всякий вид риска, вызываемый функционированием технических объектов. Техногенный риск может быть индивидуальным профессиональным (для работающих на рассматриваемом объекте), индивидуальным (региональным общегражданским для живущих в районе этого объекта), а также может определяться как риск любой или какой-либо конкретной аварии на объекте.

В работе [9] риск наступления любой аварийной ситуации на заданном отрезке времени называется конструкционным риском данного объекта Q , хотя, возможно, его точнее называть полным объектовым аварийным риском. Если к нему добавить риск C возникающий из-за загрязнения территории объекта и окружающей среды вредными веществами, то получим полный объектовый риск

$$W = Q + C.$$

Возможность сложений рисков в этом и в большинстве других случаях обусловлена независимостью тех нежелательных событий, о которых идет речь (вероятности независимых событий по законам теории вероятностей складываются).

Связь между полным объектовым риском и индивидуальным риском можно представить в виде

$$h = ZNW,$$

где Z — коэффициент, учитывающий социальные, экономические, психологические и другие факторы, труднопредставимые в аналитической форме;

N — число людей, подвергающихся опасности данного объекта.

Коэффициент Z имеет, по-видимому, величину, изменяющуюся в пределах от 0,1 до 10 [9].

Безопасность сложных экотехносистем. Практически все современные крупные предприятия представляют собой сложные экотехносистемы (ЭТС). Многие из них являются опасными. Опасность предприятия может состоять в возможности возникновения нештатных ситуаций — аварий, и эту опасность будем называть аварийной опасностью. Опасность может также происходить и при штатной, нормальной работе предприятия, если при этом производятся и поступают в окружающую среду вредные вещества, воздействующие на людей. Таковую опасность естественно называть экологической опасностью. При этом имеется в виду, что продукция предприятия является экологически чистой и безопасной; в противном случае опасность продукции представляет собой третий вид опасности, связанный с данным предприятием.

Безопасность ЭТС — это свойство не создавать чрезмерной опасности для людей и окружающей среды, т.е. безопасная ЭТС есть такой технический объект, опасность которого не превосходит некоторого критического значения. Из трех вышеперечисленных видов опасности предприятия — первый вид опасности — аварийная опасность — представляет наиболее трудноустранимый вид опасности. Остальные два вида опасности не имеют случайного характера и определяются технологией производства; вследствие этого их устранение или уменьшение требует изменения технологии и зависит в основном от экономических факторов. В дальнейшем, поэтому будем рассматривать только аварийную опасность ЭТС.

Под **аварией** естественно понимать любое отклонение от штатной, регламентированной работы ЭТС, приводящее к материальным потерям и (или) человеческим жертвам. Все аварии можно разделить на три, например, группы по тяжести последствий — мелкие, средние и крупные. Крупные аварии на транспорте называют также катастрофами (например — самолета) или крушениями (например — поезда).

Все аварии являются событиями, при возникновении которых заметную роль играет случайность, хотя, разумеется, степень случайности различных аварий изменяется в широких пределах. Величину аварийной опасности данной ЭТС можно определить как величину индивидуального риска h_n для персонала. Если определить все возможные аварии на данной ЭТС, то полный индивидуальный риск будет равен сумме индивидуальных рисков каждой аварии

$$h_n = \sum_{i=1}^N h_i,$$

где N — число возможных вариаций.

Последняя формула верна, если все аварии происходят независимо. Индивидуальный риск h_i отдельной аварии равен вероятности этой аварии α_i , умноженной на число жертв, случившихся при этой аварии k_i

$$h_i = \alpha_i k_i.$$

Причины аварий ЭТС устанавливаются (если это оказывается возможным) в результате анализа произошедшей аварии. Общее число аварий всех масштабов огромно и не поддается классификации и анализу. Обычно в публикациях анализируются причины самых крупных аварий и катастроф, оказавших сильное воздействие на общественное мнение.

С точки зрения теории безопасности, т.е. со стороны поиска путей устранения причин аварий, важную роль, по-видимому, должно играть разделение всех причин аварий на две группы. В первую группу отнесем аварии, вызванные поломками технических устройств, механизмов и т.д., произошедшие без непосредственного участия человека; во вторую группу — аварии вызванные ошибками человека. Будем называть причины первого рода **аварийными отказами**, второго — **аварийными ошибками**. Это разделение не является строгим и зависит от некоторых условных соглашений. Но оно, по-видимому, реально и может привести пользу при анализе аварий.

Причины аварии ЭТС. Причины аварий ЭТС устанавливаются (если это оказывается возможным) в результате анализа произошедшей аварии. Общее число аварий всех масштабов огромно и не поддается классификации и анализу. Обычно в публикациях анализируются причины самых крупных аварий и катастроф, оказывающих сильное воздействие на общественное мнение.

С точки зрения безопасности, т.е. со стороны поиска путей устранения причин аварий, важную роль, по-видимому, должно играть разделение всех причин аварий на две группы. В первую группу отнесены аварии, вызванные поломками технических устройств, механизмов и т.д., происшедшие без непосредственного участия человека; во вторую — аварии, вызванные ошибками человека. Будем называть причины первого рода аварий отказами; второго — аварийными ошибками. Это разделение

не является строгим и зависит от некоторых условий соглашения. Но оно, по-видимому, реально и может принести пользу при анализе аварий.

Крупнейшие аварии ЭТЭС последних десятилетий — взрыв на химическом заводе в Бхопале и аварии на Чернобыльской АЭС вызваны грубейшими ошибками персонала [2]. В последнем случае к ошибкам персонала следует добавить и ошибки проектирования. Ошибкой проектирования [10] вызвана авария морской платформы «Александр Квелланд», и, по-видимому, подавляющего большинства аварий и катастроф, происшедших за последние годы на Украине, а также в России и других странах СНГ.

Причиной катастрофы космического корабля «Челенджер» послужил отказ уплотнительного кольца; отказы также являются причинами значительного числа аварий и катастроф на транспорте и в промышленности.

Поскольку причины аварийных ошибок кроются в самой природе индивидуального и социального поведения человека, то их устранение представляет очень трудную задачу. Многое здесь зависит от национальных и социальных традиций и стереотипов поведения, от общей и правовой культуры общества, от культуры труда, организованности и дисциплинированности работников.

Человечество построило совершенные машины и сооружения, снабдило их автоматической защитой от аварий, обучило огромное количество инженеров и высококвалифицированных рабочих, и, тем не менее, аварии в техносфере все чаще. Даже когда авария предсказана, причины ее не только игнорируются, но в большинстве случаев даже не предусматривается ликвидация их последствий. Редко какая авария, не говоря уже о катастрофе, случается без прямой или косвенной вины человека. И если ответственность человека первой половины нашего века была еще достаточно высокой (поэтому и аварии случались реже), то к концу века она существенно снизилась. И дело здесь вовсе не в профессиональной подготовке. Вернее, не только в ней. Дело в явном снижении уровня общей культуры.

Человек считает технику некоторым придатком, которым можно манипулировать в широких границах. При этом опасность и возможные тяжелые последствия серьезно не воспринимаются; границы дозволенного становятся размытыми, чувство ответственности притупляется, ответственность часто становится коллективной. Этому способствует падение общего уровня культуры, ориентировка на удовлетворение только экономического благополучия (отсюда полное нежелание риска), порочная вседозволенность. Все эти формы отклонения являются порождением современной цивилизации с ее специфическим отношением к человеку не как к индивидууму, а как к некоторому «винтику». Такое отношение деформирует сознание человека, его душа становится «механистической»

и он ощущает свою ничтожную роль в общем механизме развития техносферы. Вся эта совокупность отрицательной стороны цивилизации, ее тлетворная составляющая уничтожают достоинство человека и в общем случае являются знаком его деградации. Вот почему причину все учащающихся аварий и катастроф следует искать не только в несовершенстве техники, низком уровне ее безопасности и надежности, слабой профессиональной подготовке обслуживающего персонала, но и в падении общего уровня культуры.

Особенно характерны эти факторы для горной промышленности и сельского хозяйства, где в последние годы наблюдалось самое большое количество аварий с невозвратными потерями людей.

Безопасность и надежность. Рассмотрение отказов как причин аварий и катастроф невозможно без обращения к теории надежности, в которой понятие отказа является основополагающим. Теория надежности, как известно [9], является в настоящее время глубоко разработанной дисциплиной, принципы, понятия и методы которой находят все более широкое применение в промышленности. Математические и физические методы и модели теории надежности могут, по-видимому, найти широкое применение в теории безопасности.

Традиционный подход к оценке надежности, широко используемый при производстве отдельных деталей и устройств, оказывается недостаточным для обеспечения надежной и безопасной работы при создании и эксплуатации больших народнохозяйственных комплексов, к которым относятся, в первую очередь, такие энергоемкие и рискоопасные отрасли промышленности, как АЭС, химическое производство, горнодобывающая промышленность, газо- и нефтепроводы. Выход любого из таких комплексов из-под контроля — практически оборачивается катастрофой. Обычная оценка вероятности крупных аварий на потенциально опасных производствах величиной порядка 10^{-4} , как величина совпадения крайне маловероятных событий, уже не может устроить. Необходимо стремиться к абсолютной надежности, к исключению самой возможности единичных отказов, идя при этом, как правило, на большие затраты при реализации таких комплексов; экономия же в ущерб безопасности является недопустимой. Затраты на повышение надежности и безопасности машин и сооружений и ожидаемые потери в случае аварии равны произведению вероятности аварии на величину потерь и должны сопоставляться и оцениваться в экономическом плане.

В системном анализе давно установлено, что экономия одного рубля на надежности сложных человеко-машинных систем и их безопасности вырастает в геометрическую прогрессию убытков: 10 руб. на стадии внедрения, 100 — на стадии эксплуатации и 1000 руб. в случае отказа или аварии и устранения ее. Поэтому еще при проектировании таких рискоопасных систем определить набор всех тех отклонений системы от

нормального режима функционирования, которые могут приводить к аварии и для каждого из них предусмотреть разрыв цепи неблагоприятного развития событий и специальные защитные мероприятия.

При создании сложных экотехносистем необходимо придавать технике избыточную надежность в расчете на длительное функционирование и предусматривать программу повышения надежности во время эксплуатации, как самой системы, так и обслуживающего персонала: диспетчеров, операторов, рабочих.

Надежность и безопасность техники, сохраняемость окружающей среды все больше зависит от надежности действий обслуживающего персонала, надежности систем управления машинами.

Практика показывает, что более 60% аварий происходят по вине персонала и низкой надежности системы обслуживания техники человеком. Принципиально новое значение придается вопросам повышения надежности и безопасности уникальных машин и сооружений, особенно в связи с авариями и катастрофами национального и международного масштабов.

Насущными становятся задачи изучения поведения человека в экстремальных условиях протекания аварии, его надежность ориентирования в сложной обстановке и управлять процессами, которые вышли из-под контроля, т.е. всестороннего изучения человека-оператора как важнейшего элемента системы «машина — человек — среда». Решение таких задач требует создания современных автоматизированных стендов для испытаний человеко-машинных систем, разработки и совершенствования средств для исследования динамических характеристик человека (лазерных, топографических, тепловизионных и др.); развитие исследований по микропроцессорным управляемым средствами виброзащиты человека и машины и др.

В решении указанных проблем чрезвычайно сложна и дорогостояща постановка экспериментов. Поэтому в настоящее время центр тяжести решения таких задач переносится на физическое, математическое моделирование системы «машина — человек».

Наиболее полно в теории надежности разработана методика исследования отказов: эта методика может быть заимствована и при безопасности ЭТС.

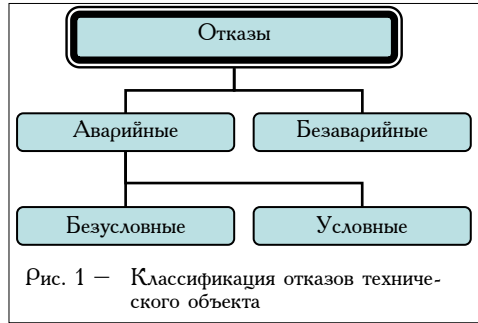
Согласно теории надежности [9], отказы классифицируются по уровню критичности, понимая под этим тяжесть последствий (материальных, моральных и т.п. потерь), обусловленных возникновением отказов. Особо опасные отказы, наступление которых создает угрозу для жизни людей, а также для окружающей среды, или приводит к большим материальным экономическим потерям — обычно называются катастрофическими. Остальные, некатастрофические отказы, подразделяются, в свою очередь, на критические и некритические. Под критиче-

скими — понимаются отказы, возникновение которых приводит, в частности, к невыполнению ответственных заданий.

Некритические отказы, в свою очередь, могут подразделяться на существенные (большие) или несущественные (малые). Подобное разделение отказов на категории является в значительной мере условным. Отказ одного и того же объекта может трактоваться как критический или несущественный в зависимости от того, рассматривается ли объект в целом или он является составной частью другого объекта. Различают также внезапные и постепенные отказы; по причине возникновения их делят на конструктивные, производственные и эксплуатационные, по времени возникновения в процессе эксплуатации объекта — на приработанные и деградационные.

Анализ понятия отказа и классификации отказов, используемых в теории надежности, показывает, что этот подход не может быть положен в основы теории безопасности. Теория надежности рассматривает и анализирует отказы практически только с точки зрения потери работоспособности объекта, почти не затрагивая ту сторону этого понятия, которая связана с возникновением опасности для персонала, населения и окружающей среды. Теория безопасности, в которой понятие отказа также должно являться одним из центральных, должна подходить к определению и анализу этого понятия с иной стороны. Главным предметом рассмотрения должно стать то свойство, которое приводит к возникновению или увеличению опасности объекта, т.е. отказы должны классифицироваться по степени опасности, вызываемой ими. С этой стороны все отказы можно разделить на аварийные и безаварийные. Безаварийным, очевидно, следует назвать отказ, который не может привести к аварии ни при каких обстоятельствах. Остальные отказы относятся к аварийным отказам. Аварийные отказы должны, естественно, классифицироваться по степени тяжести последствий вызываемой аварии и по величине вероятности этой аварии. Если отказ сам по себе, без каких-либо дополнительных условий или наличия других отказов приводит к аварии, то такой отказ можно назвать — безусловным аварийным отказом. Если отказ сам по себе не приводит к аварии, но при некоторых условиях или сопутствующих отказах авария может возникнуть, то такой отказ можно назвать условным аварийным отказом. Очевидно, что подобное рассмотрение отказов, возможных на каком-то конкретном объекте, требует тщательного анализа, учитывающего все особенности конструкции и условий эксплуатации объекта. На рис. 1 представлена возможная схема классификации отказов технического объекта с точки зрения теории безопасности.

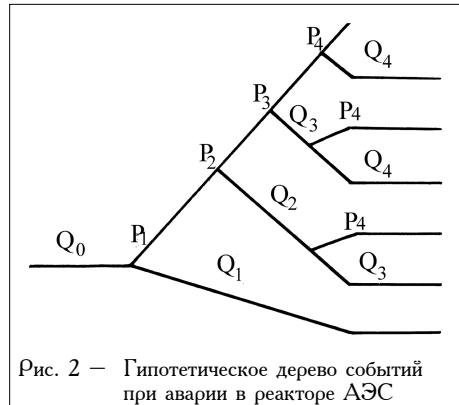
Наиболее трудными для анализа являются условные аварийные отказы, но они не являются одними из самых распространенных причин аварий. Для анализа условных аварийных отказов можно использовать математические и физические методы и модели теории надежности. Полезными, по-видимому, могут являться так называемые структурные модели теории надежности. Они основаны на логических схемах взаимодействия элементов, входящих в техническую систему, с точки зрения сохранения ее работоспособности и обеспечения безопасности. Для построения структурных моделей используют статистическую информацию о надежности элементов без привлечения сведений о физических свойствах материалов, деталей и соединений. Структурные модели удобно представить в виде блок-схем и графов (так называемых деревьев событий), при этом исходная информация задается в виде значений вероятностей отказов и т.п.



На рис. 2 представлен пример дерева событий [9, 11]. Эта структурная модель соответствует гипотетической последовательности событий при аварии с потерей теплоносителя в водоохлаждаемом реакторе АЭС. Начальным событием служит разрыв трубопровода с вероятностью Q_0 . Дальнейшие возможные события: пребывание системы электроснабжения в исправном состоянии с вероятностью P_1 неисправным с вероятностью Q_1 , срабатывание системы аварийного охлаждения с вероятностью P_2 и несрабатывание с вероятностью Q_2 ; срабатывание системы удаления продуктов деления с вероятностью P_3 и несрабатывание с вероятностью Q_3 , сохранение целостной защитной оболочки с вероятностью P_4 и нарушение целостности с вероятностью Q_4 .

При развитии событий по верхней ветви схемы с вероятностью Q_0 , P_1 , P_2 , P_3 , P_4 ожидаются небольшие радиоактивные выбросы, при развитии по нижним ветвям — большие и очень большие.

Пользуясь структурными моделями, можно в принципе рассматривать не только последствия безусловных и условных аварийных отказов, но и последствия возмож-



ных аварийных ошибок персонала ЭТС. Подобное рассмотрение требует далекого выхода за рамки современной теории надежности.

Безопасность ЭТС и теория катастроф. Современные технические объекты, в особенности ЭТС, являются настолько сложными структурами, с точки зрения описания их функционирования на достаточно длительных интервалах времени, что расчетное определение степени их безопасности оказывается весьма затруднительным. Но в будущем, с использованием более мощных компьютеров и достаточно богатого банка данных о свойствах материала и деталей, а также новых математических методов, решение такой задачи может оказаться вполне возможным. Большую роль в этом должна сыграть, по-видимому, новая математическая дисциплина — теория катастроф, возникшая в последние десятилетия [12]. Теория катастроф представляет

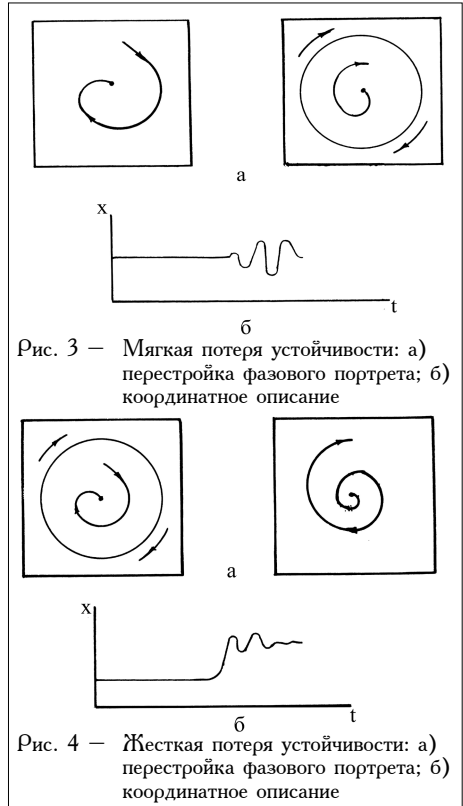


Рис. 3 — Мягкая потеря устойчивости: а) перестройка фазового портрета; б) координатное описание

Рис. 4 — Жесткая потеря устойчивости: а) перестройка фазового портрета; б) координатное описание

собой математический формализм, наиболее полно описывающий любые внезапные и прерывистые изменения в природе и технике, вызываемые плавными, непрерывными изменениями внешних условий как внутренних параметров. Поэтому теория катастроф является наиболее подходящим средством для описания любых аварий, которые практически всегда возникают внезапно. Примеры применения теории катастроф в простейшем случае одномерной динамической системы даны на рис. 3 и рис. 4, где показаны две возможные бифуркации в такой системе, состоящие в потере устойчивости равновесия. Такие потери, особенно в жестком варианте, могут быть причинами серьезных аварий и катастроф.

Концепция безопасности ЭТС. Концепция безопасности есть сочетание определенного понимания безопасности и вытекающих из него принципов, руководствуясь которыми люди могут проектировать и эксплуатировать безопасные ЭТС. В различных странах [13] приняты концепции безопасности, различающиеся в существенных моментах.

Руководствуясь вышеуказанным, можно предложить концепцию безопасности, схематично показанную на рис. 5 — рис. 8. Центральным

принципом предлагаемой концепции является принцип исключения аварий. Этот принцип вытекает из того факта, что все крупные аварии происходят на почве средних и мелких аварий. Без устранения мелких аварий невозможно гарантировать устранение крупных аварий. Этот принцип принят в концепции безопасности японской промышленности [1, 13]. Из этого принципа вытекает, в частности, обязательность проведения анализа риска аварийных ошибок и отказов, который бы включал в себя рассмотрение всех возможных последствий данного события (например, путем построения дерева возможных событий).

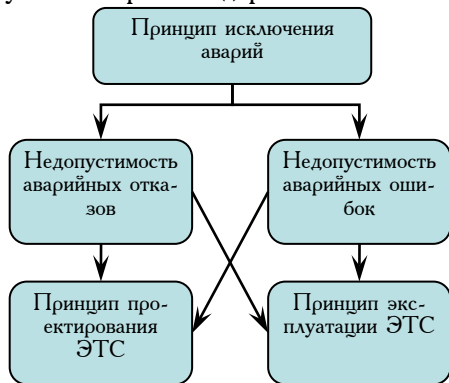


Рис. 5 – Структурная схема варианта концепции безопасности ЭТС

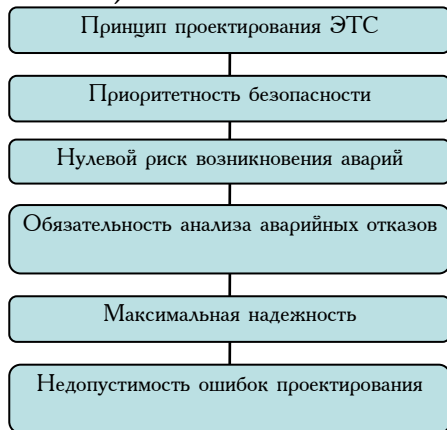


Рис. 6 – Структурная схема принципов проектирования ЭТС

Таким образом, выше рассмотрены некоторые общие понятия и принципы теории безопасности применительно к ЭТС. При этом имеются в виду вновь проектируемые объекты и сооружения. Что касается ныне действующих ЭТС, то ввиду их, в большинстве случаев, технологической и технической отсталости и большого срока службы вопросы безопасности требуют несколько иных подходов и решений. Наиболее полно они рассмотрены в уже цитируемой литературе [1-3].

3 Обобщения для дальнейших исследований

В последние годы хозяйственная деятельность человека приобрела такие масштабы, что нормальное функционирование биосферы оказалось практически невозможным. Наступает время, когда дальнейшее приращение емкости искусственной среды обитания человека (т.е. дальнейшее увеличение выпуска конечной продукции) сопровождается такой же, а может быть, и большей потерей емкости естественной среды, и когда поэтому суммарная емкость прекращает рост.

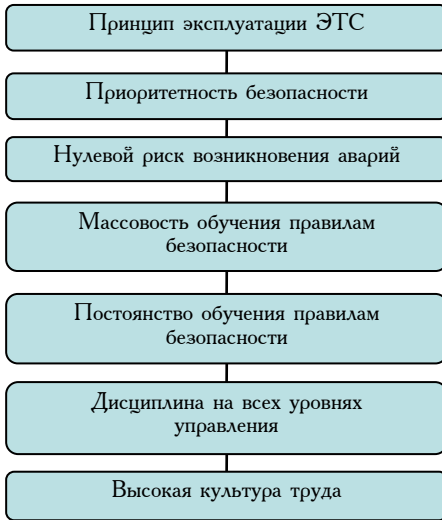


Рис. 7 – Структурная схема принципов эксплуатации ЭТС

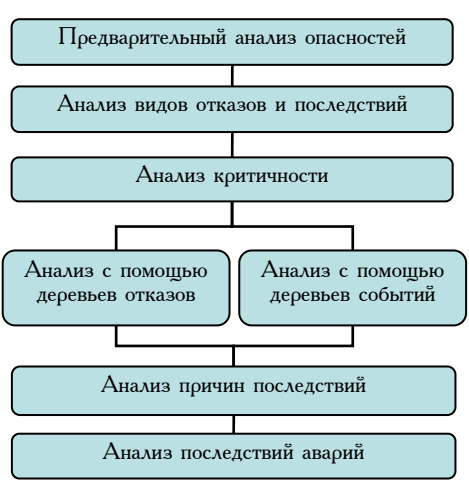


Рис. 8 – Алгоритм анализа риска

Вот почему для сохранения биосферы как самовоспроизводящейся системы необходимо существенно ослабить на нее антропогенное давление.

В предстоящие десятилетия перед человечеством возникнут совершенно новые задачи, которые могут осуществить принципиальный перенос наибольшей опасности из военной сферы его деятельности в гражданскую: энергетика, добывающая и перерабатывающая промышленность, строительство, транспорт и др.

Об этом свидетельствуют крупнейшие аварии и катастрофы последних лет (Чернобыльская АЭС, аварии на атомных объектах в России, США, Индии, Мексике, Германии); взрыв на продуктопроводе в Болгарии; выбросы радиоактивных веществ; пожары, взрывы доменных печей и заводов; землетрясения, оползни, ураганы, сели, обвалы, наводнения и др.), которые не имеют национальных и географических границ, но экологические и экономические последствия которых, тем не менее, имеют громадные последствия и создают все возрастающую социальную напряженность во многих странах мира.

Анализ результатов национальных и международных экспертиз крупных техногенных и природных аварий и катастроф показал, что дальнейшая разработка и реализация программы научно-технического развития современной цивилизации становятся невозможными без комплексного подхода к решению проблем безопасности и надежности. Вместе с тем на сегодняшнее время все прикладные и фундаментальные научные разработки ориентируются на достижение важнейших характе-

ристик прогресса (повышение скорости и энерговооруженности, рост мощности, новые технологии и др.) без учета возникновения аварий и катастроф. Это привело к тому, что человечество в целом оказалось совершенно неподготовленным к отрицательным последствиям научно-технического прогресса, то есть к всё возрастающему числу аварий и катастроф.

Выход из этой довольно сложной ситуации заключается в реальном обеспечении безопасности человека, безопасности его творений (т.е. сложных экотехносистем) и безопасности окружающей среды как на национальном, так и на международном уровнях.

Для этого необходимо решение следующих базовых проблем:

- разработка фундаментальных основ теории техногенных и природных аварий и катастроф, теории безопасности и защиты;
- переход к проектированию, созданию и эксплуатации потенциально опасных производств и объектов на базе новых критериев, методов и средств обеспечения безопасности;
- создание восстановительных работ в зонах возникновения катастроф;
- создание единой национальной и международной нормативной базы по техническому, правовому и экономическому регулированию вопросов безопасности.

Отсюда следует выбор приоритетных направления для обеспечения безопасности в первую очередь тех сложных экотехносистем, нарушение деятельности которых наносит наибольший вред окружающей среде и человеку.

Если исключить атомные и тепловые электростанции, плотины, самолеты и химические оборонные предприятия, безопасность которых регламентируется особыми правилами и которые здесь по известным причинам не рассматриваются, то для Украины на сегодняшний день приоритетными будут следующие вопросы.

1. Безопасность транснациональных и национальных коммуникаций (нефте-газопроводы, продуктопроводы, нефтяные терминалы, железнодорожные и морские перевозки), проходящих через Украину. Сюда входят вопросы эксплуатации и развития.

2. Безопасность сложных экотехносистем: ракетно-космических комплексов, предприятий химического производства, горно-металлургических предприятий, шахт, заводов и др. Здесь необходимо осуществление комплекса работ по определению исходного и остаточного ресурса живучести и безопасности объекта, включая исследования нагрузок, напряжений, деформаций расчетными методами и экспериментальными исследованиями.

3. Безопасность зданий и сооружений при техногенных (вибростойкость от проходящего транспорта) и природных (сейсмостойкость) воздействий.

Во всех случаях при разработке безопасности и надежности приоритетными являются мероприятия, исключающие или предупреждающие аварии и катастрофы, а также уменьшающие последствия негативных событий. Выше, на рис. 6, были приведены составляющие концепции безопасности сложных экотехносистем, которые одновременно являются и направлениями в научных исследованиях. Каждое из них определяет свой круг задач, который необходимо решать всякий раз при разработке новых и совершенствовании уже существующих экотехносистем.

4 Разработка метода и алгоритма анализа безопасности и устойчивого функционирования сложных экотехносистем

В принципе возможны различные пути решения поставленной задачи. При наличии достаточно полной информации о горном предприятии можно использовать методы системного анализа и методом ранжирования определить приоритетные факторы. Можно также использовать методы построения функционалов, как это сделал Моисеев Н.Н. при решении глобальных вопросов ядерной катастрофы. В этом случае необходимо решать задачу оптимизации, а для этого опять-таки необходима полная информация о ЭТС.

На основе анализа всей имеющейся литературы по надежности и безопасности экотехносистем, в частности [9], авторы настоящей работы пришли к выводу о том, что наиболее обоснованным, плодотворным и перспективным направлением в решении этой проблемы является подход, основанный на анализе риска [14]. Этот подход, возникший в 50-60 годах, применительно к ядерной энергетике и аэрокосмической промышленности, в настоящее время в развитых странах Запада получает все большее распространение при проектировании и эксплуатации потенциально опасных сложных экотехносистем (ЭТС) во всех отраслях промышленности. В Украине и странах СНГ он еще имеет недостаточную известность и практически не используется при проектировании и эксплуатации ЭТС.

Согласно этому подходу [14], для изучения некоторой конкретной технической системы методом анализа риска и получения результатов, позволяющих обеспечить требуемую безопасность и устойчивое функционирование системы, необходимо обладать весьма подробной информацией о самой системе, необходимы подробные данные трех родов: данные по характеристикам отказов всех элементов системы; данные по частотам появления возможных событий, инициирующих какое-то происшествие; данные, описывающие возможные последствия происшествия. Большое значение имеет при этом достоверность получаемых данных, зависящая от компетентности и добросовестности лиц, собирающих и оценивающих данные.

Применение описываемого подхода к проблеме обеспечения безопасности и надежности функционирования таких сложных экотехносистем, например, как горнообогатительный комбинат, встречает трудности двух видов. Во-первых, это трудности разработки метода анализа риска, который был бы наиболее эффективен для изучения этой технической системы. Во-вторых, трудности, вызванные отсутствием достоверных данных (банков данных), связанных с работой всего горного оборудования, машин, механизмов и т.д. При этом затраты, как показывает мировой опыт, на преодоление первого вида трудностей могут быть значительно меньшими, чем для преодоления второго вида.

4.1 Разработка метода анализа безопасности и устойчивого функционирования сложных экотехносистем

Существует несколько подходов к анализу безопасности ЭТС [14]. Они приводят к различным методикам анализа риска. Рассмотрим эти методики применительно к проектированию новой сложной технической системы.

Первоначальным этапом анализа риска является установление всех возможных элементов систем, представляющих опасность, т.е. допускающих возможность неконтрольного освобождения энергии как утечки токсичных веществ. Это установление производится вместе с определением конфигурации проектируемой системы. Существуют различные формальные приемы, облегчающие этот этап анализа, называемые предварительным анализом опасностей. В результате этого этапа определяется общая структура системы, и устанавливаются наиболее опасные ее подсистемы, которые могут быть классифицированы по 3-5 категориям критичности, т.е. по степеням создаваемой ими опасности.

Когда система и ее подсистемы определены, выбрано оборудование, проводится второй этап анализа риска. На этом этапе применяются несколько методик анализа, которые в некоторых моментах перекрываются, а в других — дополняют друг друга.

Методика анализа видов отказов и последствий (АВОН) позволяет систематически, на основе последовательного рассмотрения одного элемента за другим проанализировать все возможные виды отказов или аварийные ситуации и их воздействия на систему. Данная методика является очень детальной и подробной.

Методика анализа критичности определяет категории критичности для различных видов отказов элементов по следующим, например, группам:

- категория 1: отказ, потенциально приводящий к жертвам;
- категория 2: отказ, потенциально приводящий к невыполнению основной задачи;

- категория 3: отказ, приводящий к задержкам или потере работоспособности;
- категория 4: отказ, приводящий к дополнительному, незапланированному обслуживанию.

Основная ценность данной методики заключается в улучшении безопасности системы путем определения наиболее опасных элементов, специальных требований к их изготовлению и т.п.

Методика анализа риска с использованием дерева событий использует для определения последовательности возможных событий при аварии, включающей сложные взаимодействия между техническими системами обеспечения безопасности. При построении дерева событий используется прямая, индуктивная логика, при этом задается вопрос: «Что случится, если произойдет событие X ?» Под событием X следует понимать любое возможное событие (любой отказ), могущий привести к аварийной ситуации.

Методика анализа риска на основе построения дерева отказов использует образную дедуктивную логику, т.е. для анализа риска задается вопрос: «Каким образом может отказать, например, электропитание?»

Для построения деревьев отказов и деревьев событий разработана унифицированная система обозначений [14].

Методика анализа риска на основе деревьев событий и деревьев отказов могут быть в некотором смысле объединены, такая объединенная методика, называемая анализом «причин-последствий», используется для выявления причин некоторого критического события, с которого начинается анализ, метод дерева отказов, а для выявления последствий используется метод дерева событий. Все явления при этом рассматриваются в естественной последовательности их появления.

Последним этапом в анализе риска, проектируемой ЭТС, является анализ последствий возможных аварий. Результатом этого этапа должно быть определение вероятностей различных аварий в зависимости от величины их последствий. Их можно будет сравнить с требуемым по критерию безопасности и определить степень безопасности ЭТС.

4.2 Разработка алгоритма анализа и устойчивого функционирования ЭТС

Проведение полного анализа безопасности и надежности ЭТС представляет собой чрезвычайно сложную задачу. Общий алгоритм ее решения можно представить в виде следующей структурной схемы, показанной на рис. 8 и рис. 9.

Не все методики анализа опасностей, показанные на рис. 8, обязательно должны использоваться при анализе конкретной системы. Все описанные методики возникли при анализе конкретных систем и в дальнейшем при более широком распространении совершенствовались. При

разработке ЭТС можно выбрать наиболее подходящий метод анализа, позволяющий достичь цели наиболее простым путем.

Одной из самых сложных проблем безопасности является проблема оптимизации затрат на уменьшение риска аварий. Естественным способом оценки программы уменьшения риска было бы сравнение оцениваемых затрат с ожидаемыми результатами в денежном выражении. Однако последнее, строго говоря, фактически невозможно, так как требует оценки безопасности для человеческой жизни в стоимостном выражении.

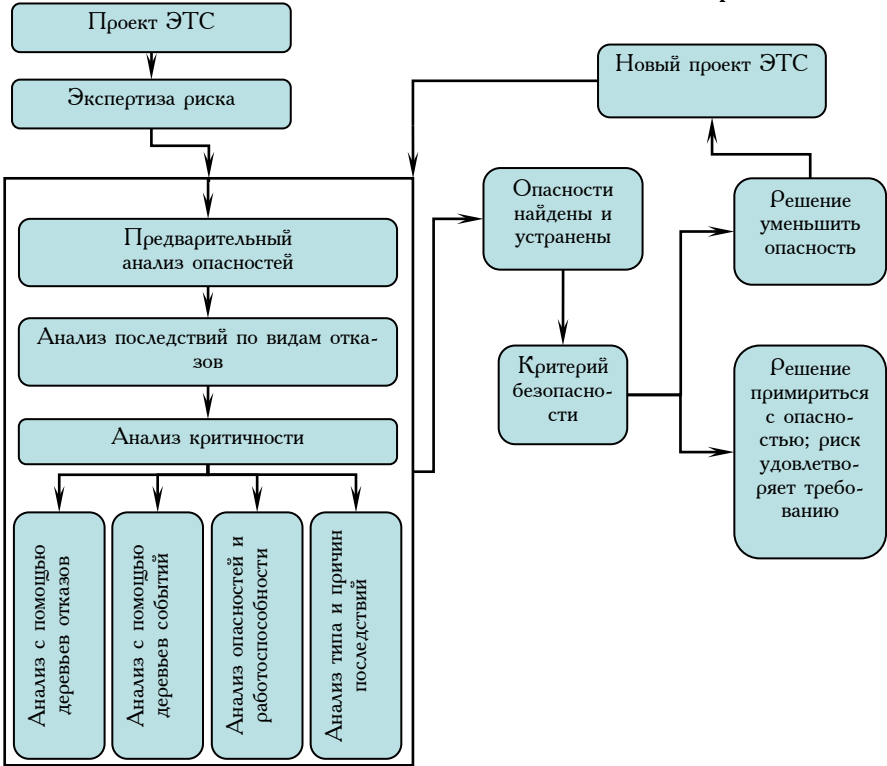


Рис. 9 – Алгоритм обеспечения безопасности ЭТС

Описанные выше методы и алгоритмы анализа надежности и безопасности рассчитаны на проектируемые ЭТС. Если же требуется проанализировать безопасность или надежность действующей ЭТС, например, горно-обогатительного комплекса, то можно использовать те же методы, но с соответствующими изменениями в последовательности анализа, исходных данных и результатах.

5 Разработка метода оценки опасности возможных аварий и катастроф сложных экотехносистем

Для этого необходимо иметь методы численной оценки степени опасности исследуемых событий, а также методы расчета возможного материального ущерба и потерь населения при активизации источников опасности. Обычно с этой целью используют критерий оценки опасности, основанный на нормировании характеристик источников по отношению к типовому нежелательному событию. В общем случае критерийное уравнение можно записать в виде [15]:

$$W = \frac{\rho_i}{\rho_m} \left[\frac{S_i}{S_m} L_1 + \frac{D_i}{D_m} L_2 + \frac{N_i}{N_m} L_3 \right], \quad (1)$$

где W — значение критерия опасности i -го вида;

ρ_i — вероятность (частота) возникновения i -го вида опасности события; определяется по данным имевших место ранее таких событий или по экспертным оценкам;

ρ_m — вероятность возникновения типового опасного события, приводящего к чрезвычайной ситуации местного масштаба; обычно принимают повреждение окружающей среды на территории 1,5 га, материальный ущерб в размере 21 тыс. \$, потери населения в количестве 3 человек; эта вероятность принимается равной 10^{-3} или 0,001;

S_i — прогнозируемая средняя площадь опасного повреждения окружающей среды, в га;

S_m — площадь опасного повреждения окружающей среды, вызываемая активизацией типового опасного события; $S_m = 1,5$ га;

D_i — прогнозируемый материальный ущерб (в тыс. \$), вызываемый активизацией i -го вида опасного события;

N_i — прогнозируемые потери (безвозвратные или медицинские), вызываемые активизацией i -го вида опасного события, человек;

N_m — потери населения, вызываемые активизацией типового опасного события, $N_m = 3$ человека;

L_1, L_2, L_3 — весовые коэффициенты.

Если в качестве нормативных будут приняты весовые коэффициенты: $L_1 = 1, L_2 = 1, L_3 = 1$, (т.е. приоритет отдается защите населения), то уравнение (1) примет вид:

$$W_i = \frac{\rho_i}{\rho_m} \left[\frac{S_i}{S_m} + \frac{D_i}{D_m} + \frac{N_i}{N_m} \right]. \quad (2)$$

Из этого уравнения следует, что если значение критерия опасности $W_i > 4$, то исследуемый i -ый источник опасности может привести к чрезвычайной ситуации местного или большего масштабов.

Суммарное значение критерия опасности при наличии нескольких однотипных по природе источников этой опасности рассчитывается по формуле

$$W_i = \sum_{n \in R_i} W_{in}$$

где W_{in} — значение критерия опасности i -го источника n -го вида;

R_i — множество однотипных источников i -го вида.

В качестве примера рассмотрим определение критериев опасности для «условной» сложной технической системы, представляющей собой регион, состоящий из подсистем: город с развитой коммунальной инфраструктурой (система водоснабжения, автомобильный парк, магистральные трубопроводы, заводы и т.д.); горно-обоганительный комбинат (сложные технические сооружения, обоганительные фабрики, ремонтные заводы, мощный автомобильный парк и т.д.); плотины, водохранилища и т.д. Рассмотрим три вида опасности, наиболее характерные для такого типа регионов.

1. Авария на станции очистки воды; заражение окружающей среды опасной концентрацией хлора.

2. Аварии на автотранспорте, повреждение подвижного состава и материальных средств, потери людей: условно примем 40 тысяч автомобилей, дорожно-транспортных происшествий с тяжелым исходом 2746, материальный ущерб около 28 млн.\$ (пострадало 3514 человек, из них 514 погибло); такому количеству аварий для 40000 автомобилей соответствует вероятность одной аварии $6,9 \times 10^{-2}$, а на одну аварию приходится 1,28 человек пострадавших и материальный ущерб в 4,2 тыс.\$; данные реальные для Молдовы за 1994 год и заимствованы из [15],

3. Землетрясение в регионе с интенсивностью 6,5-8,5 баллов. Расчет критериев опасности проводился по уравнениям (1), (2); входящие в уравнения значения параметры заимствованы из [15]; результаты расчетов приведены в таблице 2.

Как видно, аварии на автотранспорте в совокупности для всех участвующих в движении автомобилей представляют большую опасность, чем землетрясение и авария на станции очистки воды.

Аварии на автотранспорте в последнее время стали классическим примером как по заражению окружающей среды, так и по безвозвратным потерям населения.

Таблица 2

Наименование источника	Вероятность активизации источника	Количество источников	Характеристики последствий активизации одного источника			Суммарное значение критерия опасности
			Прогнозируемая площадь повреждения, га	Прогнозируемый материальный ущерб, тыс. \$	Прогнозируемые потери населения, чел.	
1. Авария на станции очистки воды	10^{-3}	1	42,7	250	4640	59600
2. Авария на автотранспорте	$6,9 \times 10^{-2}$	40000	0	4,2	1,28	2906000
3. Землетрясение в регионе с интенсивностью 6,5-8,5 баллов	2×10^{-2}	1	48,5	900000	900	869530

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов К.В., Махутов Н.А. Проблемы безопасности сложных экотехносистем // Проблемы машиностроения и надежности машин. –1992. –№ 5. –С. 3-11.
2. Легасов В.А., Чайванов В.В., Чернопленов А.Н. Научные проблемы безопасности современной промышленности // Безопасность труда в промышленности. –1998. –№ 11. –С. 44-51.
3. Ларичев С.И. Проблемы принятия решений с учетом факторов риска и безопасности // Вестник Академии наук СССР. –1987. –№ 11. –С. 38-45.
4. Дорогуцтов С., Федорищева П. Развитие потенциально опасных производств: безопасность окружающей среды и населения // Экономика Украины. –1992. –№ 7. –С. 3-13.
5. Российско-норвежский семинар по безопасности сложных экотехносистем, техническая информация // Вестник машиностроения. –1993. –№ 2. –С. 62-63.
6. Царев В.П., Повидейко Р.П. Внимание! Техногенные землетрясения // Международный ежегодник «Наука и человечество». –1990. –С. 125-130.
7. Дорогуцтов С., Федорищева П. Технологічний прогрес та безпека населення і виробництва // Вісник Академії наук України. –1994. –№ 1. –С. 51-57.
8. Быков А.А., Кузьмин Н.И. Безопасность с глобальной и региональной точек зрения: концепция «Экологического паритета» // Препринт ИБРАЭ РАН. –М. –1992. –№ 57. –75 с.
9. Надежность в технике. Научно-технические и правовые аспекты: Методическое пособие / В.В. Болотин, А.П. Гусенков, С.Ф. Нефедов, А.И. Тананов; Под ред. В.В. Болотина. –М.: МНТК «Надежность машин», 1993. –53 с.
10. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. –М.: Машиностроение, 1990. –448 с.
11. Кесслер Г. Ядерная энергетика. Пер. с англ. –М.: Энергоатомиздат, 1966. –264 с.
12. Арнольд В.И. Теория катастроф. –М.: Наука, 1990. –138 с.
13. Кловач Е.В. Правовое регулирование безопасности в потенциально опасных отраслях промышленности // Безопасность труда в промышленности. –1992. –№ 8. –С. 59-64.
14. Хени Э., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. –М.: Машиностроение, 1984. –528 с.
15. Методические указания к планированию мероприятий, направленных на противодействие стихийным бедствиям, авариям и катастрофам // Департамент гражданской защиты и чрезвычайных ситуаций. –Кишинев, 1996. –77с.
16. Виноградов В.В., Дырда В.И., Сургай Н.С. К разработке метода и алгоритма анализа безопасности и надежности функционирования сложных экотехносистем // Труды 1 Международного симпозиума по механике эластомеров, Севастополь, июнь 1994. –Днепропетровск: ВПОП «Дніпро», 1996. –Т. 2. –С. 30-46.
17. Сургай Н.С., Дырда В.И., Мазнецова А.В., Твердохлеб Т.Е. Некоторые аспекты повышения безопасности и надежности машин и сооружений // Труды 2 Международного симпозиума по механике эластомеров, г.Днепропетровск, июнь 1997 г. –Днепропетровск: Полиграфист, 1998. –Т. 2. –С. 349-394.
18. Сургай Н.С. Надежность функционирования угольных шахт. –Днепропетровск: АРТ, 1998. –185 с.
19. Шемавнев В.И., Дырда В.И. Некоторые проблемы устойчивого развития крупных промышленных регионов (экотехнополисов) // Геотехническая механика. –Днепропетровск: Полиграфист, 2002. –Вып. 39. –С. 3-33.