УДК 004.7; 004.8; 007.85

А.Я. КУЗЁМИН, И.Н. КЛИМОВ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ

Рассматривается технология оценки техногенных рисков при функционировании предприятий, представляющих повышенную опасность для окружающей среды. Исследуются вопросы построения модели, описывающей деятельность подобных предприятий и методы прогнозирования и оценки рисков на этой модели.

1. Введение

Бурное развитие в последнее время методов количественного и качественного анализа рисков привело к формированию большого количества систем оценки риска не только на декларативном уровне, но и на уровне анализа имеющейся базы функционирования объекта (как природного, так и техногенного) с применением методов математической статистики. Подобные подсистемы обычно включают в себя подсистемы сбора информации, предварительной обработки (в частности с применением инструментария Data Mining), хранения полученных данных (для исследования динамики развития ситуации) и знаний (для оценки уровней приемлемости рисков и осуществления управления подобными рисками). Управление рисками (риск-менеджмент) сейчас является актуальным аспектом функционирования предприятий, связывая воедино экономические, экологические, человеческие и прочие риски. Внедрение систем риск-менеджмента позволяет лицу, принимающему решения (ЛПР) в короткие сроки оценивать эффективность принятых решений по обеспечению безопасности работ, их экономическую целесообразность и динамику изменений рисков и возникновения чрезвычайных ситуаций на протяжении существенного временного диапазона.

Основной проблемой при использовании подобных систем является их полная автономность – каждый производитель ПО осуществляет оценку риска в собственной системе, что затрудняет в случае сложных оценок (оценок предприятий с повышенным риском загрязнения окружающей среды, мониторинг территорий, на которых возможны различные типы чрезвычайных ситуаций) проведение общей процедуры оценивания риска, т.е. сравнения его прогнозируемых или реально достигнутых количественных показателей с соответствующими критериями в целях принятия решения о приемлимости риска и необходимости вмешательства в процесс обеспечения безопасности.

Целью данной работы является разработка методики построения общей процедуры оценивания техногенного риска с использованием методов математической статистики. Разработанная методика должна учитывать большинство существующих методов и моделей оценки техногенных рисков и предоставлять математический аппарат для предварительной оценки приемлемости рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на производстве.

Задачей исследования является анализ исходных понятий и предпосылок к оцениванию степени приемлемости техногенных рисков, анализ представления рисков в системе «человек» – «машина» – «среда» (ЧМС) и формирование концепции прогноза, оценивания и оптимизации техногенного риска.

2. Базовые сущности системы для построения эффективной модели оценки рисков

В качестве основы для построения системы оценки рисков были выбраны следующие исходные понятия и предположения:

– понятие «**опасность»** рассматривается как возможность причинения ущерба кому- (чему-) либо от чего- (кого-) нибудь, а «**безопасность»** – как атрибут гарантированного сохранения живучести системы, включающей в себя не менее одного источника опасности (носителя какой-либо угрозы) и его потенциальной жертвы (объекта возможного причинения ущерба)[1];

– деятельность оцениваемого предприятия (комплекса) можно рассматривать и интерпретировать в виде функционирования соответствующих человекомашинных систем, опасность которых обусловлена стремлением таких систем к динамическому равновесию и возможностью нахождения их компонентов в неравновесных состояниях;

– измеряемая риском опасность функционирования человекомашинных систем реализуется при возникновении в них происшествий, которые сопровождаются значительным приростом энтропии этих систем в ее информационной, статистической, термодинамической и прочих интерпретациях.

Исходя из этого можно считать, что **объектом** оценивания степени приемлемости техногенного риска должны быть системы «человек-машина-среда» (ЧМС), а **предметом** соответствующей деятельности – использование объективных закономерностей возникновения и снижения техногенного ущерба в целях:

1) выявления вклада в эти закономерности разных частей ЧМС-систем для устранения или усиления их «слабых» (в смысле безопасности) элементов;

2) априорной количественной оценки риска ущерба от техногенных происшествий (техногенного риска) и сравнения его величины с заданным или желаемым (приемлемым) значением;

3) оценки необходимости в реализации управляющих воздействий, направленных на снижение или поддержание техногенного риска на приемлемом уровне.

Обоснованность выбора ЧМС-системы в качестве объекта при оценивании приемлемости техногенного риска аргументирована также следующими доводами:

– данная система включает в себя и источник опасности (обычно это «машина»), и потенциальную жертву (чаще всего – «человек» и/или окружающая его «среда»);

– функционирование ЧМС-системы есть использование человеком техники в определенной рабочей среде (безлюдные и не использующие технику процессы – частные случаи);

– в ЧМС-системе содержатся носители всех типов предпосылок к техногенным происшествиям: «человек» – ошибок, «машина» – отказов, «среда» – нерасчетных (неожиданных или превышающих допустимые пределы) внешних воздействий.

3. Модель функционирования системы

Наиболее общая модель функционирования выбранного объекта представлена на рис. 1, которая включает в себя технологическое оборудование («М-машину»), эксплуатирующий его персонал («Ч-человека»), рабочую среду («С-среду»), взаимодействующих между собой по заданной технологии и при установленной организации (порядке подготовки и проведения) работ – «Т-технология». Кроме перечисленных основных компонентов, модель системы включает также связи между ними и с окружающей систему средой. Эти связи изображены стрелками, двойными линиями и соприкосновением перечисленных частей системы, а границы, отделяющие ее от внешней среды, – прямоугольником.

В модели функционирования выбранного объекта использованы также векторные обозначения: I(t) – входные воздействия на ЧМС-систему (выделенные ресурсы, требуемые условия работ, заданные функции, установленные интервалы времени,), S(t) – ее состояния («условно безопасное», «опасное», «предаварийное», «аварийное», «поставарийное»), E(t) – выходные воздействия системы на окружающую среду (полезные и вредные результаты функционирования).

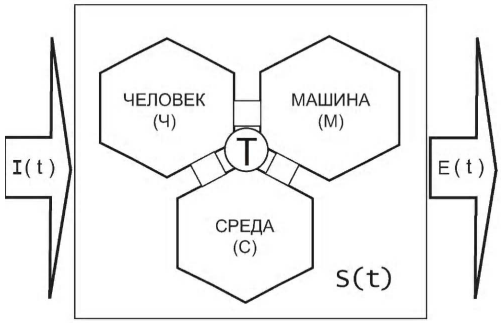

Рис. 1. Модель ЧМС для оценивания техногенного риска

При этом проводимые на предприятии технологические процессы могут быть декомпозированы на соответствующие операции, каждая из которых интерпретируется функционированием ЧМС-системы по конкретной технологии.

Внешней (для конкретной ЧМС-системы) средой является все то, что непосредственно не входит в нее, но может влиять на процесс функционирования или изменяться под его воздействием: органы и коммуникации снабжения, управления и получения продукции, другие взаимодействующие силы и средства, а также метеорологические и иные внешние факторы в месте дислокации потенциально опасного производства. Необходимость отделения рабочей среды от внешней обусловлена необходимостью учета неодинаковости их влияния на функционирование различных ЧМС-систем, выбранных в качестве объекта оценивания приемлемости техногенного риска [2].

Изложенные предпосылки позволяют ввести пять базовых категорий, связанных с оцениванием степени приемлемости риска и обеспечением безопасности техногенного характера, а также дать их рабочие определения.

Опасность – свойство ЧМС-системы, определяющее при ее функционировании возможность причинения ущерба людским, материальным и природным ресурсам по причине внезапных и непрерывных выбросов, обращающихся в системе энергии и вещества.

Ущерб – мера или результат изменения состояния материальных объектов, характеризуемого таким нарушением целостности или иным ухудшением способности выполнять основное предназначение, которые обусловлены их естественным износом либо возникновением происшествий.

Происшествие – событие, повлекшее появление ущерба вследствие резкого изменения свойств материальных объектов и/или их окружения и обусловленное разрушительным воздействием потоков энергии или вещества на незащищенные элементы ЧМС-системы и/или окружающую среду. К основным видам техногенных происшествий относятся: авария, несчастный случай, разлив нефти и нефтепродуктов, пожар, сверхнормативное загрязнение окружающей среды, техногенная чрезвычайная ситуация и др.

Безопасность – свойство ЧМС системы сохранять при функционировании в заданных условиях такие состояния, при которых с приемлемой (достаточно высокой) вероятностью исключаются происшествия, а ущерб от непрерывных выбросов обращающихся в системе энергии и вещества не превышает допустимого.

Риск – мера опасности, характеризующая как возможность (вероятность) причинения техногенного ущерба, так и его величину (тяжесть).

4. Анализ существующих методов оценки и прогнозирования техногенных рисков

Важное место в количественном прогнозе и оценке приемлемости техногенного риска, связанного с созданием, эксплуатацией и ликвидацией опасных производств, принадлежит не только соответствующим методам прогноза и оценки, но и выбираемым количественным показателям. При этом обоснование состава таких показателей должно проводиться с учетом следующих основных требований:

а) четкий физический смыл и универсальность,
б) связь с качеством и продолжительностью функционирования ЧМС-системы,
в) учет всех существенных свойств ее основных компонентов,
г) чувствительность к изменению параметров каждого из них,
д) возможность оценки объективными методами,
е) пригодность к использованию в качестве оптимизируемых параметров, ограничений и критериев оптимизации.

Для непосредственно осуществления прогнозирования возможно применение различных методов, которые могут быть разделены на несколько классов:

1. Логико-вероятностные модели, интерпретирующие различные варианты возникновения и развития происшествий в виде диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево» («дерево отказа», «дерево событий»), «граф» (потоковый либо состояний и переходов), «сеть» (стохастической структуры - К. Петри или GERT). После дальнейшей формализации они позволяют получать математические соотношения (структурные функции алгебры событий и расчетные вероятностные многочлены), удобные для проведения системного анализа процесса возникновения техногенного ущерба и прогноза техногенного риска.

2. Аналитические модели: а) параметрические формулы типа полуэмпирического уравнения М. Садовского для перепада давлений в атмосфере или гауссова модель рассеяния в ней вредных веществ; б) интегральные модели, базирующиеся на законах сохранения массы и энергии и описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями; в) модели, построенные на представлении параметров состояния или энергомассообмена в их оригинальном виде и реализуемые системами дифференциальных уравнений в частных производных.

3. Методы логико-лингвистического, имитационного, статистического и численного моделирования, основанные на использовании случайных (в том числе, нечетко определенных) распределений параметров совокупности различных моделей и учете непрерывно меняющихся факторов ЧМС-систем и окружающей их среды.

С точки зрения предназначения или области применения вышеперечисленные модели и методы могут быть распределены по пяти основным этапам причинения техногенного ущерба: 1) возникновение и развитие причинной цепи предпосылок происшествия, необходимых и достаточных для начала неконтролируемого выброса энергии и/или вещества; 2) истечение; 3) распространение и 4) трансформация соответствующих потоков энергии и/или вещества в окружающей среде; 5) воздействие поражающих факторов, обусловленных неконтролируемым выбросом энергии и/или вещества на незащищенные людские, материальные и природные ресурсы.

Наибольший практический интерес для прогноза риска аварий представляют модели: а) образования причинной цепи предпосылок аварии; б) источника выброса опасного вещества; в) истечения газообразных, жидких или двухфазных опасных веществ; г) распространения энергии и массы в несущей среде или растекание и межсредный перенос опасного вещества; д) вскипания сжиженного газа или перегретой жидкости; е) физико-химического превращения опасных веществ с интенсивным энерговыделением и образованием полей поражающих факторов; ж) реципиентов поражающих факторов; з) поражения вида «доза-эффект» [3].

5. Обобщенный метод оценки и прогнозирования техногенных рисков

Базовым показателем, наиболее полно характеризующим меру опасности и пригодным для эффективного риск-менеджмента на предприятиях, может служить математическое ожидание $M_\tau[Y]$ величины социально-экономического ущерба техногенного характера от возможных в течение заданного времени τ происшествий и непрерывных вредных выбросов. В качестве других показателей, необходимых для оценки результативности функционирования как системы обеспечения безопасности так и менеджмента риска, могут быть следующие:

$Q[\tau]$ – вероятность возникновения хотя бы одного происшествия конкретного типа (авария, несчастный случай и др.) за время τ;

$M_\tau[Z]$ – ожидаемые средние задержки времени приостановки технологического процесса вследствие возможных происшествий;

$M_\tau[S]$ – ожидаемые в это же время средние затраты на предупреждение и снижение тяжести происшествий и непрерывных вредных выбросов.

Учитывая массовый характер проведения однотипных процессов на предприятии, а также достаточно развитую систему сбора информации об аварийности и травматизме, использование выбранных показателей для апостериорной количественной оценки техногенного риска и принятия решения о степени его приемлемости, как правило, не вызывает принципиальных трудностей. Для этого достаточно регистрировать: а) интенсивность и длительность проводимых процессов, б) расходы и трудозатраты на обеспечение безопасности, в) количество и тяжесть имевших место происшествий, и затем проводить расчеты по статистическому оцениванию выбранных показателей и сравнивать их с требуемыми или желаемыми значениями.

Значительно сложнее проводить априорную оценку предложенных показателей, поскольку это требует комплекса моделей, связывающих выбранные показатели не только с параметрами конкретных ЧМС-систем, но и окружающей их внешней средой. Для преодо-

ления этих трудностей иногда целесообразно оперировать понятием “средний ожидаемый ущерб” от техногенного происшествия конкретного типа за определенное время эксплуатации потенциально опасного производства. С учетом подобных допущений величина среднего ожидаемого ущерба, причинённого людским, материальным и природным ресурсам за некоторый период времени τ эксплуатации, может быть оценена по следующей формуле (по «источнику опасности»):

$$R_\tau = M_\tau[Y] = \sum_{a=1}^{m}\sum_{b=1}^{k} Q_{ab}^1 Y_{ab}^1 + \sum_{a=1}^{m}\sum_{b=1}^{k} Q_{ab}^2 Y_{ab}^2 + \sum_{v=1}^{n} Q_v Y_v \,, \qquad (1)$$

где a = 1..m – число типов возможных техногенных происшествий: авария (a=1), несчастный случай (a=2), пожар (a=3) – форм причинения прямого и косвенного ущерба людским, материальным и природным ресурсам; b = 1,...,k – число предполагаемых сценариев возникновения и развития различных типов происшествия (как правило, наиболее вероятных и наиболее тяжелых по последствиям); Q_{ab}^1, Y_{ab}^1,Q_{ab}^2, Y_{ab}^2 – вероятность возникновения за время τ происшествия конкретного вида и размер обусловленного им прямого (1) и косвенного (2) ущерба соответственно; v = 1,...,n – число видов непрерывных и/или систематических вредных энергетических (шум, вибрация, электромагнитные излучения) и материальных (загрязняющие вещества, отходы) выбросов при эксплуатации технологии; Q_v, Y_v – вероятности появления за время τ каждого типа непрерывных или систематических вредных выбросов и размеры возможного от них прямого и косвенного ущерба.

Подобная статистика может быть получена путем статистического анализа и экспертных оценок на основании данных о функционировании предприятия.

Использование подобной оценки позволяет численно охарактеризовать вероятности возникновения рисков в подобной системе. Используемый унифицированный критерий позволяет эффективно оценивать меру риска. Также, используя данные о том, как внедрение той или иной технологии снижает вероятности и размеры ущербов Q_{ab}^1, Y_{ab}^1,Q_{ab}^2, Y_{ab}^2 соответственно, ЛПР может количественно оценивать эффективность принимаемых мер.

6. Выводы

Предложенная концепция прогноза и оценивания техногенного риска обеспечивает возможность эффективного риск-менджмента на предприятии, путем организации соответствующих служб по надзору за статистически значимыми параметрами, учавствующими в модели и групп реагирования, позволяющих эффективно снижать риск путем проведения плановых/внеплановых работ при возникновении повышенных интегральных значений риска. Таким образом, обеспечивается защита от потенциальных потерь и подготовленность персонала к потенциальным ЧС на производстве.

Список литературы: 1. *Белов П.Г.* Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г.Белов. М.: Академия, 2003. 512 с. **2.** *Drenick K.* A mathematical theory of organization. Acad. Press. 1986. 340 p. 3. Гражданкин, А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов/А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Безопасность труда в промышленности. 2000. № 11. С. 6–10.

Поступила в редколлегию 18.08.2010

Кузёмин Александр Яковлевич, д-р техн. наук, проф. кафедры информатики, начальник инновационно-маркетингового отдела ХНУРЭ. Научные интересы: управление рисками, геоинформационные системы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8(057)702-15-15,e-mail:kuzy@kture.kharkov.ua

Климов Илья Николаевич,аспирант кафедры информатики. Научные интересы: системы реального времени, мониторинг. Адрес: Украина, 61189, Харьков, ул. Мира 118, кв. 55, тел.: 8(0572)99-28-55, e-mail:illya.klymov@gmail.com