

УДК 004.942:691.342

А.Л. Становский, д-р техн. наук, проф.,
О.С. Савельева, канд. техн. наук, доц.,
Т.В. Бибик, магистр,
Одесс. нац. политехн. ун-т

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О.Л. Становський, О.С. Савельєва, Т.В. Бібик. **Прогнозування та попередження техногенних катастроф при автоматизованому проектуванні складних технічних систем.** Відмови складних систем часто визначаються збігом у часі (синхронізацією) подій, які окремо не є катастрофічно небезпечними. Запропоновано метод підтримки проектних рішень в САПР, що дозволяє заздалегідь виявляти набори небезпечних збігів подій і на етапі проектування вживати заходів до їхнього недопущення згодом.

А.Л. Становский, О.С. Савельева, Т.В. Бибик. **Прогнозирование и предупреждение техногенных катастроф при автоматизированном проектировании сложных технических систем.** Отказы сложных систем часто определяются совпадением во времени (синхронизацией) событий, которые по отдельности не являются катастрофически опасными. Предложен метод поддержки проектных решений в САПР, позволяющий заранее выявлять наборы опасных совпадений событий и на этапе проектирования принимать меры к их недопущению в последствии.

A.L. Stanovsky, O.S. Savelyeva, T.V. Bibik. **Forecasting and preventing technogenic accidents at the complex technical systems automated designing.** Failures of complex systems are often defined by coincidence in time (synchronization) of events which are not disasters taken separately. The method of design decisions support in CAD, allowing to reveal sets of dangerous events coincidence and at a design stage to take measures to their non-admission subsequently in advance, the is offered.

Многие современные технические системы из различных сфер человеческой деятельности имеют избыточную сетевую структуру либо легко сводятся к таковой, а надежность их функционирования зависит от факторов, моделирование которых невозможно без учета анализа такой структуры и требований, предъявляемых к системе пользователями. Проблема сетевой надежности исследуется давно, однако и в настоящее время точного решения даже для сетей ограниченного размера эта задача не имеет. Важным компонентом надежности систем является их живучесть, т.е. способность сложной технической системы выполнять основные функции после ряда повреждений и аварий и быстро восстанавливать эти функции в процессе дальнейшей эксплуатации [1]. Для повышения живучести системы ответственного назначения, как правило, проектируются так, чтобы их основные элементы были зарезервированы на случай отказа. Поиск оптимального резервирования — одна из основных задач САПР таких систем. Особо актуальной является задача проектирования защиты некоторого объекта от техногенной катастрофы и ее последствий.

Расследование многих техногенных катастроф в промышленности, энергетике, на транспорте и в других сферах человеческой деятельности чаще всего заканчивается выводом о том, что их причиной стал ряд детерминированных или случайных, но обязательно совпавших во времени событий [2...4]. Это означает, что если на условных графиках зависимости вектора \mathbf{X}_i ($i \in \overline{1, K}$) переменных состояния каждой из K подсистем объекта, на котором произошла техногенная катастрофа, от времени t отложить конкретные значения \mathbf{X}_{s_i} , определяющие события, то катастрофа с той или иной вероятностью может произойти тогда, когда моменты наступления этих событий τ_{s_i} совпадут (вертикаль τ_K на рис. 1).

При проектировании подобных объектов задача повышения их живучести сводится к двум основным подзадачам:

— выявить как можно более полный набор событий, с той или иной степенью вероятности приводящих к катастрофе;

— предусмотреть их гарантированное полное или частичное недопущение, компенсацию или, в крайнем случае, десинхронизацию в период эксплуатации.

Поэтому целью настоящей работы явилась разработка САПР объектов ответственного назначения, а также систем обеспечения их живучести, основанной на прогнозировании развития их жизненного цикла, выявлении “опасных” совокупностей неблагоприятных факторов и недопущении их возникновения или синхронизации.

Живучесть технических систем определяется свойствами их элементов и связей между ними. При этом при наличии нескольких элементов в системе важной проблемой оценки живучести последней является учет неравной значимости каждого элемента и его вклада в живучесть системы в целом [5]. Предложенные для этого логико-вероятностные модели позволяют не только рассчитывать параметры надежности сложных систем, но и оценивать роль конкретных элементов в обеспечении надежности системы в целом.

К сожалению, “проклятие размерности” существенно ограничивает возможности применения этих моделей. Поэтому для решения первой подзадачи был привлечен метод морфологического моделирования, основанный на коррелированном поведении топологически подобных технических и информационных сетей [6].

Преимуществом известного метода является резкое повышение скорости исследования влияния на состояние объекта совокупностей неблагоприятных факторов, позволяющее осуществить их полный перебор за реальный промежуток времени. Недостатком — невозможность учета неравнозначности элементов моделируемых сетей с точки зрения их вклада в живучесть системы в целом и в рамках морфологической модели

Неравнозначность элементов является обязательным условием функционирования большинства систем. Так, в атомной энергетике классификация элемента АЭС по влиянию на безопасность осуществляется на четырех уровнях: к 1-му классу относятся твэлы и элементы АЭС, отказы которых являются исходными событиями, приводящими к повреждению твэлов и запроектным (непредусмотренным проектом, а потому самым тяжелым) авариям, ко 2-му классу — элементы АЭС, отказы которых являются исходными событиями, приводящими к повреждению твэлов и проектным авариям, а также элементы систем безопасности, отказы которых приводят к невыполнению этими системами своих функций, к 3-му — элементы, выполняющие контрольные функции радиационной защиты, и, наконец, к 4-му — остальные элементы [7].

Новизной является модернизация метода морфологических моделей, позволяющая учитывать подобные обстоятельства. Морфологическая модель представляет собой нейронную сеть, топологически подобную дискретизированному (естественно или искусственно) техническому объекту [6].

Такую сеть обучали стандартным методом выполнению некоторого тривиального задания, например, распознаванию простых образов. Далее, повреждая нейронную сеть путем удаления

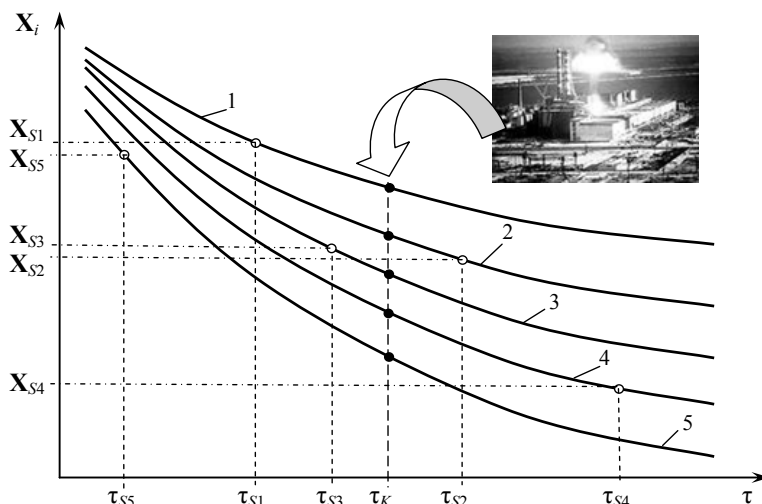


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая событийно-временные предпосылки техногенных катастроф: $i = 1$ (1); 2(2); 3 (3); 4 (4); 5 (5); \circ — несовпавшие события; \bullet — совпавшие события

элементов, по ее работоспособности судили о работоспособности эквивалентно поврежденного моделируемого объекта. При этом неравнозначность в виде целочисленного коэффициента N вводили путем соотношения одному элементу технического объекта N эквивалентных между собой элементов морфологической модели (рис. 2).

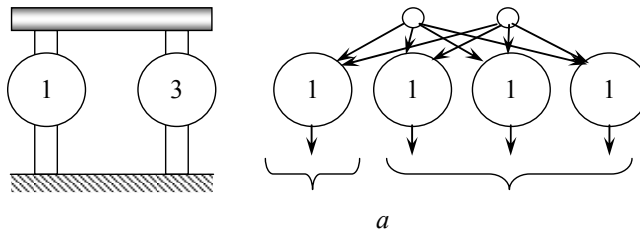


Рис. 2. Схема учета неравнозначности элементов моделируемых сетевых структур

В примере (рис. 2, а) у сетевого технического объекта два неравнозначных элемента, причем, вклад правого (по рисунку) в живучесть объекта в целом в 3 раза выше вклада левого. В соответствующей морфологической модели (рис. 2, б) элементов четыре, все они равнозначны, модель обучается как четырехэлементная, но моделирование повреждения левого элемента технического объекта осуществляется путем удаления одного элемента морфологической модели, а повреждения правого — трех.

Для решения задачи десинхронизации использовали математические модели элементов как динамических систем, движущихся во времени в пространстве своих состояний X_i . Применяя к моделям преобразование [8], получали моменты наступления событий X_{S_i} , которые позволяли контролировать эффективность десинхронизации на этапе автоматизированного проектирования.

Пакеты прикладных программ, разработанные для решения перечисленных задач, были объединены в САПР “КАТАSTOP” (рис. 3).

САПР состоит из блока построения морфологической модели объекта проектирования, блоков работы с моделью: определения опасных сочетаний событий в объекте, расчетов вероятности и времени их наступления. В случае выявления информации о реальной угрозе таких сочетаний в работу включается блок десинхронизации, который предлагает проектные решения для разведения опасных событий во времени (десинхронизация), а также, по возможности, меры по их недопущению или своевременной компенсации.

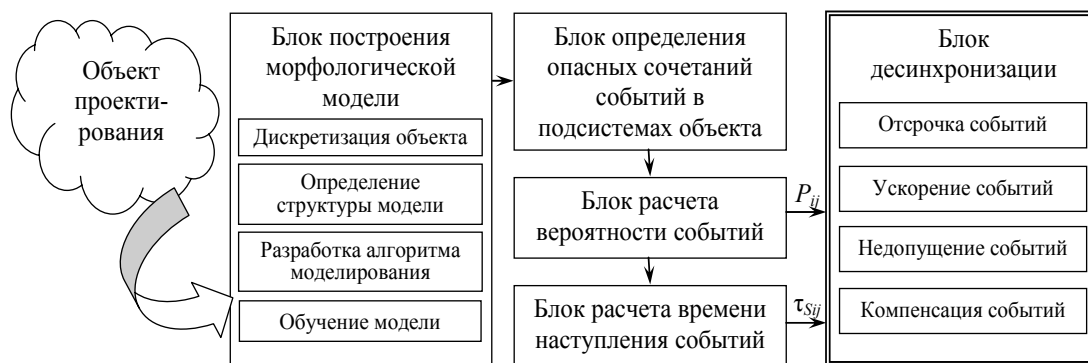


Рис. 3. Структурная схема САПР “КАТАSTOP”

Научные результаты, а также разработанная САПР “КАТАSTOP” были практически использованы при разработке методологии группирования оборудования и определения методов повышения квалификации при проектировании оборудования для энергоблока № 2 ОП “Хмельницкая АЭС”.

Группирование выполняли на основе следующих однозначно определенных критериев подобия групп (одинаковые типы, требования к функциональной способности в аварийных условиях окружающей среды и требования к сейсмической устойчивости): тип оборудования; функциональные требования в “жестких” условиях окружающей среды; сейсмическая устойчивость, таким образом, чтобы была обеспечена возможность проведения совместной квалификации групп оборудования.

Такой подход позволил распространить результаты повышения квалификации одного элемента на всю группу в целом.

Группирование оборудования выполнялось с целью повышения эффективности проектирования с точки зрения повышения надежности энергоблока, оптимизации объема последующих работ и установления адекватных методов повышения квалификации оборудования, составляющего каждую отдельную группу (для проведения совместной квалификации группы оборудования).

Литература

1. Беляев, Ю.К. Надежность в технических системах: справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин; под ред. И.Н. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. — 606 с.
2. Чернобыльская катастрофа: причины и последствия: Экспертное заключение. — Минск: Сэнмурв, 1993. — Ч.1. — 215 с.
3. Козлитин, А.М. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов. — Саратов: СГТУ, 2000. — 215 с.
4. Денисова, П. Тайны катастроф / П. Денисова. — М.: Рипол классик, 2000. — 336 с.
5. Оборский, Г.А. Построение эффективных систем управления надежностью сложных технических систем / Г.А. Оборский // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 2000. — Вып. 1. — С. 17 — 19.
6. Моделирование отказоустойчивости в САПР сложных технических систем / А.Л. Становский, В.М. Тонконогий, О.С. Савельева, О.Е. Плачинда // Вестн. Нац. техн. ун-та “Харьк. политехн. ин-т”. — 2007. — Вып. 73. — С. 133 — 138.
7. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы / М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко, С.В. Виноградская и др. — К.: Техніка, 2004. — 472 с.
8. Синхронізація подій при роботі систем автоматизованого проектування / Т.В. Лисенко, Т.І. Носенко, О.Л. Становський та ін. // Процеси мех. обробки в машинобудуванні. — Житомир: ЖДТУ, 2007. — Вып. 5, Ч. 1. — С. 188 — 196.

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

Поступила в редакцию 6 июля 2010 г.