

3. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси»). – М.: НТЦ «Пром. безопасность», 1993. – 19 с.
4. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. ПБ 09-540-03. Вып. 11.-М.: Науч. -техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 108 с.
5. Методика расчета распространения аварийных выбросов основанная на модели рассеивания тяжелого газа //Безопасность труда в промышленности. 2004. №9, С.38-42.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
7. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Єсипенко А.Д., Жартовський В.М., Найверт О.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки.–Тернопіль: Видавництво Астон, 2005.–408 с.
8. Беленький М.А. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л.: Медгиз, 1963. – 152 с.

УДК 519.2.003.12:331.461.2

*Шматко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Малежик А.В., ад'юнкт, УГЗУ*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(представлено д-ром техн. наук Яковлевой Р.А.)

В работе предлагается использование вероятностно-детерминистических моделей для оценки последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах химической промышленности. Исследование предложенных моделей позволит решать задачу оценки распространения внешних воздействий по структурным компонентам объекта, а также учесть влияние воздействия чрезвычайных ситуаций на качественное состояние элементов объекта

Постановка проблемы. Для сложных технических систем, к которым относятся объекты химической промышленности, акту-

Шматко А.В., Малежик А.В.

альной проблемой является достоверное и своевременное предвидение, прогнозирование и предотвращение чрезвычайных (ЧС) и других нежелательных ситуаций, которые могут привести к нештатному режиму, аварии, катастрофе или существенно повлиять на работоспособность, живучесть, безопасность, эффективность и др. свойства таких объектов. Возможность появления и результаты действий ЧС, условий и факторов определяется случайными и хаотическими процессами, которые по механизмам воздействия характеризуются, как риски.

Анализ последних исследований и публикаций. Так как объекты химической промышленности относятся к системам, подверженным риску возникновения ЧС, то актуальным является разработка адекватных математических моделей, которые позволяют оценивать надежность системы в целом, прогнозировать ее поведение под влиянием поражающих факторов ЧС. Также актуальными является разработка методов повышения или сохранения сопротивляемости систем, функционирующих в условиях поражающих воздействий ЧС.

Моделирование поведения сложных систем позволяет исследовать особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения ЧС. Важнейшую роль в формальном представлении сложных систем играет структура — порядок межэлементных связей системы [1]. В последнее время для моделирования систем со сложной структурой используются методы теории взвешенных графов [2], что позволило обнаружить ряд эффектов самоорганизации в поведении систем и прийти к выводу, что от структуры системы зависит ее живучесть. В этих условиях, важно прогнозировать какие именно изменения в структуре приведут к улучшению или ухудшению параметров функционирования объекта.

Как отмечается в работах В. Маршалла, Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото, Н.П. Бусленко, П.Г. Белова и др. авторов, использование вероятностных оценок риска для анализа состояния безопасности объекта — одно из наиболее дискуссионных направлений в теории безопасности. Нормативные документы [4] рекомендуют с осторожностью относиться к применению количественных показателей риска в качестве критериев безопасности, учитывая сложность рассматриваемых объектов и большую неопределенность используемой для расчетов информации [5, 6, 7]. Вместе с тем, такие пока-

затели используются в качестве нормируемых критериев пожарной безопасности [8, 9].

Постановка задачи и ее решение. Рассмотрим проблему с точки зрения теории самоорганизации — синергетики [10] и теории управления рисками [11]. В математической модели исследуемой системы должны быть представлены основные элементы, по поведению, качеству, эффективности функционирования которых можно достоверно судить о всей системе. В терминах синергетики это параметры порядка моделируемого объекта. Такой подход в исследованиях, без детального представления сложных систем, процессов и явлений в них протекающих, принято называть системным синтезом [12]. Результативность использования данного подхода подтверждается работами Т.С. Ахромеева, В.В. Кульбы, С.П. Курдюмова, Д.А. Кононова, Г.Г. Малинецкого, А.А. Самарского, А.Н. Шубина и др.

В данной работе, исследуемую систему, предлагается представлять в виде графа, а внешнее воздействие в виде импульсного воздействия.

С точки зрения концепции безопасности, всякую сложную техническую систему следует изучать с трех основных позиций: *надежности системы, живучести системы, и ее безопасности*. Каждая из этих позиций по-разному описывает связь и взаимодействие системы с окружающей ее средой. Исследование перечисленных свойств системы позволяет уменьшить риск возникновения ЧС (бедствий, аварий и катастроф).

Техническая система, рассматриваемая в работе, подвержена воздействиям ЧС природного или техногенного характера. К техногенным воздействиям также можно отнести воздействия, вызываемые умышленными действиями человека. Во многих случаях при создании сложных технических систем, в настоящее время приходится принимать во внимание возможность осуществления террористических актов.

В зависимости от интенсивности и мощности рассматривают нормативные (проектные) и экстремальные (сверхнормативные) нагрузки.

Использование критериев живучести и надежности позволяют оценить риск возникновения ЧС при эксплуатации сложных технических систем, что, в свою очередь, позволяет обеспечить безопасность систем при ЧС или наделить систему необходимыми качественными характеристиками, не допускающими возникно-

вения ЧС. В схеме развития ЧС (рис. 1) *надежность* и *живучесть* описывают переход от первого этапа ЧС ко второму. Оценка живучести системы предполагает тщательное описание поведения систем (в отличие от надежности) при имеющихся внешних воздействиях на систему, как в докритической области (до ЧС), так и в за-критической (при развитии ЧС), когда система функционирует, достигнув предельного состояния. Третий этап предполагает изучение возможных последствий ЧС на окружающую среду и лежит в области обеспечения *безопасности* систем.

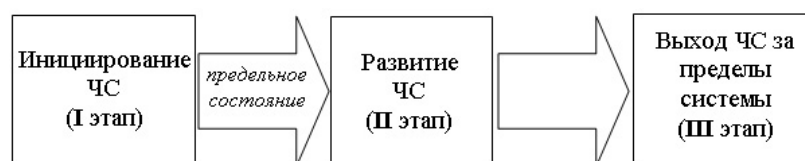


Рис. 1 – Схема развития чрезвычайных ситуаций

Во многих случаях сложность системы определяется сложностью ее структуры. Для рассматриваемых технических систем исследование инициирования ЧС (I этап схемы, представленной на рис. 1) внешними воздействиями имеет особое значение. Важно представлять, как от структуры системы зависит достижение системой предельного состояния (критического уровня), за чертой которого риск возникновения ЧС резко возрастает.

В рамках модели, предлагаемой в настоящей работе, сложная техническая система считается подвергнутой влиянию внешних воздействий. Это соответствует попаданию системы в ЧС природного или техногенного характера, т.е. под влияние непредусмотренных при проектировании системы, экстремальных нагрузок, имеющих также внезапный характер. В основе модели лежит формально представленная структура системы, что позволяет детально воспроизвести все возможные варианты распространения внешних воздействий по элементам системы. Модель при заданных нагрузках на некоторое множество элементов системы, вызываемых различными внешними воздействиями, определяет темп и сроки достижения системой предельного состояния.

Для всякого конечного графа будем использовать обозначение

$$G = (V, E), \quad (1)$$

где $V = \{v_i\}, i = 1, n$ – множество вершин, а $E = \{e = (v, u)\}$ — множество его ребер [13].

Распространения воздействия от одного элемента системы к другому, на графе системы будем задавать *ориентированным ребром* — ребром с определенными началом и концом.

На орграфе системы для вершины $v_i \in V, i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ее весом есть величина $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$, которая характеризует надежность элемента системы. Весом дуги $(v_i, v_j) \in E$ есть величина

$$w(v_i, v_j) = \varepsilon_{ij}, j \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq j. \quad (2)$$

Число $0 < \varepsilon_{ij} < 1$, со знаком “+”, является долей передаваемого воздействия, сохранившегося при переходе от вершины v_i к вершине v_j .

Процесс изменения весов вершин графа системы можно отразить следующим правилом, называемым *импульсным воздействием*. Импульсное воздействие определяется *импульсом* $imp_j(t), j \in \{1, 2, \dots, n\}$ в дискретном времени $t=0, 1, 2, 3, \dots$, который задается отношением

$$imp_j(t) = w_j(t) / w_j(t-1), \text{ при } t > 0. \quad (3)$$

Тогда для $t \geq 0$ для i -ой вершины графа G определим импульсные воздействия

$$w_i(t+1) = w_i(t) \prod_{k=1}^{\deg v_i} \varepsilon_{ji} imp_j(t), \quad (4)$$

или

$$imp_j(t+1) = \prod_{k=1}^{\deg v_i} \varepsilon_{ji} imp_j(t), \quad (5)$$

полагая при этом, что $\deg v_i$ – число входящих в вершину v_i дуг.

Формулы (3), (4) и (5) задают изменения весов вершин графа $G=(V, E)$, тем самым, определяя динамику распространения внешних воздействий по системе.

Автономное импульсное воздействие на взвешенном орграфе G определим по правилу (3) с вектором начальных значений

$$W(0) = (w_1(0), w_2(0), \dots, w_n(0))$$

и вектором импульсов

$$\text{Im } p(0) = (\text{imp}_1(0), \text{imp}_2(0), \dots, \text{imp}_n(0)). \quad (6)$$

Автономное импульсное воздействие в паре с вектором начальных значений описывает состояние системы в начальный момент времени, когда под влияние внешних поражающих воздействий попадают все или часть элементов системы.

Автономное импульсное воздействие, в котором вектор $\text{Im } p(0) = (1, 1, \text{imp}_i(0), \dots, 1)$, $p_i(0) > 0$, имеет только i -тую отличную от единицы компоненту, назовем *простым воздействием с начальной вершиной* $v_i \in V$. Простое импульсное воздействие описывает состояние системы в начальный момент времени, когда внешнее воздействие поражает один из элементов системы — тот, который соответствует i -ой вершине графа системы.

В соответствии с описанным импульсным воздействием на орграфе, можно ввести различные критерии (признаки) достижения системой предельного состояния. К примеру, можно считать, что система находится в предельном состоянии, если надежность одного или нескольких наиболее значимых элементов системы ниже некоторого допустимого уровня. Этот уровень будем называть *критическим уровнем* надежности элемента. Введенный критерий четко разделяет докритическое и закритическое состояние элемента системы. Если надежность элемента ниже критического уровня, то элемент не в состоянии функционировать требуемое время с требуемым качеством.

Представление исследуемой системы в виде взвешенного по правилу (2) графа $G=(V,E)$ и формализация внешнего влияния на систему как автономного импульсного воздействия (3)–(6) определяет *модель распространения поражающих воздействий ЧС по системе*.

Детальное исследование построенной модели необходимо для решения важной задачи, которая сводится к ответу на вопрос,

как внешнее воздействие распространяется по структуре системы и влияет на качественное состояние ее элементов.

Выводы. Предложенная в настоящей работе математическая модель распространения внешних воздействий по системе позволяет объяснить ряд явлений, наблюдаемых в сложных технических системах при попадании их в аварийную ситуацию. Существенной особенностью построенной модели является возможность выхода из строя наиболее надежных элементов при распространении импульсных воздействий по системе. Этот факт красноречиво подчеркивает прямую зависимость надежности элемента от его положения в структуре, а также зависимость живучести всей системы от выбранной структуры при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
2. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. - М.: СИНТЕГ, 2004. - 296 с.
3. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
4. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов (утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 12.07.96 N 29).
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. – 356 с.
6. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. - М.: АНВИК, 1998. - 427 с.
7. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В.Ф. Мартынюк, М.В. Лисанов, Е.В. Кловач, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. - 1995. - N 11. - С. 55-62.
8. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
9. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. Владимиров В.А., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г, Махутов Н.А. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 230 с.

11. Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие / Под ред. Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. - М.: Наука, 2002. -480 с.
12. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. - М.: Наука, 1992. – 320 с.
13. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. - М.: Наука, 1990. – 384 с.