

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

© 2012 М.В. Кравцова

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 27.10.2011

Представлена экспертная система оценки техногенного риска технически сложных производственных объектов машиностроения, вычислительной основой которой является имитационная модель процесса возникновения происшествий в человеко-машинных системах.

Ключевые слова: оценка техногенного риска, опасные производственные объекты, отказы, техногенная опасность.

К технически сложным производственным объектам относят опасные производственные объекты, Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» устанавливает требования о необходимости анализа риска опасных производственных объектов. Составляющие опасного производственного объекта — участки, установки, цеха, хранилища или другие составляющие (составные части), объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому или территориально-административному принципу и входящие в состав опасного производственного объекта. В Методических указаниях по проведению анализа риска опасных промышленных объектов (РД 08-120-96) содержится общая методология оценки риска, которая включает анализ частоты, последствий неблагоприятных событий и неопределенностей результатов, а также отмечается, что меры по уменьшению вероятности аварии должны иметь приоритет над мерами по снижению последствий аварий. Отказы сложных производственных объектов могут стать источником техногенных чрезвычайных ситуаций. Экономические, экологические и социальные последствия подобных происшествий обуславливают необходимость совершенствования научных основ анализа техногенных рисков и обеспечения техногенной безопасности. Предотвращение аварий технически сложных производственных объектов связано с задачей снижения возможности отказов и техногенных рисков, которая, в свою очередь, в значительной степени зависит от прогнозирования динамики изменения технического состояния исследуемых производственных объектов.

Анализ имеющихся статистических данных по аварийности и травматизму свидетельствует,

Кравцова Марианна Викторовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды». E-mail: M.V.Kravtsova@yandex.ru

что главную угрозу представляют потоки энергии и вредных веществ, а основные закономерности в их появлении характеризуются следующим [3]:

а) аварийность и травматизм можно интерпретировать как совокупность сравнительно редких, случайных событий-происшествий;

б) возникновение каждого из них обусловлено чаще всего не отдельно взятой причиной, а цепью соответствующих предпосылок;

в) инициаторами и звеньями такой цепи служат ошибки людей, отказы техники и / или нерасчетные воздействия на них извне.

Выявленные закономерности позволили использовать энергоэнтропийную концепцию техногенного риска [1], необходимую для обоснования объекта и предмета соответствующей деятельности. Сущность энергоэнтропийной концепции заключается в следующем:

1. Техногенная опасность связана с энергопотреблением-выработкой, хранением и преобразованием механической, электрической, химической и других видов энергии.

2. На практике она реализуется в результате нежелательного высвобождения накопленных потенциалов и разрушительного распространения соответствующих потоков.

3. Внезапный выход и нежелательное распространение потоков энергии и вещества может сопровождаться техногенными происшествиями с гибелью людей, повреждениями техники и/или природной среды.

4. Данные происшествия вызваны предпосылками, приводящими к потере управления энергомассообменом, разрушительному воздействию его потоков на людей, оборудование и внешнюю среду. Под энтропией принято принимать меру хаоса, дезорганизации и структурной неупорядоченности систем, интенсивности разрушения связей между их элементами.

5. Указанные предпосылки делятся на оши-

бочные действия людей, отказы технологического оборудования и неблагоприятные воздействия на них извне.

Правомерность энергоэнтропийной концепции подтверждается эмпирическими данными: все известные техногенные происшествя обусловлены разрушительным высвобождением энергии и вредных веществ. Научно-технический прогресс привел к усилению техногенной опасности, и этот поворот вызван следующими причинами:

1. Развитие производства вызвало непомерное увеличение объемов материального обмена с природой и энергетического уровня обмена и усиление негативных техногенных факторов. В результате чего нагрузка на природные защитные механизмы достигла уровня, превышающего подчас их возможности.

2. Прирост производственного потенциала совершался за короткий промежуток времени, в течение которого не могла произойти адаптация природной среды.

Таким образом, к общим факторам усиления техногенной опасности следует отнести объективно существующее противоречие между растущими потребностями человечества и скудеющими возможностями природы по их удовлетворению и как следствие между все увеличивающимся числом новых для человека вредных факторов и имеющимися у него защитными механизмами. Академик К. Фролов объясняет наблюдаемую в РФ устойчивость тенденции нарастания техногенной угрозы тем, «что сложные технические системы, представляющие опасность для людей и окружающей среды, создавались, как правило, на основе использования традиционных правил проектирования и простейших методов расчета и испытаний, не отвечающих в полной мере требованиям к обоснованию безопасности таких систем» [1]. Условия, при которых реализуются потенциальные опасности, называются причинами. Они характеризуют совокупность обстоятельств, благодаря которым опасности проявляются и вызывают те или иные нежелательные события - последствия. Формы нежелательного последствия различны: травмы, материальный ущерб, урон окружающей среде и др. «Опасность - причина - нежелательные последствия» – это логический процесс развития, реализующий потенциальную опасность в реальное нежелательное последствие. Как правило, этот процесс является многопричинным. Типичная причинная цепь техногенных происшествя в общем случае представляет следующую последовательность событий-предпосылок: ошибка человека, отказ используемого им оборудования и/или недопустимое для них внешнее воздействие — появление

потока энергии или вещества в неожиданном месте и/или не вовремя — отсутствие (неисправность) предусмотренных на эти случаи средств защиты и/или неправильные действия людей в такой ситуации — воздействие движущихся потоков на незащищенные элементы техники, людей и/или окружающей их среды — ухудшение свойств и/или целостности соответствующих материальных, людских и природных ресурсов [4].

Причина тенденций роста количества чрезвычайных ситуаций заключается и в том, что при создании и эксплуатации техники не учитывается в должной мере принцип внутренней безопасности систем - система должна обладать защитными ресурсами (внутренними и внешними), достаточными для исключения влияния дестабилизирующих факторов. Внешние источники - два рода явлений: состояние среды деятельности (технические системы) и ошибочные, непредвиденные действия персонала, приводящие к авариям и создающие для окружающей среды и людей рискованные ситуации. При этом разные факторы среды обитания воздействуют неодинаково: если техника и технологии могут представлять непосредственную опасность, то социально-психологическая среда, за исключением случаев прямого вредительства, влияют на человека через его психологическое состояние, через дезорганизацию его деятельности. Внутренние источники опасности обусловлены личными особенностями работающего, которые связаны с его социальными и психологическими свойствами и представляют субъективный аспект опасности.

Существует две трактовки понятия риска как количественной меры опасности: риск – вероятность появления неблагоприятного события (априорная трактовка); риск – максимальный ущерб, нанесенный событием (количественная оценка). Кроме того, риск определяется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся формированием и действием вредных факторов, а также нанесенного при этом социального, экологического, экономического и других видов ущербов:

$$P(R) = P(R1) P(R2) P(R3), \quad (1)$$

где $P(R)$ – уровень риска, то есть вероятность нанесения определенного ущерба человеку и окружающей среде;

$P(R1)$ – вероятность возникновения события или явления, обуславливающего формирование и действие вредных факторов;

$P(R2)$ – вероятность формирования определенных уровней физических полей, нагрузок, полей концентрации вредных веществ в различ-

ных средах и их дозовых нагрузок, воздействующих на людей и другие объекты биосферы;

$P(R3)$ – вероятность того, что указанные уровни полей и нагрузок приведут к определенному ущербу.

Базой для проведения анализа риска возникновения чрезвычайных ситуаций является автоматизированный банк данных, содержащий сведения об объектах и оборудовании опасного производства. На основании анализа схем функциональной целостности, разработанных на основании описания технологического процесса (схемы надежности) и систем противоаварийной защиты (схемы безопасности), проводится расчет вероятности выполнения/невыполнения заданного сценария с учетом выбранных критериев оценки, а также расчет значимости различных узлов (отдельного оборудования, установок и т.п.) при реализации заданного сценария. По заданному сценарию аварии рассчитываются возможные масштабы аварии, оценка потерь и разрушений опасного объекта с учетом заданных критериев оценки. Затем выполняется анализ результатов, полученных при моделировании, проводится расчет интегральных показателей надежности, безопасности и риска с учетом заданных сценариев и критериев оценки.

Риск аварии R определяется как математическое ожидание вероятности возникновения потенциально опасных факторов и возможного ущерба от аварии:

$$R = P_{\text{оф}} C, \quad (2)$$

где $P_{\text{оф}}$ – вероятность проявления потенциально опасных факторов, следствием которых может быть авария;

C – ожидаемый ущерб от действия рассматриваемых опасных факторов в случае возникновения аварии.

Вероятность $P_{\text{оф}}$ является функцией от надежности различных групп оборудования, эффективности функционирования персонала, ус-

ловий, способствующих развитию аварий.

Ожидаемый ущерб C определяется с использованием моделей оценки последствий аварий. В зависимости от выбранного для оценки риска критерия (социальный риск, территориальный риск и т.д.) определяется ожидаемый ущерб C либо в форме материального ущерба от аварии (прямого и косвенного), либо как число возможных жертв аварии.

На последнем этапе процедуры анализа риска производится выработка рекомендаций по управлению риском.

Функция управления риском заключается в организации инженерно-технических мероприятий, направленных на исключение факторов, способствующих развитию аварии и предотвращению каскадного развития аварии. На рис. 1 приведен типовой сценарий развития аварии.

Часто под техногенным риском подразумевают не произведение частоты нештатного события и ущерба от него, а саму величину вероятности наступления происшествия на опасном производственном объекте (поломка, авария, инцидент, несчастный случай). К сожалению, известные и рекомендуемые к применению в нормативных документах методы количественной оценки техногенного риска (например, “поточковые графы”, “деревья происшествий”) имеют существенные недостатки. Во-первых, они чрезвычайно трудоемки и требуют высокой квалификации исполнителей. Во-вторых, для их реализации необходимы многочисленные количественные исходные данные. Указанные недостатки являются непосредственной причиной того, что эти методы не находят широкого практического применения.

Кроме этого существует задача: при фиксированных ресурсах необходимо выбрать такой набор мер безопасности, чтобы снижение величины риска на опасном производственном объекте было максимальным или выбрать такой комплекс

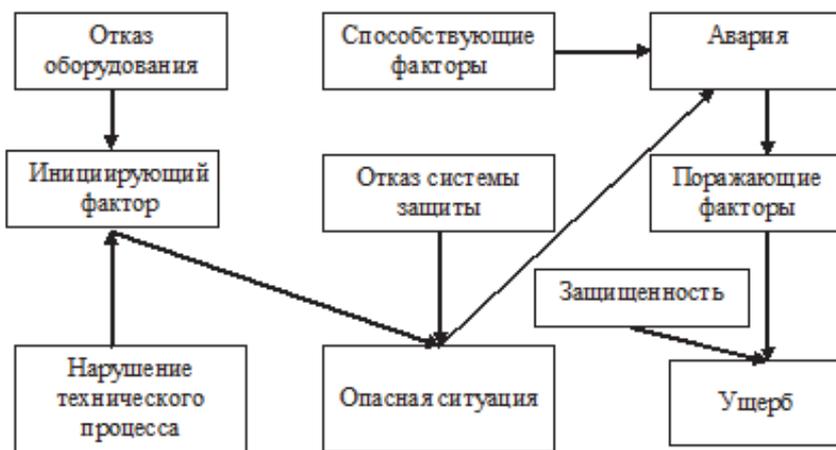


Рис. 1. Типовой сценарий развития аварии

мер безопасности, чтобы уменьшить величину риска до допустимого уровня при минимальных затратах. Подход к анализу риска построен на классическом принципе определения относительных частот событий при длительных испытаниях. Этот риск может быть определен на основе теоретических расчетов или на основе экспериментальных данных. При анализе риска, связанного с эксплуатацией технически сложных производственных объектов в любом случае необходимы данные наблюдений или исследований работы существующих устройств и систем. Поэтому в рамках производственной деятельности современного предприятия должен применяться наиболее эффективный метод определения величины риска технически сложных производственных объектов.

Создание экспертной системы оценки техногенного риска опасных производственных объектов, вычислительной основой которой является имитационная модель процесса возникновения происшествий в человеко-машинных системах. Такое моделирование, менее чувствительное к неточности и нечеткости исходных данных, дает возможность одновременно учитывать десятки разрозненных входных параметров. В свою очередь сама экспертная система позволяет снизить квалификационный уровень пользователя, а также уменьшить трудоемкость выполняемых оценочных работ.

На основе энергоэнтропийной концепции аварийности и травматизма и известному принципу неопределенности сложных систем, необходимо разработать логико-лингвистическую (имитационную) модель процесса возникновения происшествия, которая определяет взаимосвязь между точностью получаемых количественных оценок и неопределенностью исходных данных. Отличительные особенности рассматриваемой модели:

- имитация зарождения и обрыва причинной цепи предпосылок возникновения происшествия;
- идентификация факторов, влияющих на безопасность человеко-машинных систем;
- использование метода Монте-Карло для количественной оценки вероятности возникновения происшествия в человеко-машинной системе;
- учет до 30 факторов, влияющих на безопасность человеко-машинных систем (табл. 1).
- возможность диагностирования таких состояний системы «человек-машина-рабочая среда», как гомеостазис, опасная и критическая ситуации, адаптация к неблагоприятным событиям.

В основу идеи моделирования положен учет влияния психофизиологических свойств человека-оператора, факторов надежности машины-оборудования, комфортности рабочей среды и

уровня технологии на качество выполнения человеком операторской деятельности. Ее основные этапы:

- восприятие и дешифровка информации о ходе выполнения операции;
- структурирование и стратификация полученных данных;
- обнаружение отклонений процесса от требований технологии;
- оценка необходимости и способов вмешательства в него человека;
- сравнение альтернативных действий и выбор из них конкурентоспособных;
- определение степени их приемлемости и эффективности;
- принятие и реализация решения по корректировке операции при необходимости.

В самом общем виде работу имитационной модели можно свести к нахождению точечного значения функциональной зависимости между оценками факторов опасности (табл. 1) и вероятностью неблагоприятных событий в человеко-машинной системе Q , т.е.:

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (3)$$

где x_1, x_2, \dots, x_k – формализованные оценки факторов опасности.

Неявный вид этой зависимости определяется особенностями функционирования имитационной модели процесса возникновения происшествия в человеко-машинной системе, который характеризуется следующими основными моментами:

1. Производственная деятельность человека потенциально опасна, так как связана с энергопотреблением (выработка, хранение, преобразование тепловой, механической, электрической, химической и других видов энергии).

2. Производственная опасность проявляется в результате несанкционированного или неуправляемого выхода энергии, накопленной в технологическом оборудовании.

3. Возникновение происшествий – следствие развития причинной цепи предпосылок, инициаторами и составными частями которой являются ошибочные действия работающих, неисправности и отказы технологического оборудования, а также воздействующие на них внешние факторы.

Именно реализация вышеприведенных принципов и заложена в рассматриваемой имитационной модели (рис. 2).

В частности, «возмущениями» в модели служат ошибки, отказы и неблагоприятные внешние воздействия, появление которых имитируется стохастическим выбросом в сеть определенной для каждого фактора числовой информации с распределениями, зависящими от первоначальных оценок факторов опасности x_1, x_2, \dots, x_k . Такие «возмущения» в соответствии с логикой

Таблица 1. Факторы, влияющие на безопасность человеко-машинных систем

Компонент	Код	Фактор опасности	«Возмущения»	
Рабочая среда (среда С(t))	C01	Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды	0v1	
	C02	Качество информационной модели состояния среды	0v2	
	C03	Возможность внешних опасных воздействий	2v0	
	C04	Возможность внешних неблагоприятных воздействий	1v0	
	C05	Качество эксплуатации территорий, зданий, сооружений, устройств	0v1	
	C06	Качество управления потреблением тепловой и электрической энергией	0v1	
	C07	Качество управления транспортной системой	0v1	
Человек-оператор (Человек Н(t))	H01	Пригодность по физиологическим показателям	0v1	
	H02	Технологическая дисциплинированность	0v1	
	H03	Качество приема и декодирования информации	0v1	
	H04	Навыки выполнения работы	0v1	
	H05	Качество мотивационной установки	0v1	
	H06	Знание технологии работ	0v1	
	H07	Знание физической сущности процессов в системе	0v1	
	H08	Способность правильно оценивать информацию	0v1	
	H09	Качество принятия решения	0v1	
	H12	Самообладание в экстремальных ситуациях	0v1	
	H13	Обученность действиям в нештатных ситуациях	0v1	
	H14	Точность корректирующих действий	0v1	
	H15	Организация эксплуатации оборудования	0v1	
	Машина-оборудования (Техника М(t))	M01	Качество конструкции рабочего места оператора	0v1
		M02	Степень учета особенностей работоспособности человека	0v1
M03		Оснащенность источниками опасных и вредных факторов	1v0	
M04		Безотказность прочих элементов	0v1	
M05		Безотказность других ответственных элементов	0v1	
M06		Длительность действия опасных и вредных факторов	1v0	
M07		Уровень потенциала опасных и вредных факторов	1v0	
M08		Безотказность приборов и устройств безопасности	0v1	
Технология (Т(t))	T01	Удобство подготовки и выполнения работ	0v1	
	T02	Удобство технического обслуживания и ремонта	0v1	
	T03	Сложность алгоритмов оператора	1v0	
	T04	Возможность появления человека в опасной зоне	1v0	
	T05	Возможность появления других незащищенных элементов в опасной зоне	1v0	
	T06	Надежность технологических средств обеспечения безопасности	0v1	

сети выстраиваются в причинную цепь предпосылок, которая может, как обрываться (сработала защита, оператор устранил ошибку - умножение на ноль), так и приводить к «модельному» происшествию (достижение узлов «несчастный случай», «катастрофа», «поломка», «авария»). Число благоприятных и неблагоприятных исходов моделирования фиксируется, затем вычисляется частота возникновения происшествия.

Отметим, что не все факторы опасности поддаются подобной однозначной лингвистической оценке. В табл. 2 представлен пример балльной

оценки фактора опасности M07 «Уровень потенциала опасных и вредных факторов» для конкретного опасного производственного объекта – ремонтное и межремонтное обслуживание технического оборудования аккумуляторов давления (гидравлических и пневматических).

Балльные и лингвистические оценки каждой составляющей фактора опасности (см. табл. 2) выбираются в соответствии с нормативными документами. Например, составляющая «Наполнение цистерн бочек сжиженными газами должно соответствовать норме» оценивается согласно Пра-

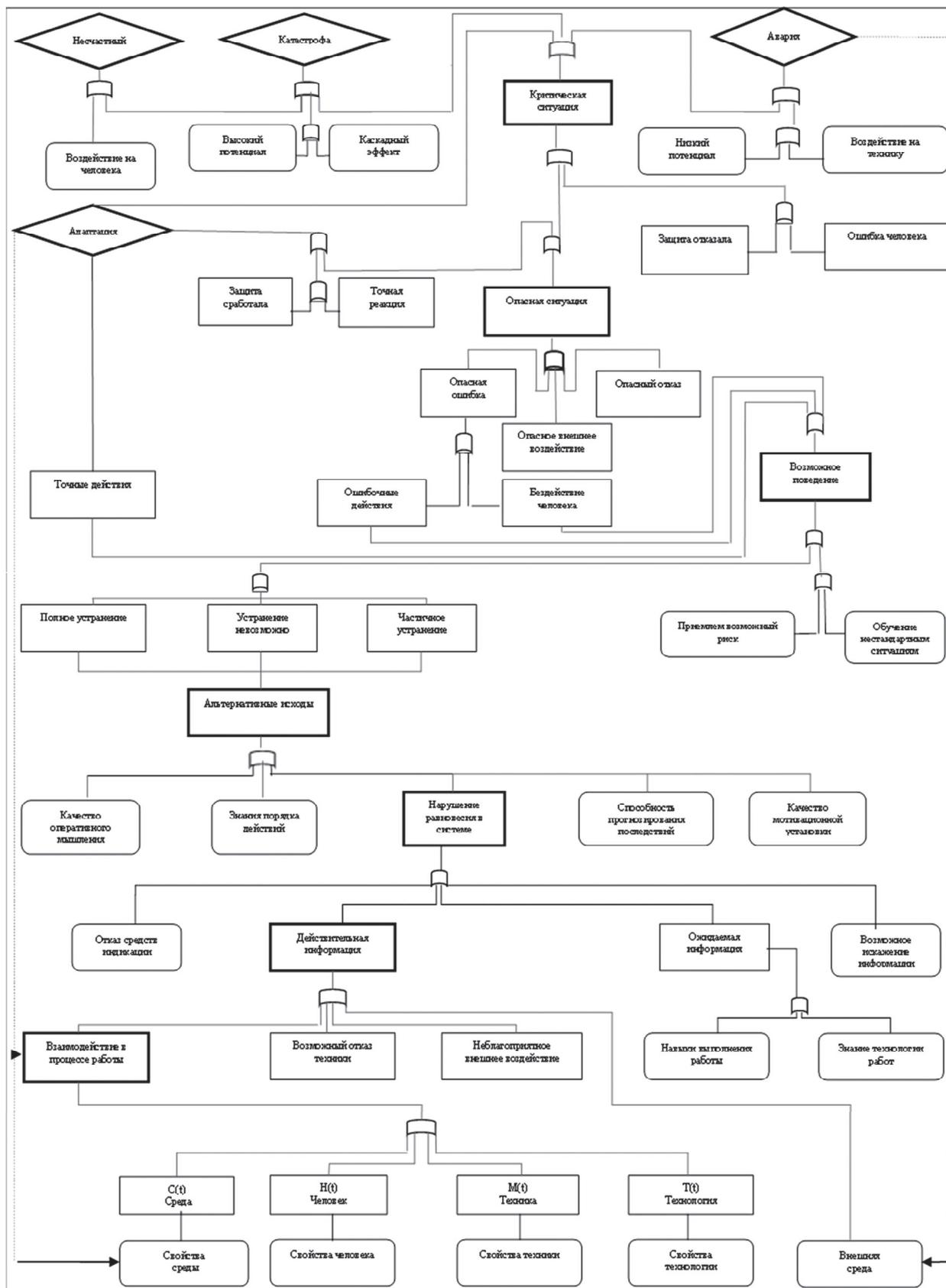


Рис. 2. Модель развития происшествий в человеко-машинной системе

вил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением ПБ 03-576-03.

Для формализации исходных данных по фак-

торам опасности использована система балльных оценок, опирающаяся на универсальную лингвистическую шкалу (“очень низко”, “низко”,

Таблица 2. Лингвистическая оценка каждой составляющей фактора опасности

Составляющие фактора опасности М07	Значимость (0-1,0)	Оценка составляющей	
		бальная	лингвистическая
Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны	0,1	9	Высокое (соответствует ПДК рабочей среды)
Рабочее давление сжатых газов	0,2	8	Высокое до 2,5 МПа
Снижение уровня жидкости	0,2	7	Очень большой (до 25 м)
Механическая энергия подвижных элементов	0,1	6	Большая
Взрыво-, пожароопасность	0,3	4	Высокая (1, 2 класса опасности по ГОСТ 12.1.007)
Наполнение цистерн бочек сжиженными газами должно соответствовать норме	0,1	2	Высокий (ПБ 03-576-03, табл.16)
Итого по М07	1,0	-	Большой

“средне”, “хорошо” ... – всего 11 разрядов-оттенков), что позволяет унифицировать как качественные, так и количественные исходные данные [4]. Этот подход находит все большее применение при решении вопросов анализа риска.

После процедур оценки исходных факторов опасности и определения с помощью имитационной модели вероятности возникновения происшествия на опасном производственном объекте, возможна постановка задачи оптимизационного выбора предполагаемого комплекса мер безопасности на рассматриваемом объекте. Исходя из практического опыта, выделяются две возможные цели оптимизации:

1. При фиксированных ресурсах выбрать такой набор мер безопасности, чтобы снижение величины вероятности возникновения происшествия на опасном производственном объекте было максимальным.

2. Выбрать такой комплекс мер безопасности, чтобы уменьшить величину вероятности возникновения происшествия до допустимого уровня при минимальных затратах.

С помощью базы данных экспертной системы можно скорректировать функциональную зависимость $Q=f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, что позволит настраивать и применять имитационную модель для различных типов опасных промышленных объектов на различных этапах их жизненного цикла.

В целом реализация экспертной системы оценки техногенного риска опасных производственных объектов проводится по следующему алгоритму:

1. Выявление особенностей техногенных рисков в технически сложных производственных системах. Идентификация факторов, влияющих на безопасность человеко-машинных систем: определение возможных видов отказов составных частей и изделия в целом, изучение их при-

чины, механизмы и условия возникновения и развития; возможных неблагоприятных последствий возникновения выявленных отказов, провести качественный анализ тяжести последствий отказов и/или количественную оценку их критичности. Анализ технической документации

2. Разработка методики подготовки и использования данных для анализа рисков, работоспособности и диагностирования изделий для своевременного обнаружения и локализации его отказов, обосновывают необходимость введения дополнительных средств и методов сигнализации, контроля и диагностирования. Оценка достаточности предусмотренных в системе технологического обслуживания контрольно-диагностических и профилактических операций, направленных на предупреждение отказов изделий в эксплуатации, вырабатывают предложения по корректировке методов и периодичности технического обслуживания.

3. Изучение влияния анализа рисков на эффективное функционирование предприятий машиностроительного комплекса. Проведение анализа возможных (наблюдаемых) ошибок персонала при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте изделий, оценивают их возможные последствия, анализ совершенствования человеко-машинных систем. Систематизация данных в виде схем и таблиц.

4. Разработка критериев безопасности (пожарной, экологической, техногенной, санитарно-гигиенической) технически сложных производственных объектов.

5. Формирование нормативно-правовой базы по факторам безопасности исследуемых объектов

6. Экспертная оценка техногенного риска технически сложных производственных объектов. Использование метода Монте-Карло для количественной оценки вероятности возникновения происшествия в человеко-машинной системе.

7. Экспериментальное применение разработанной методики при анализе рисков.

Практическая значимость применения экспертной оценки техногенного риска технически сложных производственных объектов на предприятиях машиностроительного комплекса определяется повышением точности количественной оценки риска, появляется возможность одновременно учитывать десятки разрозненных входных параметров, используется большая база данных об объекте, снижается квалификационный уровень пользователя, уменьшается трудоемкость выполняемых оценочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Половко А.М., Гуров С.В.* / Основы теории надежности. 2-е изд., перераб и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 704 с.
2. *Соложенцев Е.Д.* Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб. : Издательский дом "Бизнес-пресса", 2004. 216 с.
3. *Кочеткова К.Е., Котляревский В.А., Забечаева А.В.* Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие. М.: АСВ, 2007. 210 с.
4. Оценка риска аварий на линейной части магистральных нефтепроводов / *М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров и др.* // Безопасность труда в промышленности. 1998. № 9. С. 50-56.

RISK ASSESSMENT TECHNOGENIC TECHNICALLY COMPLEX PRODUCTION FACILITIES ENGINEERING

© 2012 M.V. Kravtsova

Togliatti State University

We present an expert system for assessing the risk of man-made technically complex production facilities engineering, computational basis of which is a simulation model of the process emerged-collision accidents in the man-machine systems.

Key words: assessment of technological risk, hazardous facilities, failures, manmade hazards.