



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2
2001

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ БЖД

Сорокин Ю.Г. О состоянии и проблемах охраны труда в Российской Федерации	2
Гражданкин А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов	6

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Игнатьев Е.Б., Попов Г.В. Об обеспечении техногенной безопасности электротехнических объектов (на примере силовых трансформаторов) ..	11
Долматов Л.В., Кутуков И.Е., Серковская Г.С. Замена высокотоксичных связующих и пропитывающих материалов каменноугольного происхождения на нефтяные аналоги	14

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Гарин В.М., Клёнова И.А., Хвостиков А.Г. Твердые отходы и экологическая безопасность городов	17
Ксенофонов Б.С., Бойченко В.А. Флотационная очистка сточных вод	20
Кузнецова Е.А., Корячкина С.Я., Шахпендарян Е.А., Сухова Т.Г., Новицкая Е.А. Содержание тяжелых металлов в зерновом сырье и безопасность хлебобулочной продукции	25

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Баринов А.В., Федоренко В.Н., Ишимов И.Ш. Гражданская оборона как элемент системы гражданской защиты	28
Акимов В.А., Радаев Н.Н. Методический аппарат исследования природного и техногенного рисков	34

ОБРАЗОВАНИЕ

Белов С.В., Девисилов В.А., Лапин В.Л. Программа дисциплины "Безопасность жизнедеятельности"	39
---	----

ИНФОРМАЦИЯ

Государственный стандарт по гражданской обороне	47
Перечень стандартов комплекса "Безопасность в чрезвычайных ситуациях"	48

Редакционный совет:

АЛЕКСЕЕВ Б.Н.
МЕШАЛКИН Е.А.
НОВИКОВ В.Д.
ПОРЯДИН А.Ф.
СОРОКИН Ю.Г.
УШАКОВ И.Б.
ФЕДОРОВ М.П.
ШАДРИКОВ В.Д.
ШАХРАМАНЬЯН М.А.

Главный редактор
БЕЛОВ С.В.

Зам. гл. редактора
ДЕВИСИЛОВ В.А.

Редакционная коллегия:

АНТОНОВ Б.И.
БАРИНОВ А.В.
ГЕРАСЬКИН В.И.
ЗАБЕГАЕВ А.В.
ЗЕНЦОВ И.И.
ИВАНОВ Н.И.
КРАСНОГОРСКАЯ Н.Н.
КУКУШКИН Ю.А.
ЛАПИН В.Л.
МАСТРЮКОВ Б.С.
МЕДВЕДЕВ В.Т.
ПОЛАНДОВ Ю.Х.
ПОПОВ В.М.
ПРОНИН И.С.
ПРУСЕНКО Б.Е.
РУСАК О.Н.
СИНЕВ А.В.
СОКОЛОВ Э.М.
ТИШКОВ К.Н.
ТОПОЛЬСКИЙ Н.Г.
ТУНАКОВА Ю.А.
ФАЙНБУРГ Г.З.
ЦХАДАЯ Н.Д.
ЧЕРЧИНЦЕВ В.Д.
ШВАРЦБУРГ Л.Э.
ШЛЫКОВ В.Н.



УДК 613.6

А.И. Гражданкин, инж.,
НТЦ "Промышленная безопасность"
Госгортехнадзора России

Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов

Предложена экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов, ядром которой является имитационная модель возникновения происшествий в человеко-машинных системах.

Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21 июля 1997 г. (ФЗ № 116 от 21.07.97) предусматривает требования о необходимости анализа риска опасных производственных объектов. В "Методических указаниях по проведению анализа риска..." РД 08-120-96 содержится общая методология оценки риска, которая включает анализ частоты, анализ последствий неблагоприятных событий и анализ неопределенностей результатов, а также отмечается, что меры уменьшения вероятности аварии должны иметь приоритет над мерами уменьшения 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). Ниже и мы будем пользоваться такими упрощениями.

К сожалению, известные и рекомендуемые к применению в нормативных документах методики количественной оценки техногенного риска (например "поточные графы", "деревья происшествий") имеют ряд существенных недостатков. 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, и как следствие, количественная оценка техногенного риска опасных производственных объектов зачастую подменяется простыми видами качественного анализа.

Сложившуюся ситуацию может разрушить создание экспертной системы оценки техногенного риска опасных производственных объектов, вычислительным ядром которой является имитационная модель процесса возникновения происшествий в человеко-машинных системах.

Такое моделирование, в известной степени, менее чувствительно к неточности и нечеткости исходных данных, а также позволяет одновременно учитывать десятки разрозненных входных параметров. В свою очередь, сама экспертная система позволяет снизить квалификационный уровень пользователя, а также уменьшить трудоемкость выполняемых оценочных работ.

Опираясь на энергоэнтропийную концепцию аварийности и травматизма² и известный принцип неопределенности сложных систем Л. Заде, разработана логико-лингвистическая (имитационная) модель процесса возникновения происшествий, которая является своего рода компромиссом между точностью получаемых количественных оценок и неопределенностью исходных данных. Отличительными особенностями рассматриваемой модели являются:

- 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, адаптации 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 основных этапов операторской деятельности, к которым относятся:

- 1) восприятие и дешифровка информации о ходе выполнения операции;
- 2) структурирование и стратификация полученных данных;
- 3) обнаружение отклонений процесса от требований технологии;
- 4) оценка необходимости и способов вмешательства человека;
- 5) сравнение альтернативных действий и выбор из них конкурентоспособных;
- 6) определение степени их приемлемости и эффективности;

¹См., например, Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение. 1984.

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



Таблица 1

Состав и характеристики учитываемых факторов опасности

Компонент	Код	Наименование фактора опасности	"Индекс опасности"	Компонент	Код	Наименование фактора опасности	"Индекс опасности"
Рабочая среда	C01	Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды	0v1	Машина-оборудование	M01	Качество конструкции рабочего места оператора	0v1
	C02	Качество информационной модели о состоянии среды	0v2		M02	Степень учета особенностей работоспособности человека	0v2
	C03	Возможность внешних опасных воздействий	2v0		M03	Оснащенность источниками опасных и вредных факторов	2v0
	C04	Возможность внешних неблагоприятных воздействий	1v0		M04	Безотказность прочих элементов	0v1
Человек-оператор	H01	Пригодность по физиологическим показателям	0v1		M05	Безотказность других ответственных элементов	0v2
	H02	Технологическая дисциплинированность	0v2		M06	Длительность действия опасных и вредных факторов	1v0
	H03	Качество приема и декодирования информации	0v1v2v3		M07	Уровень потенциала опасных и вредных факторов	1v0
	H04	Навыки выполнения работы	0v1		M08	Безотказность приборов и устройств безопасности	0v1
	H05	Качество мотивационной установки	0v1	Технология	T01	Удобство подготовки и выполнения работ	0v1
	H06	Знание технологии работ	0v1		T02	Удобство технического обслуживания и ремонта	0v2
	H07	Знание физической сущности процессов в системе	0v1		T03	Сложность алгоритмов оператора	1v0
	H08	Способность правильно оценивать информацию	0v1		T04	Возможность появления человека в опасной зоне	1v0
	H09	Качество принятия решения	0v1v2		T05	Возможность появления других незащищенных элементов в опасной зоне	1v0
	H12	Самообладание в экстремальных ситуациях	0v1		T06	Надежность технологических средств обеспечения безопасности	0v1
	H13	Обученность действиям в сложных условиях обстановки	0v1				
	H14	Точность корректирующих действий	0v1v2				

7) принятие и реализация решения на корректировку операции при необходимости.

В самом общем виде работу имитационной модели можно свести к нахождению точечного значения функциональной зависимости между оценками факторов опасности, которые отобраны исходя из результатов статистической обработки данных по аварийности и травматизму (см. табл. 1), и вероятностью Q неблагоприятных событий в человеко-машинной системе, т.е.

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (2)$$

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 особенностями:

1. Производственная деятельность человека потенциально опасна, так как связана с энергопотреблением (выработкой, хранением, преобразованием тепловой, механической, электрической, химической и других видов энергии).
2. Производственная опасность проявляется в результате несанкционированного или неуправляемого выхода энергии, накопленной в технологическом оборудовании (происшествие).
3. Возникновение происшествий является следствием развития причинной цепи предпосылок, инициаторами и составными частями которой являются ошибочные действия работающих, неисправности и отказы технологического оборудования, а также нерасчетные воздействия на них внешних факторов.

ных событиях – I_a , I_6 , I_b). Число благоприятных и неблагоприятных исходов моделирования фиксируется и затем по их отношению вычисляется частота возникновения происшествий.

Для формализации исходных данных по факторам опасности нами 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. Такой подход находит все большее применение при решении вопросов анализа риска¹.

Применение экспертной системы при оценке факторов опасности позволяет выдавать пользователю необходимые разъяснения с опорой на действующие ГОСТы и нормативные документы. Например, для оценки фактора С01 "Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды" используется следующий набор продукционных правил:

ЕСЛИ Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны = 2,1...4,0 ПДК

И Эквивалентный уровень шума на рабочем месте = Превышение ПДУ до 10 дБА

И Электрические поля промышленной частоты = < ПДУ (для всего рабочего дня)

И Уровень общей вибрации = Допустимо

И Параметры световой среды = Вредно (1 степень)

И Показатели микроклимата = Допустимо

ТО Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей Среды = **СРЕДНЯЯ**.

Заключительная лингвистическая оценка фактора С01 для конкретного опасного производственного объекта определяется с помощью Р 2.2.755–99 "Гигиени-

ческие критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса" и сводной табл. 2.

Необходимо отметить, 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.

Таблица 2

Лингвистическая оценка С01 "Комфортности по физико-химическим параметрам рабочей среды"

Фактические условия труда по Р 2.2.755–99	Оценка условий труда по Р 2.2.755–99	Лингвистическая оценка
>1 фактора 4,0	4,0	Очень, очень низкая
1 фактор 4,0 >1 фактора 3,4	4,0	Очень низкая
1 фактор 3,4 >1 фактора 3,3	3,4	Низкая
1 фактор 3,3 >1 фактора 3,2	3,3	Ниже среднего
1 фактор 3,2 >2 факторов 3,1	3,2	Средняя
2 фактора 3,1	3,1	Выше среднего
1 фактор 3,1	3,1	Хорошая
>10 факторов 2,0	2,0	Очень хорошая
До 10 факторов 2,0	2,0	Высокая
Все факторы 1,0	1,0	Очень высокая

Таблица 3

Лингвистическая оценка М07 "Уровень потенциала опасных и вредных факторов"

Составляющие фактора опасности М07			Оценка составляющей		
№ п/п	название	вес	балльная (0...10)	лингвистическая	средне-взвешенная
1	Объем запасенного аммиака	0,3	9	Чрезвычайно большой (8000 т)	2,7
2	Класс опасности аммиака	0,15	4	Опасный (IV степень)	0,6
3	Рабочее напряжение электроустановок	0,1	8	Высокое (380 В)	0,8
4	Рабочие давления сжатых газов	0,1	4	Среднее (до 1,5 МПа)	0,6
5	Перепад высот	0,1	7	Очень большой (до 25 м)	0,7
6	Механическая энергия подвижных элементов	0,1	6	Большая	0,6
7	Взрыво-пожароопасность	0,15	2	Низкая	0,3
ИТОГО по М07		$\Sigma = 1,0$	–	БОЛЬШОЙ	6,3

¹Оценка риска аварий на линейной части магистральных нефтепроводов / М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров и др. // Безопасность труда в промышленности. 1988. № 9. С. 50–56.



Балльные и лингвистические оценки каждой составляющей фактора опасности (см. табл. 3) выбираются с опорой на соответствующие нормативные документы. Например, составляющая "Объем запасенного аммиака" оценивается согласно № 116-ФЗ от 21.07.97 и табл. 4.

Таблица 4

Балльная и лингвистическая оценка "Запаса опасных веществ"

Запас опасных веществ	Оценка	
	балльная	лингвистическая
Отсутствие	0	Отсутствие
Менее 0,0003 ПКОВ*	1	Пренебрежительно малый
От 0,0003 до 0,001 ПКОВ	2	Очень малый
От 0,001 до 0,003 ПКОВ	3	Малый
От 0,003 до 0,01 ПКОВ	4	Ниже среднего
От 0,01 до 0,3 ПКОВ	5	Средний
От 0,3 до 1 ПКОВ	6	Выше среднего
От 1 до 3 ПКОВ	7	Большой
От 3 до 10 ПКОВ	8	Очень большой
От 10 до 30 ПКОВ	9	Чрезвычайно большой (огромный)
Более 30 ПКОВ	10	Катастрофически большой

* ПКОВ – Предельное количество опасных веществ по № 116-ФЗ от 21.07.97.

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:

- При фиксированных ресурсах выбрать такой набор мер безопасности, чтобы снижение величины вероятности возникновения происшествия на опасном производственном объекте было максимальным.
- Выбрать такой комплекс мер безопасности, чтобы уменьшить величину вероятности возникновения происшествия до допустимого уровня при минимальных затратах.

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

С помощью базы данных экспертной системы можно скорректировать функциональную зависимость $Q = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, что позволяет 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 МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках Федеральной целевой

подпрограммы "Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф". Программа работает под управлением операционной системы Windows 9x и имеет интерфейс (рис. 2). Типичный уровень соответствует подготовке 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 реконструкционных мероприятий на изотермическом хранилище жидкого аммиака на ОАО "Невинномысский Азот" в Ставропольском крае.

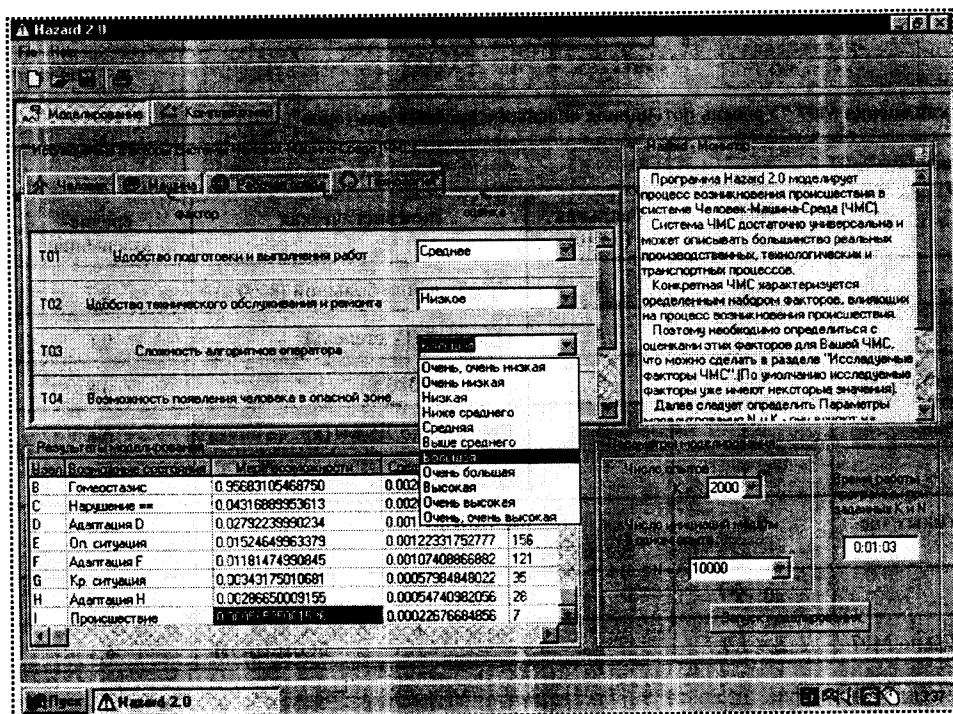


Рис. 2. Интерфейс экспертного комплекса technoHAZARD 2.0