

УДК 519.2.003.12:331.461.2

Яковлева И.А., канд. техн. наук, проф., НУГЗУ,

Малежик А.В., адъюнкт, НУГЗУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Работа посвящена исследованию стойкости сложных технических систем, объектов химической промышленности, при попадании их в условия внешних воздействий (форс-мажорные обстоятельства). 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. Рассматривается 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

Постановка проблемы. Современные технические изделия представляют собой сложные системы, состоящие из множества взаимодействующих друг с другом разнородных элементов, число которых может достигать десятков тысяч. Вместе с тем требования по эффективности функционирования и качеству производимых изделий ужесточаются. Во многом это связано с риском возникновения опасностей, аварий и катастроф при эксплуатации технических систем.

Моделирование сложных систем позволяет исследовать 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, Кумамото Х. [2], Колодкина В.М. [3], Белова П.Г. [4, 5] и других авторов для анализа состоя-

ния безопасности объекта предлагается использование вероятностных оценок риска.

Одно из центральных мест в исследованиях по управлению рисками занимает анализ кризисов, то есть ситуаций, когда система оказывается не в состоянии 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 различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). В последнее время в работах В.В. Кульбы [6], Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. [7, 8] 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. Рассмотрим проблему с точки зрения теории самоорганизации-синергетики [9], и теории управления рисками [10]. В математической модели исследуемой системы должны быть представлены основные элементы, по поведению, по качеству, по эффективности функционирования которых можно достоверно судить обо 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 [7]. О результативности использования этого подхода можно судить по многим работам [6-8, 11].

В настоящей работе этот подход реализован в виде вероятностно-детерминистической модели, описывающей распространение внешних воздействий (различного характера) среди элементов исследуемой системы. В основе модели лежат формализации структуры системы в виде графа и внешнего негативного влияния на систему в виде импульсного воздействия. Такое представление системы, находящейся в условиях внешних воздействий, позволяет

построить иерархию упрощенных моделей [11], 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 [12], 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 [15] 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

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

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

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

ИЛИ

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

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

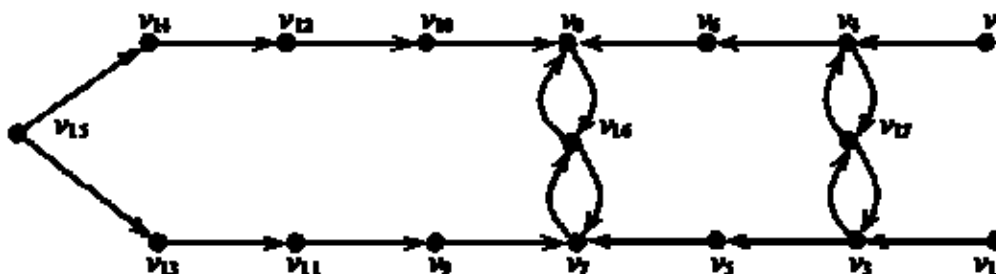


Рис. 1 – Структурная схема электроэнергетической системы

Таблица 1 – Показатели безотказности электрического оборудования

№	Наименование оборудования	Интенсивность отказов	Значение λ , 1/год
1	Источник переменного тока	В эксплуатации	0,0000025
2	Щит отключаемой нагрузки	Под нагрузкой	0,00097
3	Автоматический выключатель	При включении	0,0004
4	Щит неотключаемой нагрузки	Под нагрузкой	0,00097
5	Автоматический выключатель	В эксплуатации	$5 \cdot 10^{-5}$
6	Преобразователь переменного тока	Под нагрузкой	0,00019
7	Запорное устройство	При включении	0,0004
8	Источник постоянного тока	Под нагрузкой	$3 \cdot 10^{-6}$
9	Перемычка с автоматическим выключателем	При включении	0,0004

Исследование построенной модели необходимо для решения важной задачи – выяснить, как внешнее воздействие распространяется по структуре системы, и влияет на качественное состояние ее элементов.

Рассмотрим в качестве примера задачу моделирования внешних импульсных воздействий на систему электроснабжения промплощадок нефтегазоконденсатного месторождения) НГКМ.

На рис.1 в виде ориентированного графа изображена структура электроэнергетической системы промплощадки НГКМ.

Таблица 2 – Значения весов $w_i(0)$ вершин $G=(V,E)$

Вершина	Значение $w_i(0) \cdot 100\%$
v_1	0.99
v_2	0.99
v_3	0.99
v_4	0.99
v_5	0.99
v_6	0.99
v_7	0.99
v_8	0,99
v_9	0,99
v_{10}	0,99
v_{11}	0,99
v_{12}	0,99
v_{13}	0,99
v_{14}	0,99
v_{15}	0,99
v_{16}	0,99
v_{17}	0,99

Опишем граф $G=(V,E)$ системы. Вершины графа G соответствуют следующим элементам системы: v_1, v_2 – основные источники переменного тока; v_3, v_4 – главные распределительные щиты отключаемой нагрузки; v_5, v_6, v_9, v_{10} – автоматические выключатели; v_7, v_8 – распределительные щиты неотключаемой нагрузки; v_{11}, v_{12} – обратимые преобразователи постоянно-переменного тока; v_{13}, v_{14} – запорные устройства; v_{15} – источник постоянного тока; v_{16}, v_{17} – перемычки с автоматическими выключателями. Элемент v_{16}

Яковлева И.А., Малежик А.В.

имеет наибольшую структурную уязвимость среди всех элементов системы, и в первую очередь, необходимо проверить его предельную надежность. Структура системы имеет четыре простых контура: (v_8, v_{16}, v_8) , (v_7, v_{16}, v_7) , (v_4, v_{17}, v_4) , (v_3, v_{17}, v_3) .

Начальные веса вершин графа определим, воспользовавшись формулой вычисления вероятности состояния элемента [5]

$$P_0(t) = e^{-\lambda t}.$$

Для определения интенсивности отказов λ воспользуемся статистическими данными [5], представленными в таблице 1.

Значения весов $w_i(0)$ вершин представлены в таблице 2.

Графики зависимости надежности элементов от импульсного воздействия представлены на рис. 2-6.

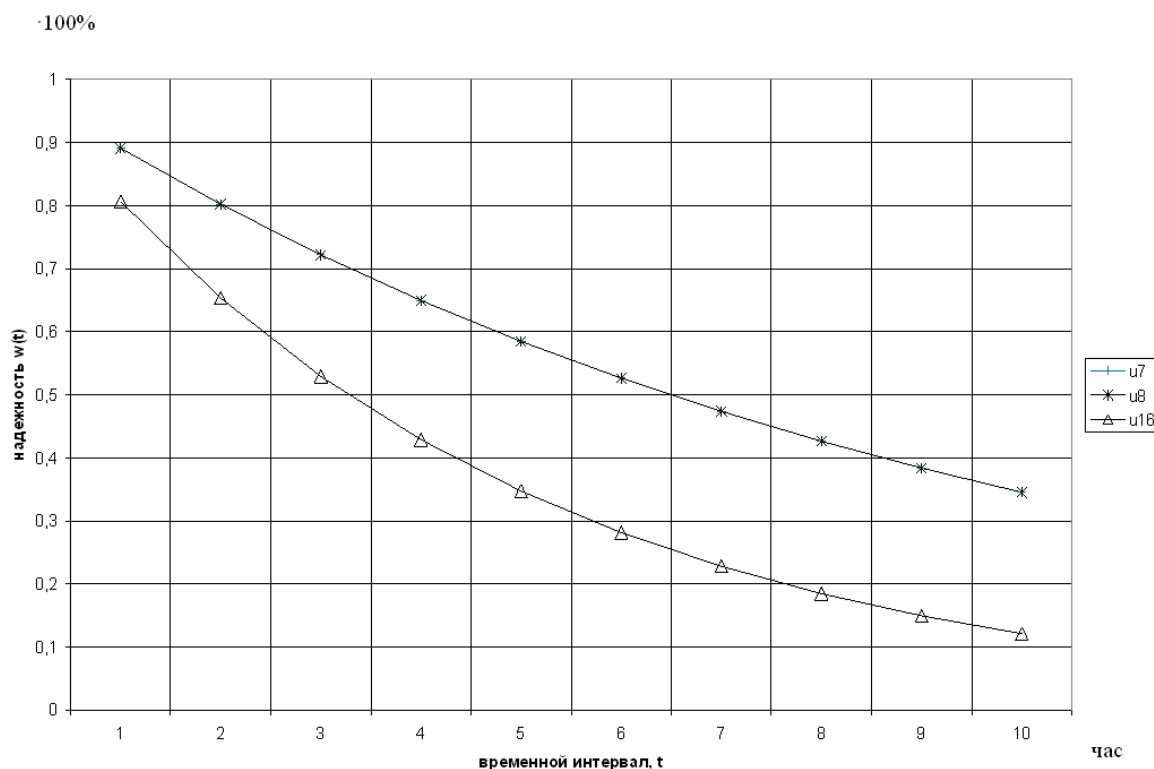


Рис. 2 – Надежность элементов v_7, v_8, v_{16} системы при импульсном воздействии $\text{Imp}(0)=(1,1,1,1,1,1,0.9,0.9,1,1,1,1,1,1,1,1)$

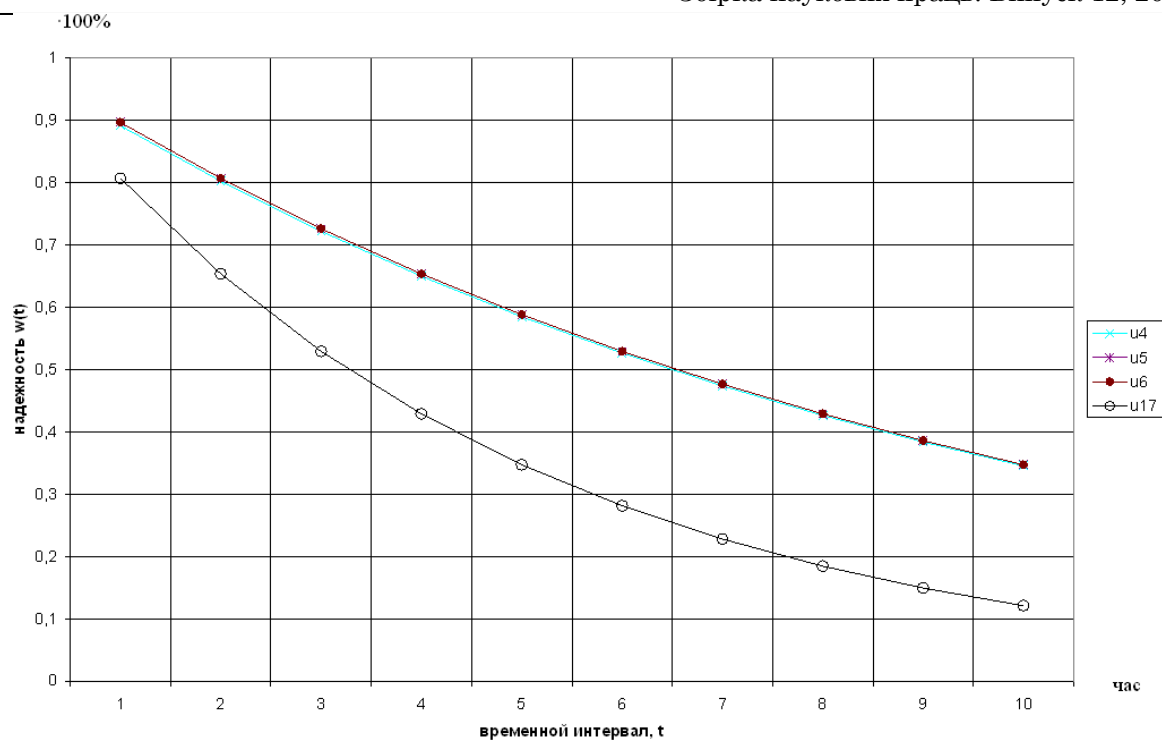


Рис. 3 – Надежность элементов u_4 , u_5 , u_6 , u_{17} системы при импульсном воздействии $\text{Imp}(0)=(1,1,0.9,0.9,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)$

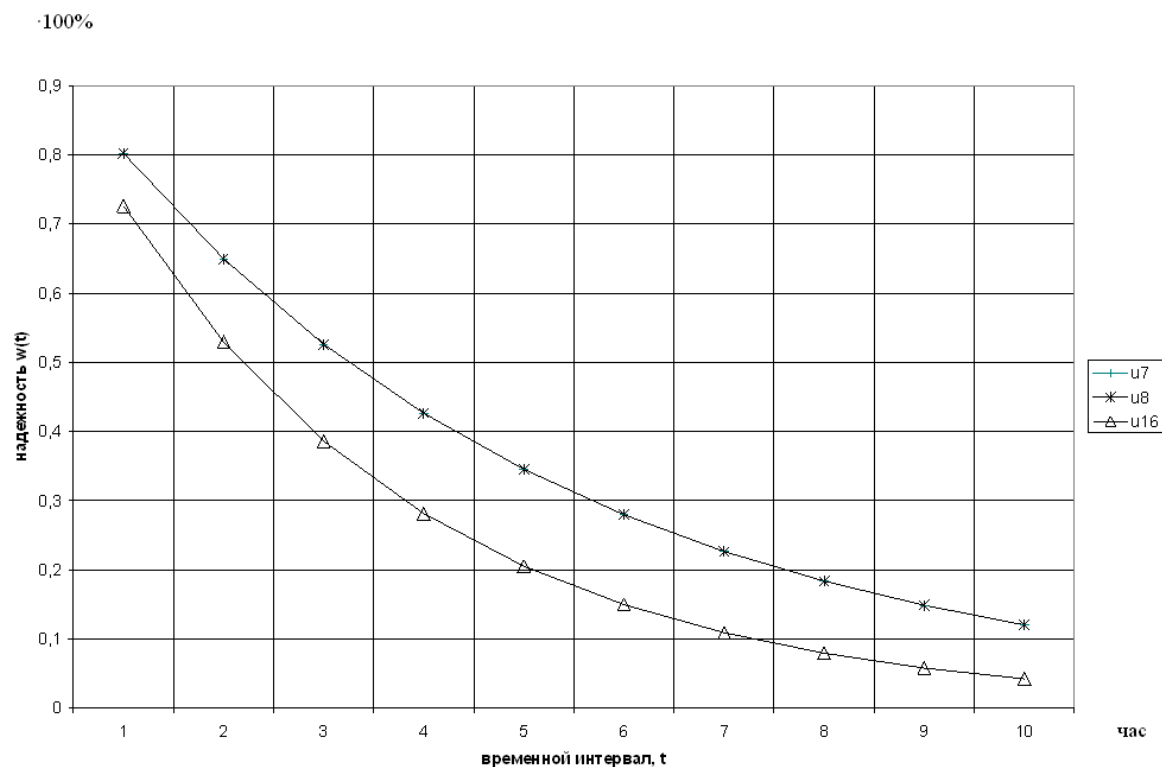


Рис. 4 – Надежность элементов u_7 , u_8 , u_{16} системы при импульсном воздействии $\text{Imp}(0)=(1,1,1,1,1,1,0.9,0.9,1,1,1,1,1,1,0.9,1)$

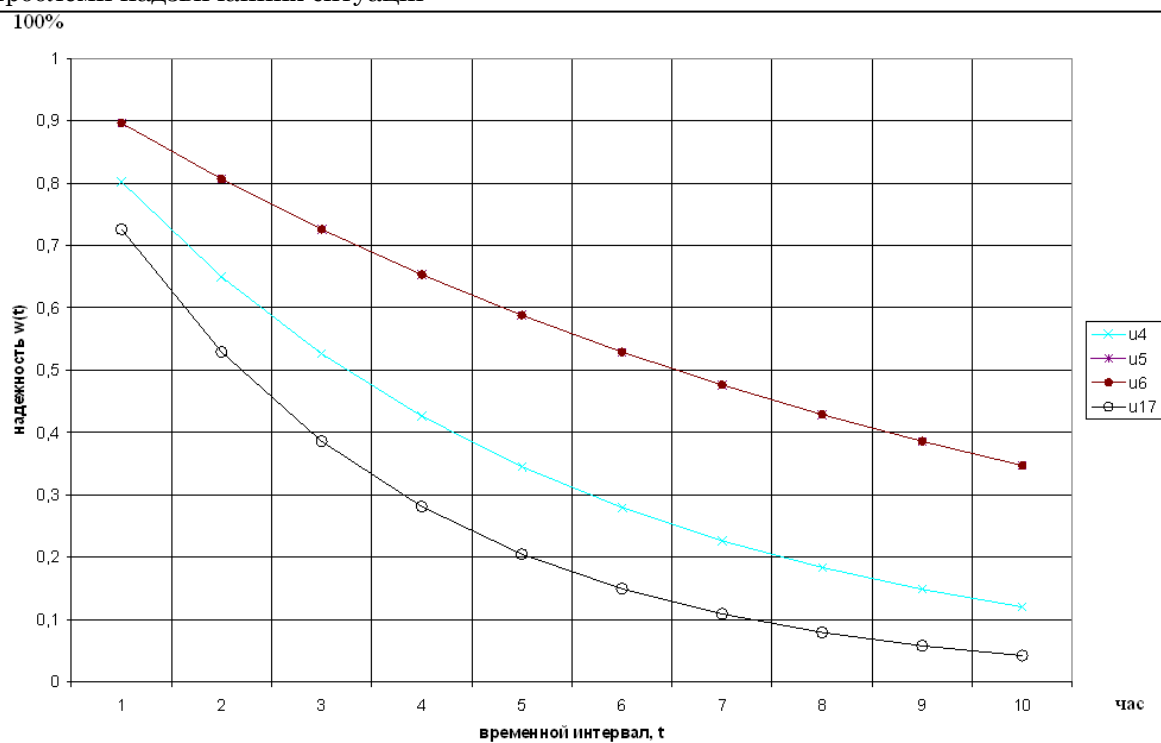


Рис. 5 – Надежность элементов u_4 , u_5 , u_6 , u_{17} системы при импульсном воздействии $\text{Imp}(0)=(1,1,0.9,0.9,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0.9)$

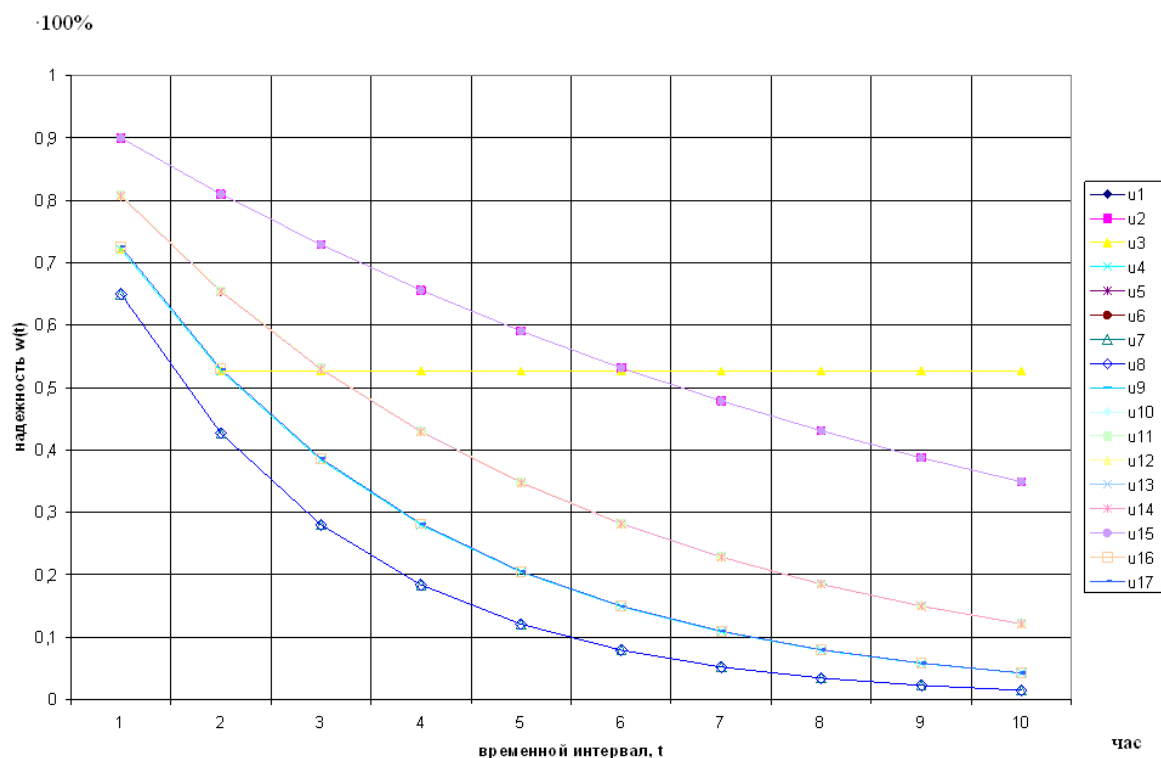


Рис. 6 – Надежность элементов системы при импульсном воздействии $\text{Imp}(0)=(0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9,0.9)$

Из проведенных исследований вытекает, что элементы u_7 и u_8 имеет наибольшую структурную уязвимость среди всех элементов системы, и, в первую очередь, необходимо проверить их предельную надежность.

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. 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. Маршалл В. Основные опасности химического производства / Пер. с англ. под. ред. Б.Б. Чайванова и А.Н. Черноплекова. – М.: Мир, 1989. – 671 с.
2. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение, 1984.
3. Колодкин В.М., Мурин А.В. Петров А.К., Горский В.Г. Количественная оценка риска химических аварий. – 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. Москва: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ, 1999. - 124 с.
6. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. - М.: СИНТЕГ, 2004. – 296 с.
7. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и системный синтез // Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие. - М.: Наука, 2002.
8. Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие / Под ред. Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. - М.: Наука, 2002. - 480 с.
9. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.

10. Владимиров В.А., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 230 с.
11. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М.: Наука, 1992. – 320 с.
12. Малинецкий Г.Г. Базовые модели и ключевые идеи синергетики. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, №70. М., 1994.
13. Кочкаров А.А., Кочкаров Р.А. Предфрактальные графы в проектировании и анализе сложных структур. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, №10. М., 2003.
14. Архипова И.Л., Кульба В.В. Управление в чрезвычайных ситуациях. -М.: РГГУ, 1998.
15. Яковлева И.А., Панина Е.А., Малежик А.В. Использование вероятностно-детерминистической модели для прогнозирования чрезвычайных ситуаций на опасных промышленных объектах. Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 10. – Харків: УЦЗУ, 2009.

Яковлева І.О., Малежик О.В.

Моделювання зовнішніх імпульсних впливів на основі ймовірно-детерміністичного підходу

Робота присвячена дослідженню стійкості складних технічних систем, об'єктів хімічної промисловості, при попаданні їх в умови зовнішніх впливів (форс-мажорні обставини). Будь-яка система схильна до впливу зовнішніх впливів. Важливо знати, як довго система буде в змозі виконувати свої функції (тобто зберігати функціональність) при отриманих в результаті впливів ушкодженнях. Розглядається модель розповсюдження імпульсних впливів за системою, яка дозволила виявити найбільш сильні і слабкі місця в її структурі. Модель дозволяє оцінювати стійкість елемента системи залежно від його положення в структурі.

Ключові слова: ризики, теорія самоорганізації-синергетики, теорія управління ризиками, теорія зв'язаних графів, модель розповсюдження зовнішніх впливів по системі

Yakovleva I.A., Malezhik A.V.

Modeling external pulses based on probabilistic-deterministic approach

Work was to study stability of complex technical systems, chemical industry, in contact with them in terms of external conditions (force majeure). Every system can be affected by external influences. It is important to know how long the system will be able to perform their functions (ie, to maintain functionality) when received by the impacts of corruption. We consider a model of pulse propagation effects on a system that helped identify the most strengths and weaknesses in its structure. Model allows us to evaluate the resistance element of the system depending on its position in the structure.

Key words: risk, the theory of self-organization, synergetics, the theory of risk management, the theory of weighted graphs, the model distribution of external influences on the system