

*В.В. Христин, к.т.н., доцент, зам. нач. каф., НУГЗУ,  
Е.А. Панина, преподаватель, НУГЗУ,  
Л.В. Гусева, преподаватель, НУГЗУ*

## **ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ И АВАРИЙ**

(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 опасных объектах, 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:** риск возникновения чрезвычайных ситуаций, методы теории взвешенных графов, импульсные воздействия, моделирование систем со сложной структурой

**Постановка проблемы.** Для сложных технических систем актуальной проблемой является достоверное и своевременное прогнозирование и предотвращение чрезвычайных и других нежелательных воздействий, которые могут привести к нештатному режиму работы, аварии, катастрофе или существенно повлиять на работоспособность, живучесть, безопасность, эффективность и другие свойства таких систем. Так как классическая теория надежности не предоставляет необходимых инструментов исследования качества функционирования сложных систем в условиях «форс-мажорных» обстоятельств [1, 2], то разработка адекватных математических моделей, которые позволят оценивать систему в целом и прогнозировать ее поведение под влиянием внешних факторов является очень актуальной. Также актуальным является разработка методов повышения или сохранения сопротивляемости систем, функционирующих в условиях чрезвычайных и других нежелательных воздействий.

**Анализ последних исследований и публикаций.** 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 науч-

ной школы профессора В.В. Кульбы [3] для моделирования систем со сложной структурой используются методы теории взвешенных графов. Такой подход уже позволил обнаружить ряд синергетических эффектов в поведении систем со сложной структурой. Важно также прогнозировать какие изменения в структуре приведут к улучшению или ухудшению функционирования рассматриваемого объекта.

Рассмотрим проблему с точки зрения теории самоорганизации-синергетики [4], и теории управления рисками [5]. 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 [6]. О результативности использования этого подхода можно судить по многим работам [5, 6].

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., Шубина А.Н., Ахромеева Т.С., Самарского А.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 чрезвычайных ситуаций (ЧС), возникающих в результате бедствий, аварий и катастроф.

Рассматриваемая в работе система подвержена воздействию природного и техногенного характера. В настоящее время во многих случаях при создании сложных технических систем приходится принимать во внимание и возможность террористических актов.

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

Использование критериев живучести и надежности позволяют оценить риск возникновения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации сложных технических систем, что позволяет обеспечить безопас-

ность систем при чрезвычайных ситуациях, или наделить систему необходимыми качественными характеристиками, не допускающими возникновения чрезвычайных ситуаций. 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.

**Постановка задачи и ее решение.** В рамках модели, предлагаемой в настоящей работе, сложная техническая система считается подвергнутой влиянию внешних воздействий. Это соответствует попаданию системы в зону “форс-мажорных обстоятельств”. 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.

Рассмотрим математическую 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 [7].

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

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

- дуги  $(v_i, v_j) \in E$ , причем со знаком “+”, является чис-

ло  $0 < \varepsilon_{ij} < 1$ , 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*  $\text{imp}_j(t)$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, n\}$  в дискретном времени  $t=0, 1, 2, 3, \dots$ , который задается отношением:

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

Тогда для  $i$ -ой вершины графа  $G$  при  $t \geq 0$  определим импульсное воздействие:

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

или

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

полагая при этом, что  $\text{deg } v_i$  – 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:

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

и вектором импульсов:

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

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  $\text{Imp}(0) = (1, 1, \text{imp}_1(0), \dots, 1)$ ,  $\text{imp}_1(0) > 0$ , 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. 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 воздействий (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. Математическая теория надежности / Барлоу Р., Прошан Ф. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
2. Барлоу Р. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность / Барлоу Р., Прошан Ф. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
3. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 296 с.
4. Управление риском / [Владимиров В.А., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г, Махутов Н.А. и др.] – М.: Наука, 2000. – 230 с.

5. Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие / Под ред. Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. – М.: Наука, 2002. – 480 с.

6. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. – М.: Наука, 1992. – 320 с.

7. Лекции по теории графов / Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. – М.: Наука, 1990. – 384 с.

V.V. Hristich, E.A. Panina, L.V. Guseva

**Ймовірно-детерміністична модель системи для виявлення нештатних ситуацій і аварій**

У роботі пропонується використання ймовірно-детерміністических моделей для дослідження поширення зовнішніх впливів за складним технічним системам, на небезпечних об'єктах, при попаданні їх в умови зовнішніх впливів (форс-мажорні обставини). Розробка та дослідження побудованої моделі дозволить вирішувати задачу поширення зовнішнього впливу за структурою системи, і його впливу на якісний стан її елементів.

**Ключові слова:** ризик виникнення надзвичайних ситуацій, методи теорії зважених графів, імпульсні дії, моделювання систем зі складною структурою.

V.V. Hristich, E.A. Panina, L.V. Guseva

**Probabilistic and deterministic model system to identify abnormal situations and accidents**

In roboti proponuetsya vikoristannya ymovirnosno-determenisticheskikh models for doslidzhennya poshirennya zovnishnih vpliviv for folding tehnicnim systems on nebezpechnih ob'ektah at popadanni ih in minds zovnishnih vpliviv (force mazhorni obstavini). Rozrobka that doslidzhennya pobudovanoї modeli permitted virishuvati task poshirennya zovnishnogo vplivu for the structure of the system, i yogo vplivu on yakisny camp її elementiv.

**Keywords:** risk of emergencies, methods of the theory of weighted graphs, pulse effects, modeling systems with complex structure.