

УДК 519.2.003.12:331.461.2

А.В. Шматко¹, А.В. Малежик²¹Национальный технический университет «ХПИ», Харьков²Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Работа посвящена исследованию стойкости сложных технических систем, объектов химической промышленности, при попадании их в условия внешних воздействий (форс-мажорные обстоятельства) с использованием компьютерных моделей системы. Всякая система подвержена влиянию внешних воздействий. Важно знать, как долго система будет в состоянии выполнять свои функции (т.е. сохранять функциональность) при полученных в результате воздействий повреждениях. Предлагается модель распространения импульсных воздействий по системе, которая позволила выявить наиболее сильные и слабые места в ее структуре. Модель позволяет оценивать стойкость элемента системы в зависимости от его положения в структуре.

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

Введение

Постановка проблемы. Современные технические изделия представляют собой сложные системы, которые состоят из тысяч, взаимодействующих друг с другом разнородных элементов. При этом требования к эффективности и качеству таких изделий становятся все жестче. На это ужесточение, во многом, влияет риск возникновения аварий и катастроф при эксплуатации технических систем.

Построение и исследование моделей сложных систем позволяет определить особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Анализ последних исследований и публикаций. В работах Маршалла В. [1], Хенли Э.Дж, Куамото Х. [2], Колодкина В.М. [3], Белова П.Г. [4, 5] и других авторов для анализа состояния безопасности объекта предлагается использование вероятностных оценок риска. В таких программных комплексах как "Risk Spectrum" [6], "Relex" [7], "CRISS-4.0" [8] реализованы эти методы.

Наибольшее внимание в исследованиях по управлению рисками уделяется анализу кризисов, то есть ситуаций, когда система не может в полном объеме выполнять возложенные на нее функции. При воздействии на систему внешних поражающих факторов, которые нередко являются внезапными и интенсивными, система не всегда может «противостоять» этим поражающим факторам, что в свою очередь приводит к ухудшению ее функционирования, а порой и к кризисам.

Моделирование сложных систем позволяет исследовать особенности их функционирования в раз-

личных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). В последнее время в работах В.В. Кульбы [9], Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. [10, 11] для моделирования систем со сложной структурой предлагается использование методов теории взвешенных графов. Такой подход уже позволил обнаружить ряд синергетических эффектов в поведении систем со сложной структурой.

Таким образом, можно сделать вывод, что от структуры системы зависит ее стойкость. Не менее важно также прогнозировать, как изменения в структуре системы повлияют на функционирование рассматриваемого объекта.

Постановка задачи и ее решение

В работе предлагается рассмотрение проблемы с точки зрения теории самоорганизации синергетики [12], и теории управления рисками [13]. Необходимо создать математическую модель исследуемой системы, в которой должны быть представлены основные элементы. По поведению, по качеству, по эффективности функционирования этих элементов можно достоверно судить обо всей системе. Такой подход в исследованиях принято называть системным синтезом [10]. Результативность этого подхода в моделировании сложных систем обсуждается в работах [9 – 11, 14 – 17].

В настоящей работе этот подход реализован в виде вероятностно-детерминистической модели, описывающей распространение внешних воздействий среди элементов исследуемой системы. В основе модели лежат представление структуры системы в виде ориентированного графа, а внешнее негативное влияние на систему в виде импульсного воздей-

ствия. Такое представление системы, находящейся в условиях внешних воздействий, позволяет построить иерархию упрощенных моделей [14], т.е. рассмотреть различные виды внешних воздействий на систему при различных критериях ее неработоспособности (выход из строя ряда элементов системы, достижение элементами системы предельного состояния и т.д.).

Для каждой модели из иерархии упрощенных моделей конкретного сложного явления (в том числе и системы, находящейся под влиянием внешних воздействий) четко определяется область ее применимости там, где модель наиболее эффективна и полезна. Замечательной чертой иерархии упрощенных моделей является наличие базовых математических моделей [15], т.е. таких математических объектов, исследование которых позволяет эффективно строить и изучать большие классы моделей различных по своей природе явлений. Отметим, что такой подход особенно полезен, а, следовательно, и предпочтителен при построении моделей сложных систем.

В работе [18] описана модель распространения возмущений по системе. Приведенная модель определяется представлением исследуемой системы в виде взвешенного графа и формализацией внешнего влияния на систему как автономного импульсного воздействия.

Моделируемая система представляется в виде конечного графа:

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

где $V = \{v_i\}$, $i=1, n$ – множество вершин, а $E = \{e = (v, u)\}$ – множество его ребер. Вес $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$ – является величиной надежности элемента системы, соответствующего вершине v_i .

Импульсное воздействие на систему отражает процесс изменения весов вершин графа системы и определяется импульсом $\text{imp}_j(t)$, $j \in \{1, 2, \dots, n\}$ в дискретном времени $t = 0, 1, 2, 3, \dots$, который задается отношением:

$$\text{imp}_j(t) = w_j(t) / w_j(t-1), \quad \text{при } t > 0. \quad (2)$$

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

$$w_i(t+1) = w_i(t) \prod_{k=1}^{\text{deg } v_i} \varepsilon_{ji} \text{imp}_j(t) \quad (3)$$

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

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

Исследование построенной модели необходимо для решения важной задачи – выяснить, как внеш-

нее воздействие распространяется по структуре системы, и влияет на качественное состояние ее элементов.

Для компьютерного моделирования сложных систем большой размерности предлагается программное обеспечение, которое позволяет рассмотреть систему при различных условиях внешних воздействий.

Согласно современным требованиям к разработке аналитических систем, такие системы должны основываться на клиент-серверной архитектуре, обеспечивать многопользовательский режим работы, а также хранение данных в современных СУБД.

Исходя из этих требований для экспериментального программного обеспечения была предложена следующая архитектура (рис. 1).

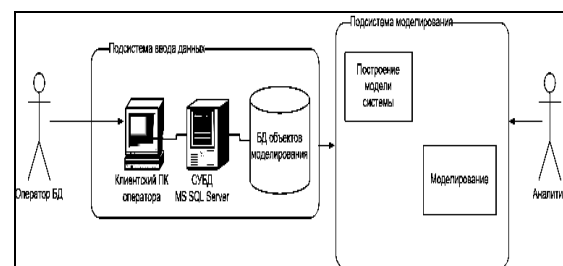


Рис. 1. Архитектура экспериментального программного обеспечения

Программное обеспечение состоит из двух подсистем: подсистемы ввода данных (OLTP-системы) и подсистемы моделирования.

Подсистема ввода данных обеспечивает ввод, редактирование и сохранение данных в БД под управлением СУБД MS SQL Server. Все данные хранятся на сервере и доступны пользователям на клиентских ПК, на которых установлено экспериментальное программное обеспечение.

Подсистема моделирования позволяет построить модель сложной технической системы, информации о которой хранится в БД, и исследовать эту модель на воздействие внешних факторов. Результаты моделирования доступны аналитику в графической и табличной форме, что дает возможность их легкой интерпретации и понимания.

Рассмотрим задачу исследования поведения системы охлаждения и очистки отходящих газов (рис. 2). Система выйдет из строя в том случае, если нагнетательный вентилятор, насос холодильника, водяной насос, циркуляционный насос или фильтрующая система откажут. Исследуем систему используя следующие данные:

$$\text{Pr}(1) = 0.9; \text{Pr}(2) = 0.3;$$

$$\text{Pr}(4) = 0.3; \text{Pr}(5) = 0.6; \text{Pr}(6) = 0.7$$

Для моделирования воздействия внешнего импульса на систему необходимо построить орграф системы, указав основные узлы их веса, а также дуги с весами (рис. 3).

Для определения параметров модели служит диалоговое окно Параметры модели (рис. 4), в котором указывают номер узла, его вес, входящие и исходящие дуги и их весовые коэффициенты.

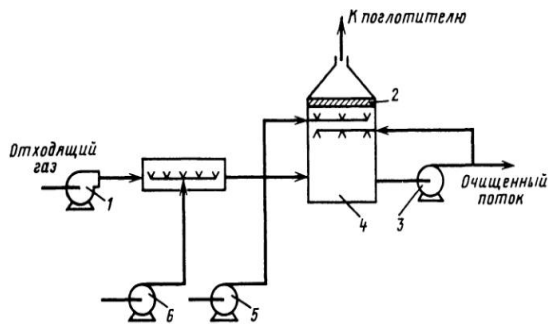


Рис. 2. Схема системы охлаждения и очистки отходящего газа:

1 – нагнетательный вентилятор; 2 – сетчатая прокладка; 3 – циркуляционные насосы предварительной очистки газа; 4 – предварительный газоочиститель; 5 – водяной насос; 6 – охладительный насос

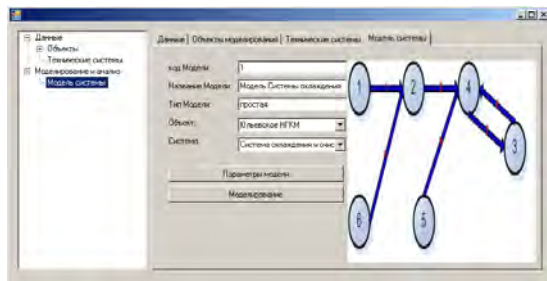


Рис. 3. Построение модели системы

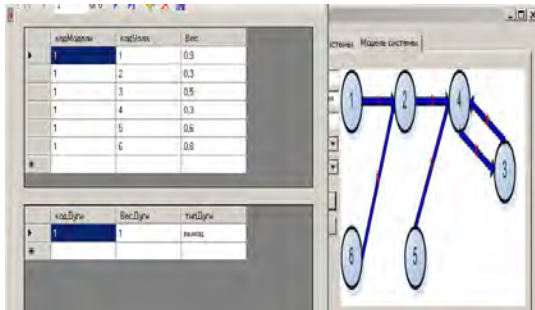


Рис. 4. Параметры модели

Для исследования необходимо указать начальные значения импульса для каждого узла орграфа, время моделирования воздействия, а также желаемый вид представления результатов (рис. 5).

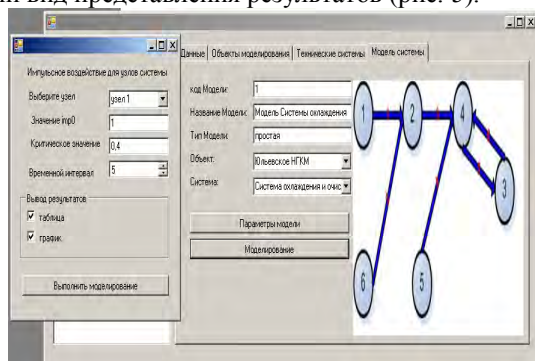


Рис. 5. Параметры импульсного воздействия

Результаты моделирования для различных значений импульсного воздействия представлены на рис. 6 – 8.

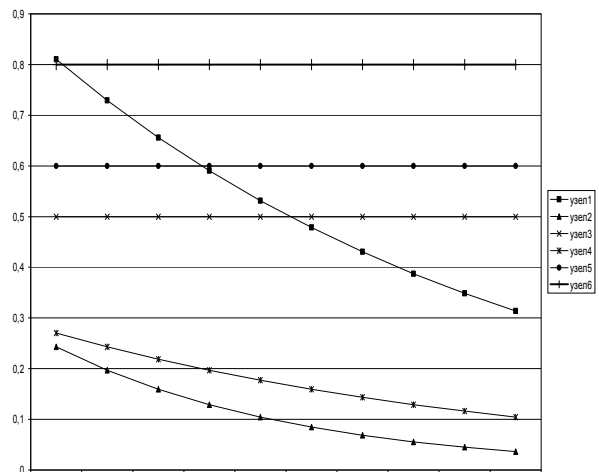


Рис. 6. Надежность элементов системы при импульсном воздействии $Imp(0)=(0,9,0,9,1,1,1,1)$

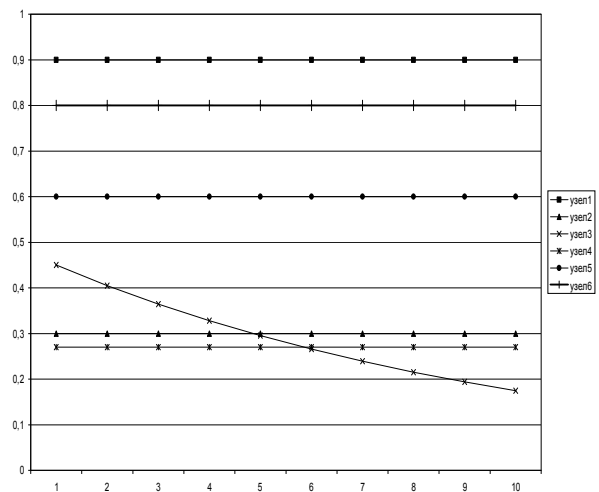


Рис. 7. Надежность элементов системы при импульсном воздействии $Imp(0)=(1,1,0,9,1,1,1,1)$

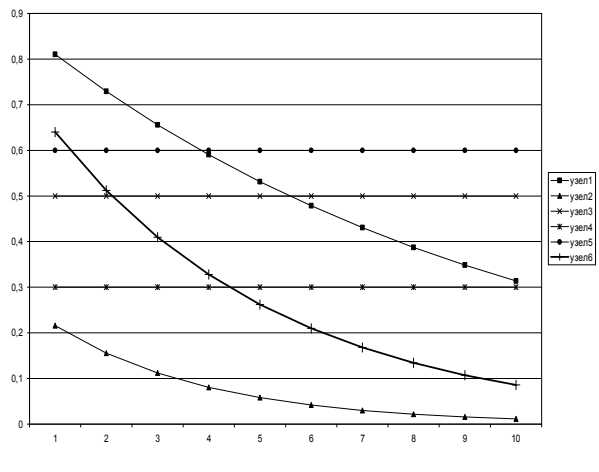


Рис. 8. Надежность элементов системы при импульсном воздействии $Imp(0)=(0,9,1,1,1,1,0,9)$

Выводы

Рассмотренная 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. Предложенное программное обеспечение позволяет выполнять построение и исследование компьютерных моделей технических систем.

Список литературы

1. Маршалл В. Основные опасности химического производства / В. Маршалл; пер. с англ. под ред. Б.Б. Чайванова и А.Н. Черноплекова. – М.: Мир, 1989. – 671 с.
2. Хенли Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984.
3. Количественная оценка риска химических аварий / В.М. Колодкин, А.В. Мурун, А.К. Петров, В.Г. Горский. – Ижевск: Изд.дом «Удмуртский университет», 2001 – 228 с.
4. Безопасность жизнедеятельности. / Под ред. С.В. Белова. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1999.
5. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г. Белов. – М.: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ, 1999. – 124 с.
6. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 / Theory Manual. RELCON AB, 1998. – 57 p.
7. Relex – программа анализа надежности, безопасности, рисков / В.С. Викторова, Х. Кунтиер, Б.П. Петрухин, А.С. Степанянц // Надежность. – 2003. – № 4 (7). – С. 42-64.
8. Верификация и обоснование программы CRISS 4.0 для моделирования и анализа систем безопасности ядерной установки при выполнении вероятностного анализа

безопасности: отчет о научно-исследовательской работе. Часть 1 (Заключительная редакция) / ФГУП ОКБМ им. И.И.Африкантова; исполн.: Бахметьев А.М., Былов И.А., Милакова Ю.В. – Нижний Новгород, 2005. – 88 с.

9. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. – М.: СИНТЕГ, 2004.
10. Курдюмов С.П. Синергетика и системный синтез / С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий // Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие. – М.: Наука, 2002.
11. Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие / Под ред. Г.Г. Малинецкого, С.П. Курдюмова. – М.: Наука, 2002.
12. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980.
13. Управление риском / В.А. Владимиров, В.В. Кульба, Г.Г. Малинецкий, Н.А. Махутов и др. – М.: Наука, 2000.
14. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1992.
15. Малинецкий Г.Г. Базовые модели и ключевые идеи синергетики / Г.Г. Малинецкий // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, № 70. – М., 1994.
16. Кочкаров А.А. Предфрактальные графы в проектировании и анализе сложных структур / А.А. Кочкаров, Р.А. Кочкаров // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, № 10. – М., 2003.
17. Архипова И.Л. Управление в чрезвычайных ситуациях / И.Л. Архипова, В.В. Кульба. – М.: РГГУ, 1998.
18. Яковлева И.А. Использование вероятностно-детерминистической модели для прогнозирования чрезвычайных ситуаций на опасных промышленных объектах / И.А. Яковлева, Е.А. Панина, А.В. Малежик // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. УЦЗ України. – Х.: УЦЗУ, 2009. – Вип. 10.

Поступила в редколлегию 22.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Хорошко, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ..

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОВНІШНІХ ІМПУЛЬСНИХ ВПЛИВІВ НА ОСНОВІ ЙМОВІРНОСНО-ДЕТЕРМІНІСТИЧНОГО ПІДХОДУ

О.В. Шматко, О.В. Малежик

Робота присвячена дослідженню стійкості складних технічних систем, об'єктів хімічної промисловості, при влученні їх в умови зовнішніх впливів (форс-мажорні обставини) з використанням комп'ютерних моделей системи. Усяка система піддається впливу зовнішніх впливів. Важливо знати, як довго система буде в змозі виконувати свої функції (тобто зберігати функціональність) при отриманих у результаті впливів ушкодженнях. Пропонується модель поширення імпульсних впливів по системі, що дозволила виявити найбільш сильні й слабкі місця в її структурі. Модель дозволяє оцінювати стійкість елемента системи залежно від його положення в структурі.

Ключові слова: ризики, теорія самоорганізації-синергетика, теорія керування ризиками, теорія зважених графів, модель поширення зовнішніх впливів по системі..

COMPUTER MODELING OF EXTERNAL PULSE INFLUENCES ON THE BASIS OF PROBABILISTIC-DETERMINISTIC APPROACH

A.V. Shmatko, A.V. Malegik

Work is devoted to research of stability of complex technical systems, objects of the chemical industry, at their hit in conditions of external influences (force-majeur circumstances) with use of computer models of system. Any system is subject to influence of external impacts. It is important to know, how long the system is able to carry out the functions (i.e. to keep functionality) at the damages received as a result of impacts. The model of distribution of pulse impacts on system which has allowed to reveal the strongest and weak places in its structure is offered. The model allows to estimate stability of an element of system its position in structure.

Keywords: risks, the theory of self-organizing-synergetics, the theory of management of risks, the theory weighed graphs, model of distribution of external impacts on system.