

УДК 519.2.003.12:331.461.2

*Яковлева И.А., канд. техн. наук, проф., УГЗУ,
Панина Е.А., преп., УГЗУ,
Малежик А.В., адъюнкт, УГЗУ*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

В работе предлагается использование вероятностно-детерминистических моделей для исследования распространения внешних воздействий по сложным техническим системам, на объектах химической промышленности, при попадании их в условия внешних воздействий (форс-мажорные обстоятельства). Разработка и исследование построенной модели позволит решать задачу распространения внешнего воздействия по структуре системы, и его влияния на качественное состояние ее элементов.

Ключевые слова: риски, теория самоорганизации-синергетики, теория управления рисками, модель распространения внешних воздействий по системе

Постановка проблемы. Для сложных технических систем, к которым относятся и объекты химической промышленности, актуальной проблемой является достоверное и своевременное прогнозирование и предотвращение чрезвычайных и других нежелательных ситуаций и воздействий которые могут привести к нештатному режиму, аварии, катастрофе или существенно повлиять на работоспособность, живучесть, безопасность, эффективность и другие свойства таких объектов. Возможность появления и результаты действий таких ситуаций, условий и факторов определяется случайными и хаотическими процессами, которые по механизмам воздействия характеризуются как риски.

Анализ последних исследований и публикаций. Классическая теория надежности [1, 2] не предоставляет необходимых инструментов исследования качества функционирования сложных систем в условиях форс-мажорных обстоятельств. Т.к. объекты химической промышленности относятся именно к системам, которые прибывают в такой зоне, то актуальным является разработка адекватных математических моделей, которые позволяют оценивать

систему в целом, прогнозировать поведение системы под влиянием поражающих факторов. Также актуальным является разработка методов повышения или сохранения сопротивляемости систем, функционирующих в условиях поражающих воздействий.

Моделирование сложных систем позволяет исследовать особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Важнейшую роль в формальном представлении сложных систем играет структура – порядок межэлементных связей системы. В работах [3] для моделирования систем со сложной структурой используются методы теории взвешенных графов. Такой подход уже позволил обнаружить ряд синергетических эффектов в поведении подобных систем. Т.о., следует, что от структуры системы зависит ее стойкость. Важно также прогнозировать какие изменения в структуре приведут к улучшению или ухудшению функционирования рассматриваемого объекта.

Как отмечается в работах Маршалла В., Хенли Э.Дж., Кумамото Х., Бусленко Н.П., Белова П.Г. и др. использование вероятностных оценок риска для анализа состояния безопасности – одно из наиболее дискуссионных направлений в теории безопасности. Норматив Госгортехнадзора России РД 08-120-96 [4] рекомендует 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 показатели 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, по качеству, по 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]. О результативности использования этого подхода можно судить по многим работам [11, 12].

С позиции классических моделей теории надежности система изучается изолированно от окружающей среды: ни система не

подвергается воздействию внешней среды, ни сама окружающая среда не испытывает на себе воздействие со стороны среды. В данной работе предлагается подход к моделированию системы с точки зрения теории самоорганизации-синергетики и теории управления рисками. Результативность использования данного подхода подтверждается работами Курдюмова С.П., Малинецкого Г.Г., Кульбы В.В., Кононова Д.А. и др. 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, возникающих в результате бедствий, аварий и катастроф.

Рассматриваемая в работе система подвержена воздействию природного и техногенного характера. В зависимости от интенсивности и мощности рассматривают нормативные (проектные) и экстремальные (сверхнормативные) нагрузки.

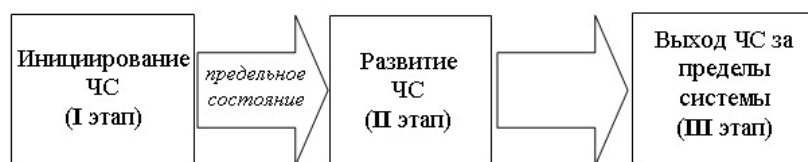


Рис. 1 – Схема развития чрезвычайных ситуаций

Использование критериев живучести и надежности позволяют оценить риск возникновения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации сложных технических систем, что позволяет обеспечить безопасность систем при чрезвычайных ситуациях, или наделить систему необходимыми качественными характеристиками, не допускающими возникновения чрезвычайных ситуаций. В схеме на рис. 1 надежность и живучесть описывают переход от первого этапа ко второму. Живучесть системы предполагает тщательное описание ее поведения (в отличие от надежности) при имеющихся внешних воздействиях на систему, как в до критической 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 систему среду и лежит в области обеспечения *безопасности* систем.

Во многих случаях сложность системы определяется сложностью ее структуры. Для подобных технических систем исследование инициирования ЧС (I этап схемы, представленной на рис. 2) 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 зону “форс-мажорных обстоятельств”, т.е. под влияние ненормативных, 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.

Математическая модель распространения возмущений по системе.

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 [14].

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

Надежностью элемента системы будем считать вероятность $P(t < T)$ того, что элемент будет работоспособен в течение времени T с момента начала эксплуатации.

Таким образом, на орграфе $G = (V, E)$ системы для вершины $v_i \in V, i \in \{1, 2, \dots, n\}$ весом $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$ - является величина надежности элемента системы, соответствующего вершине v_i .

Весом

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

- дуги $(v_i, v_j) \in E$, причем со знаком "+", является число $0 < \varepsilon_{ij} < 1$, равное сохранившейся доле передаваемого воздействия 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 i -ой вершины графа G при $t \geq 0$ определим импульсное воздействие

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

или

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

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

$$W(0) = (w_1(0), w_2(0), \dots, w_n(0)) \quad (6)$$

$$\text{Im } p(0) = (\text{imp}_1(0), \text{imp}_2(0), \dots, \text{imp}_n(0)). \quad (7)$$

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 -ую 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. А именно, 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 элементов системы. Если надежность элемента ниже критического уровня, то элемент не в состоянии выполнять возложенных на него функций, или функционировать требуемое время.

Представление исследуемой системы в виде взвешенного по правилу (2) графа $G=(V,E)$ и формализация внешнего влияния на систему как автономного импульсного воздействия (3)–(7) определяет модель распространения поражающих воздействий по системе.

Исследование построенной модели необходимо для решения важной задачи – выяснить, 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 условия внешних воздей-

ствий (форс-мажорные обстоятельства). Существенной особенностью построенной модели является возможность выхода из строя при распространении импульсных воздействий по системе наиболее надежных элементов. Этот факт красноречиво подчеркивает прямую зависимость надежности элемента от его положения в структуре, а также зависимость стойкости всей системы от выбранной при проектировании структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
3. Кульба В.В., Кононов Д.А. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. - М.: СИНТЕГ, 2004. - 296 с.
4. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
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.

puszu.edu.ua

Яковлева И.А., Панина Е.А., Малежик А.В.