

Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов

А.И. ГРАЖДАНКИН (НТЦ «Промышленная безопасность»), П.Г. БЕЛОВ
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ устанавливает требования о необходимости анализа риска опасных производственных объектов. 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.

Во многих научных публикациях¹ 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, «поточные 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.

Сложившуюся ситуацию разрешит создание экспертной системы оценки техногенного риска опасных производственных объектов, вычислительным ядром 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.

Согласно энергоэнтропийной концепции аварийности и травматизма² и известному принципу неопределенности сложных систем Л. Заде, разработана логико-лингвистическая (имитационная) модель процесса возникновения происшествия, которая является своего рода компромиссом между точностью получаемых количественных оценок и неопределенностью исходных данных. Отличительные особенности рассматриваемой модели:

1. Имитация зарождения и обрыва причинной цепи предпосылок возникновения происшествия.

2. Учет до 30 факторов, влияющих на безопасность человеко-машинных систем (табл. 1).

3. Использование метода Монте-Карло для количественной оценки вероятности возникновения происшествия в человеко-машинной системе.

4. 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 (см. табл. 1) и вероятностью неблагоприятных событий в человеко-машинной системе Q , т.е.:

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

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.

¹ Хенли Э.Дж., Кунамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1984.

² Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. — М.: ГНТП «Безопасность», МИБ СТС. — 1996.

Таблица 1

Компонент	Код	Фактор опасности	«Возмущения»	
Рабочая среда	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	
Человек-оператор	H01	Пригодность по физиологическим показателям	0v1	
	H02	Технологическая дисциплинированность	0v2	
	H03	Качество приема и декодирования информации	0v1v2v3	
	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	0v1v2	
	H12	Самообладание в экстремальных ситуациях	0v1	
	H13	Обученность действиям в нестандартных ситуациях	0v1	
	H14	Точность корректирующих действий	0v1v2	
	Машина-оборудование	M01	Качество конструкции рабочего места оператора	0v1
		M02	Степень учета особенностей работоспособности человека	0v2
M03		Оснащенность источниками опасных и вредных факторов	2v0	
M04		Безотказность прочих элементов	0v1	
M05		Безотказность других ответственных элементов	0v2	
M06		Длительность действия опасных и вредных факторов	1v0	
M07		Уровень потенциала опасных и вредных факторов	1v0	
M08		Безотказность приборов и устройств безопасности	0v1	
Технология	T01	Удобство подготовки и выполнения работ	0v1	
	T02	Удобство технического обслуживания и ремонта	0v2	
	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	

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 (см. рисунок).

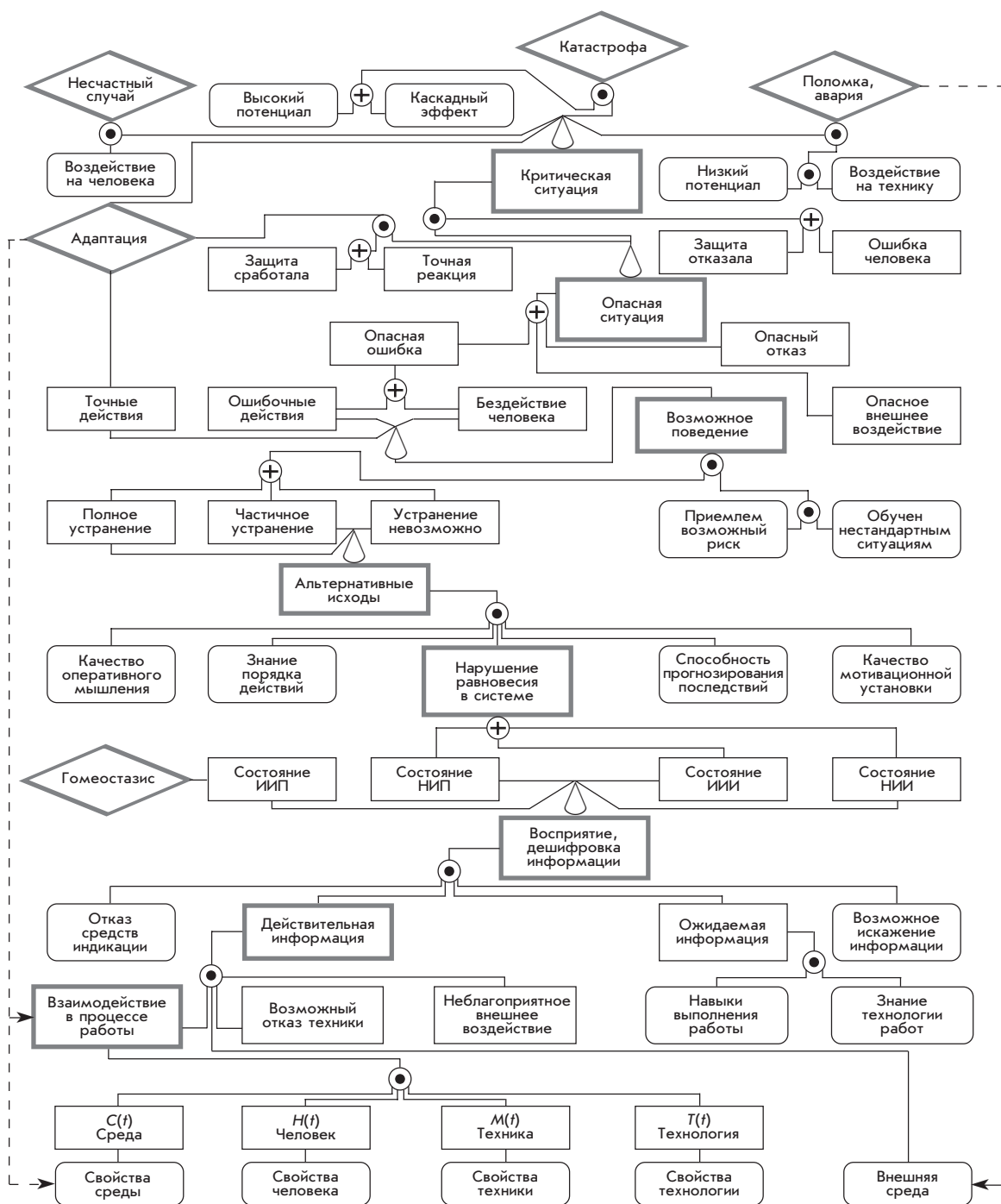
В частности, «возмущениями» в модели служат ошибки, отказы и неблагоприятные внешние воздействия, появление которых имитируется стохастическим выбросом в сеть (см. рисунок) определенной для каждого фактора числовой информации (см. последнюю колонку в табл. 1) с распределениями, зависящими от первоначальных оценок факторов опасности x_1, x_2, \dots, x_k . Такие «возмущения» в соответствии с логикой 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 благоприят-

ных и неблагоприятных исходов моделирования фиксируется, затем вычисляется частота возникновения происшествия.

Для формализации исходных данных по факторам опасности использована система балльных оценок, опирающаяся на универсальную лингвистическую шкалу («очень низко», «низко», «средне», «хорошо» ... — всего 11 разрядов-оттенков), что позволяет унифицировать как качественные, так и количественные исходные данные. Этот подход находит все большее применение при решении вопросов анализа риска¹.

Экспертная система при оценке факторов опасности позволяет выдавать пользователю необходимые разъяснения с опорой на действующие ГОСТы и нормативные документы. Например, для оценки фактора C01 «Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды» используется следующий набор производственных правил:

¹ 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.



Модель развития происшествий в человеко-машинной системе

ЕСЛИ Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны = 2,1 – 4,0 ПДК
И Эквивалентный уровень шума на рабочем месте = Превышение ПДУ до 10 дБ
И Электрические поля промышленной частоты = < ПДУ (для всего рабочего дня)
И Уровень общей вибрации = Допустимо

И Параметры световой среды = Вредно (1-я степень)
И Показатели микроклимата = Допустимо,
ТО Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды = Средняя.
 Заключительная лингвистическая оценка фактора С01 «Комфортность по физико-химическим пара-

Таблица 2

Фактические условия труда по Р 2.2.755—99	Оценка условий труда	
	по Р 2.2.755—99	лингвистическая
Более 1 фактора 4.0	4.0	Очень, очень низкая
1 фактор 4.0, более 1 фактора 3.4	4.0	Очень низкая
1 фактор 3.4, более 1 фактора 3.3	3.4	Низкая
1 фактор 3.3, более 1 фактора 3.2	3.3	Ниже среднего
1 фактор 3.2, более 2 факторов 3.1	3.2	Средняя
2 фактора 3.1	3.1	Выше среднего
1 фактор 3.1	3.1	Хорошая
Более 10 факторов 2.0	2.0	Очень хорошая
До 10 факторов 2.0	2.0	Высокая
Все факторы 1.0	1.0	Очень высокая

аммиака» оценивается согласно Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ и табл. 4, в которой приводится балльная и лингвистическая оценка запаса опасных веществ.

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:

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

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

Таблица 3

Составляющие фактора опасности М07	Значимость (0–1,0)	Оценка составляющей		
		балльная (0–10)	лингвистическая	средневзвешенная
Объем запасенного аммиака	0,3	9	Чрезвычайно большой (8000 т)	2,7
Класс опасности аммиака	0,15	4	Опасный (IV степень)	0,6
Рабочее напряжение электроустановок	0,1	8	Высокое (380 В)	0,8
Рабочее давление сжатых газов	0,1	4	Среднее (до 1,5 МПа)	0,6
Перепад высот	0,1	7	Очень большой (до 25 м)	0,7
Механическая энергия подвижных элементов	0,1	6	Большая	0,6
Взрыво-, пожароопасность	0,15	2	Низкая	0,3
Итого по М07	$\Sigma=1,0$	—	Большой	6,3

Таблица 4

метрам рабочей среды» для конкретного опасного производственного объекта определяется с помощью Р 2.2.755—99 «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» и сводной табл. 2.

Отметим, что не все факторы опасности поддаются подобной однозначной лингвистической оценке. В табл. 3 представлен пример балльной оценки фактора опасности М07 «Уровень потенциала опасных и вредных факторов» для конкретного опасного производственного объекта — изотермического хранилища жидкого аммиака.

Балльные и лингвистические оценки каждой составляющей фактора опасности (см. табл. 3) выбираются в соответствии с нормативными документами. Например, составляющая «Объем запасенного

Предельное количество опасных веществ	Оценка запаса	
	балльная	лингвистическая
Отсутствует	0	Отсутствует
Менее 0,0003	1	Пренебрежительно малый
0,0003–0,001	2	Очень малый
0,001–0,003	3	Малый
0,003–0,01	4	Ниже среднего
0,01–0,3	5	Средний
0,3–1	6	Выше среднего
1–3	7	Большой
3–10	8	Очень большой
10–30	9	Чрезвычайно большой (огромный)
Более 30	10	Катастрофически большой

Для решения вышеприведенных оптимизационных задач при их высокой вычислительной емкости в экспертной системе используются алгоритмы динамического программирования.

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 (емкости с опасными веществами, баллоны под давлением, грузоподъемные машины и т.д.) на различных этапах их жизненного цикла.

В настоящее время концепция описанной выше экспертной системы реализована в виде программного комплекса technoHAZARD 2.0, который разработан в рамках федеральной целевой научно-технической подпрограммы «Безопасность населения

и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф». Программа работает под управлением операционной системы Windows 9x и имеет доступный интерфейс. Типичный уровень пользователя соответствует примерно уровню инженера по технике безопасности.

Экспертный программный комплекс technoHAZARD 2.0 прошел апробацию при выработке и оценке мер безопасности на Московской железной дороге, при оценке возможности возникновения аварийной ситуации на складе хлора на проектируемом заводе по производству йода в Краснодарском крае, при сравнительном анализе реконструктивных мероприятий на изотермическом хранилище жидкого аммиака в ОАО «Невинномысский Азот» в Ставропольском крае.



Возмещение вреда работнику за увечье будет стоить Вам дороже, чем применение визуальных систем безопасности, производимых заводом *Лит*

Мы предлагаем

Комплекты пиктограмм и знаков безопасности на любых материалах, в том числе с использованием люминофорных и флуоресцентных красок...

Дорожные знаки на самоклеящейся световозвращающей пленке со сроком эксплуатации до 7 лет...

Оградительные ленты и подземные предостерегающие ленты с печатью...

Печатную продукцию, выполненную на самоклеящихся полиэфирных, поливинилхлоридных пленках, различных видах пластика, металле, стекле, бумаге...

Многоцветную печать на спецодежде...

А также материалы для строительства: Тепло-, шумоизоляционные материалы «ПЕНОФОЛ» и «АРМОФОЛ» (отражающая изоляция), фольгу самоклеящуюся, уплотнитель оконных и дверных проемов «ЛИНОТЕРМ», электрический пленочный нагреватель «ТЕПЛЫЙ ПОЛ»



152140,
Ярославская обл.,
г. Переславль - Залесский,
ул. Советская, 1;
тел.: (08535) 216-39,
206-50, 207-04
факс: (08535) 222-66;
e-mail: lit@lit.botik.ru
url: www.botik.ru/lit