

УДК 004.942

О.С. Савельева, канд. техн. наук, доц., Одесс.
нац. политехн. ун-т

ЭКСПРЕСС-МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В САПР

О.С. Савельева. Экспресс-модель надёжности сложных систем в САПР. Запропоновано для зниження часових витрат на автоматизоване проектування структурної надійності складних систем з резервуванням та прогнозування їх життєвого циклу застосовувати морфологічну експрес-модель, в структуру якої входить адаптивна математична модель у вигляді мережі інтелектуальних математичних елементів з резервуванням.

Ключові слова: надійність, складні системи з резервуванням, працездатність, морфологічна експрес-модель.

О.С. Савельева. Экспресс-модель надёжности сложных систем в САПР. Предложено для снижения временных затрат на автоматизированное проектирование структурной надёжности сложных систем с резервированием и для прогнозирования их жизненного цикла использовать морфологическую экспресс-модель, в структуру которой входит адаптивная математическая модель в виде сети интеллектуальных математических элементов с резервированием.

Ключевые слова: надёжность, сложные системы с резервированием, работоспособность, морфологическая экспресс-модель.

O.S. Savelyeva. Express-model of reliability of complex systems with backing-up in CADD. To reduce time losses on the automated design of structural reliability of complex systems with backing-up and to forecast their life cycle, it is proposed to use a morphological express-model, in the structure of which an adaptive mathematical model is included as a network of intellectual mathematical elements with backing-up.

Keywords: reliability, complex systems with backing-up, operability, morphological express-model.

При формировании технического задания на проектирование любого технического объекта в основные показатели качества, характеризующие его будущие основные свойства, в обязательном порядке входят показатели надёжности [1]. Необоснованный выбор показателей надёжности из их широкой номенклатуры и количественных оценок влияния внешних факторов может привести к неправильным решениям на этапе проектирования и разработки такого объекта. Поэтому проблема моделирования надёжности технических объектов одна из самых актуальных, особенно на этапе их автоматизированного проектирования, когда математическая модель (ММ) становится единственным источником информации об особенностях реакции ещё несуществующего объекта на будущие условия эксплуатации.

Большинство технических объектов — сложные системы, состоящие из отдельных узлов, деталей, агрегатов, систем управления и т.п. Анализ работоспособности такой системы связан с изучением ее структуры и взаимосвязей, которые определяют ее надежное функционирование. При анализе надежности сложных систем их вначале разбивают на элементы (компоненты), чтобы рассмотреть параметры и характеристики элементов, а затем оценить работоспособность всей системы.

Один из действенных методов повышения надежности системы — структурное резервирование, т.е. введение в структуру дополнительных резервных элементов, которые при абсолютной надежности элементов исходной системы не являются функционально необходимыми [2]. Это позволяет выявить узкие места в конструкции системы с т.зр. ее надежности, а на этапе проектирования разработать конструктивные меры по их устранению. Например, для обеспечения заданного уровня надежности системы можно заранее подсчитать необходимое количество резервных элементов или предъявить требования к надежности отдельных ее элементов.

Так как работоспособность сложных систем с резервированием — состояние, при котором она способна выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации, на протяжении расчетного срока службы, — характеристика вероятностная, то ее экспериментальная статистическая оценка существенно зависит от методики исследования [3]. Оценки численных характеристик работоспособности существенно затрудняются из-за постоянных повреждений системы во время эксплуатации.

Как правило, основной алгоритм процесса проектирования надежных систем включает: эвристический блок, отвечающий за генерирование новых и корректировку существующих структур объекта проектирования; аналитический блок, выполняющий оптимизацию параметров элементов структур, и интеллектуальный блок, осуществляющий прогнозирование надежности текущего варианта объекта и принимающий решение об адекватности характеристик текущего варианта техническому заданию на проект [4]. При прогнозировании надежности к недостаткам такого алгоритма можно отнести медленную работу аналитического и интеллектуального блоков.

В этих условиях он-лайн экспресс-оценка структурной надежности генерируемых вариантов системы становится невозможной из-за высокой временной сложности работы алгоритма, что, в итоге, отрицательно сказывается на качестве объекта в целом.

Для снижения сроков автоматизированного проектирования сложной системы с резервированием и повышения ее надежности предлагается идентификацию перехода текущего варианта структуры системы из работоспособного состояния в неработоспособное осуществлять при помощи введения в интеллектуальный блок нетрадиционной морфологической экспресс-модели (НМЭМ), содержащей интеллектуальную морфологическую модель (ИММ).

Тогда алгоритм проектирования заключается в следующем (рис. 1):

- на вход интеллектуального блока подается информация только об исходной структуре системы;
- построение подблока НМЭМ происходит автоматически;
- автоматически настраиваются значения оптимизируемых параметров элементов системы на некоторый скрытый многоцелевой квазиоптимум при обучении ИММ, и выполняется набор косвенных стандартных компьютерных процедур с помощью быстродействующего инвариантного программного модуля, не связанного напрямую ни с одним свойством системы или ее элементов, кроме ее структуры;
- на выходе подблока НМЭМ получается число, используемое для сравнения и ранжирования вариантов проектируемой структуры системы.

Введение подблока НМЭМ в интеллектуальный блок алгоритма проектирования позволяет также моделировать многочисленные стратегии, связанные с ремонтпригодностью и сохраняемостью системы. Кроме того, в НМЭМ можно отразить порядок, в котором происходят многократные отказы [4], что позволяет использовать ее в качестве морфологической марковской модели.

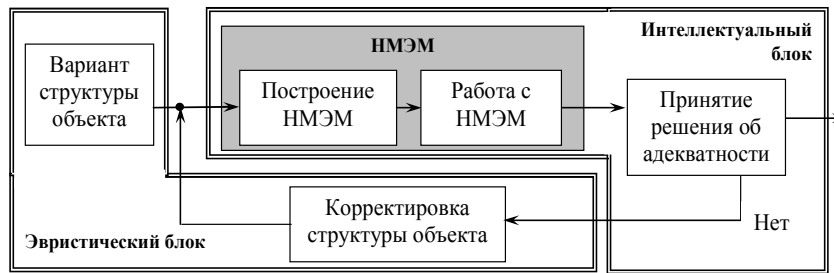


Рис. 1. Структура основного алгоритма проектирования надежности сложных систем с резервированием с использованием нетрадиционной морфологической экспресс-модели (НМЭМ)

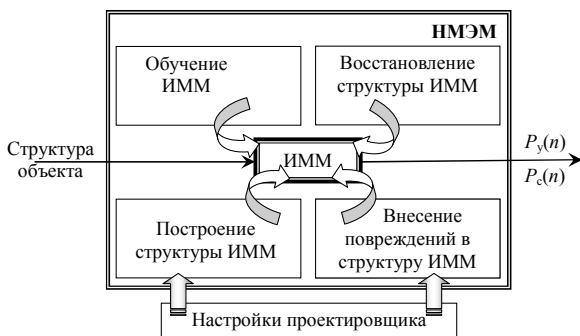


Рис. 2. Структурная схема НМЭМ с ИММ; $P_y(n)$, $P_c(n)$ — вероятности повреждения узлов и связей, соответственно

Перечисленным качествам НМЭМ обязана находящейся в ее структуре адаптивной ММ в виде ИММ, которая представляет собой сеть интеллектуальных математических нейроподобных элементов с резервированием, соединенных математическими нейроподобными связями (рис. 2). В отличие от традиционной нейронной сети (НС) ИММ позволяет моделировать повреждения и отказы структуры путем удаления необходимого количества связей и элементов в слоях ИММ. При этом распознаваемые ею образы могут не иметь структурного или параметрического отношения к проектируемому объекту (объектом проектирования может быть рама моста, а распознаваемыми образами — элементы рукописного шрифта), (рис. 3).

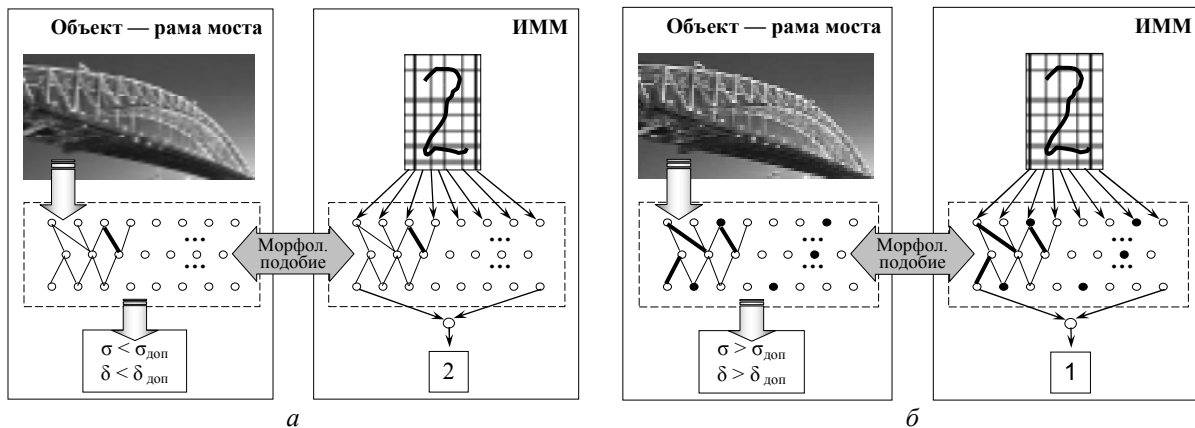


Рис. 3. Схема морфологического подобия между структурами объекта и ИММ: регистрация работоспособного (а) и неработоспособного (б) состояния

Общее между объектом проектирования и ИММ — морфологическое подобие структур — матриц элементов и связей между ними, что, собственно, и делает ИММ математической моделью объекта.

Если ИММ правильно распознает образ (рис. 3 а), то соответствующий элемент моделируемой системы не отказал и система находится в работоспособном состоянии (например, действующие напряжения σ или перемещения δ не превысили соответствующих допускаемых зна-

чений $\sigma_{\text{доп}}$ и $\delta_{\text{доп}}$ этих величин); если же модель неправильно распознает образ (рис. 3 б), то моделируемый элемент отказал.

Работа подблока НМЭМ описывается следующими алгоритмами.

Алгоритм создания ИММ:

- вход: вариант структуры системы;
- построение морфологически подобной ИММ;
- обучение ИММ на обучающих выборках;
- выход: обученная ИММ, морфологически подобная системе.

Алгоритм работы модели:

- вход: обученная ИММ, морфологически подобная системе;
- формирование множеств N_y узлов и N_c связей, вероятности повреждения которых $P_y(n) \neq 0$ и $P_c(n) \neq 0$; повреждением связи считается ее удаление из модели, а повреждением узла — удаление всех примыкающих к нему связей;

— в структуру ИММ случайным образом вносятся n_y или n_c повреждений, множества которых представляют собой сочетания $C_{N_y}^{n_y}$ и $C_{N_c}^{n_c}$, соответственно;

- принимается количество повреждений узлов $n_y=1$;
- принимается количество повреждений связей $n_c=1$;
- в ИММ вносятся показатели нагружения и запускается подпрограмма ее работы;
- по результатам работы ИММ при условиях текущей итерации фиксируется ее способность к определению отказа системы (например, распознала или не распознала ИММ заданный образ);
- три последних пункта повторяются статистически обоснованное количество раз в зависимости от значений N_y и N_c , в результате на соответствующих графиках отдельно для узлов и связей (см. рисунок 2) появляется точка с координатами n_y или n_c по оси абсцисс и значением отношения

$$P_{y,c}(n) = \frac{\text{количество правильных результатов работы ИММ}}{\text{количество итераций при текущем } n_y \text{ или } n_c}$$

по оси ординат, которое интерпретируется как статистическая вероятность безотказной работы НМЭМ при перебранных сочетаниях повреждений из N_y по n_y и N_c по n_c , соответственно;

- выход из цикла и останов при $n_y=N_y$ и $n_c=N_c$.

В итоге, когда n_y изменится от 1 до N_y или n_c соответственно от 1 до N_c , в окне программного модуля НМЭМ отображается множество точек, характеризующее экспериментальную зависимость $P_y(n)$ или $P_c(n)$. Эта зависимость описывается соответствующим законом распределения, используемым для прогнозирования надежности работы сложной системы с резервированием [2].

В результате получена возможность осуществлять информационную поддержку проектирования структурной надежности сложных технических систем с резервированием путем применения нетрадиционной морфологической экспресс-модели с ИММ.

Результаты работы прошли производственные испытания при модернизации систем аварийной защиты энергоблоков некоторых атомных станций Украины.

Литература

1. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы / М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко, С.В. Виноградская и др. — К.: Техніка, 2004. — 472 с.
2. Острейковский, В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. — М.: Высш. шк., 2003. — 408 с.
3. ГОСТ 27103-83. Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. Основные положения.
4. Князева, Е. Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. — М.: Наука, 1994. — 236 с.

References

1. Bezopasnost' atomnykh stantsiy: Informatsionnye i upravlyayushchie sistemy [Atomic Power Stations Safety: Information and Control Systems] / M.A. Yastrebenetskiy, V.N. Vasil'chenko, S.V. Vinogradskaya etc. — Kyiv, 2004. — 472 p.
2. Ostreykovskiy, V.A. Teoriya nadezhnosti [Reliability Theory] / V.A. Ostreykovskiy. — Moscow, 2003. — 408 p.
3. GOST 27103-83. Nadezhnost' v tekhnike. Kriterii otkazov i predel'nykh sostoyaniy. Osnovnye polozheniya [State Standard 27103-83. Reliability in Engineering. Criteria of Failure and Limiting States].
4. Knyazeva, E.N. Zakony evolyutsii i samoorganizatsii slozhnykh sistem [Laws of Evolution and Self-Organization of Complex Systems] / E.N. Knyazeva, S.P. Kur-djumov. — Moscow, 1994. — 236 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Тонконогий В.М.

Поступила в редакцию 1 июля 2011 г.