

15. Soleymani F. New derivative-free quasi-secant algorithm for solving non-linear equations / F. Soleymani, M. Shari // World academy of Sci., Eng. and Technology. – 2009. – Vol. 31. – P. 719–721.
16. Thukral R. New family of higher order Steffensen-type methods for solving nonlinear equations / R. Thukral // J. Modern Methods in Numerical Mathematics. – 2012. – Vol. 3, № 1. – P. 1–10.

Поступила в редакцию
23.04.13

УДК 504.06

В. В. Соловей, д-р техн. наук

Л. И. Зевин, канд. техн. наук

В. В. Инкулис

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, e-mail:solovey@ipmach.kharkov.ua)

ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассматривается методика оценки рисков, возникающих при эксплуатации опасных сложных технических объектов, к которым относится газотранспортная система Украины. Для решения проблемы расчета вероятностей аварий в системах, содержащих большое число единиц взаимодействующих элементов, предлагается специализированный объектно-ориентированный подход. Применение этого подхода на практике позволяет ускорить разработку предметного инструментария для определения и анализа рисков с целью повышения техногенно-экологической безопасности газотранспортной системы.

Розглядається методика оцінки ризиків, що виникають при експлуатації небезпечних складних технічних об'єктів, до яких належить газотранспортна система України. Для розв'язання проблеми розрахунку імовірностей аварій у системах, що містять велику кількість одиниць взаємодіючих елементів, пропонується спеціалізований об'єктно-орієнтований підхід. Застосування цього підходу на практиці дозволяє прискорити розробку предметного інструментарію для визначення й аналізу ризиків з метою підвищення техногенно-екологічної безпеки газотранспортної системи.

Введение

В настоящее время важной составляющей общей проблемы управления техногенно-экологической безопасностью больших систем является проблема управления безопасностью особых видов систем, сложных как по разнообразию возможных видов функционирования, так и по разнообразию системообразующих факторов. Они включают определенную территориально ограниченную часть техносферы, в которой природные, социальные и производственные структуры и процессы связаны между собой взаимоподдерживаемыми потоками вещества, энергии и информации. К таким большим системам, в частности, относятся газотранспортные системы (ГТС).

Развитие газотранспортной отрасли привело к формированию специфической производственно-социально-экологической инфраструктуры территориально-промышленных комплексов, для которых характерна концентрация значительных материальных потоков и энергетических ресурсов, обладающих повышенной опасностью для человека и окружающей среды.

Безопасность систем в значительной степени определяется их надежностью, а экономически оправданное обеспечение уровня надежности составляет основную цель функционирования систем управления техническим состоянием и целостностью ГТС. На совре-

менном этапе развития вычислительных средств управление техногенно-экологической безопасностью крупных комплексов целесообразно обеспечивать на основе математического моделирования процесса изменения их состояния [1]. Так, например, в этом направлении ОАО «Газпром» ведет работы по созданию системы управления техническим состоянием и целостностью ГТС с использованием методов управления рисками, моделирования и прогнозирования. В целях повышения надежности ГТС Украины ДК «Укртрансгаз» также создает и внедряет интегрированную систему управления качеством в соответствии с международными стандартами ISO 9001, ISO 14001.

Для разработки превентивных организационных, технических и технологических мероприятий, направленных на предотвращение или минимизацию негативных последствий техногенной деятельности, необходимо располагать инструментарием, обеспечивающим оценки вероятностей возникновения аварийных ситуаций и масштабов их последствий [2, 3]. Наличие такого инструментария дает возможность предсказывать потенциальные угрозы и разрабатывать способы эффективного их снижения [4, 5].

Разработка инструментария для оценки негативных последствий от эксплуатации ГТС как большой системы базируется, в первую очередь, на декомпозиции системы на части, по отношению к которым достижимо решение частных задач, образующих в совокупности решение задачи для всей системы. Подсистемы могут характеризоваться оценками своих показателей безопасности и надежности, а при учете масштабов последствий аварийных событий – и оценками рисков.

Для расчетов показателей надежности сложных технических систем (СТС) разработано большое число методов [6]. Наибольшее распространение получили логико-вероятностные методы. Практическое их применение даже для систем, состоящих из более чем двадцати элементов, оказывается громоздкой процедурой, а сложная техническая система, такая, как ГТС, состоит из большого числа элементов. В связи с этим для расчета рисков и показателей надежности больших систем разработан объектно-ориентированный метод [7], основанный на распознавании базисных образов на ЭВМ в топологии структурной схемы системы.

Основная часть

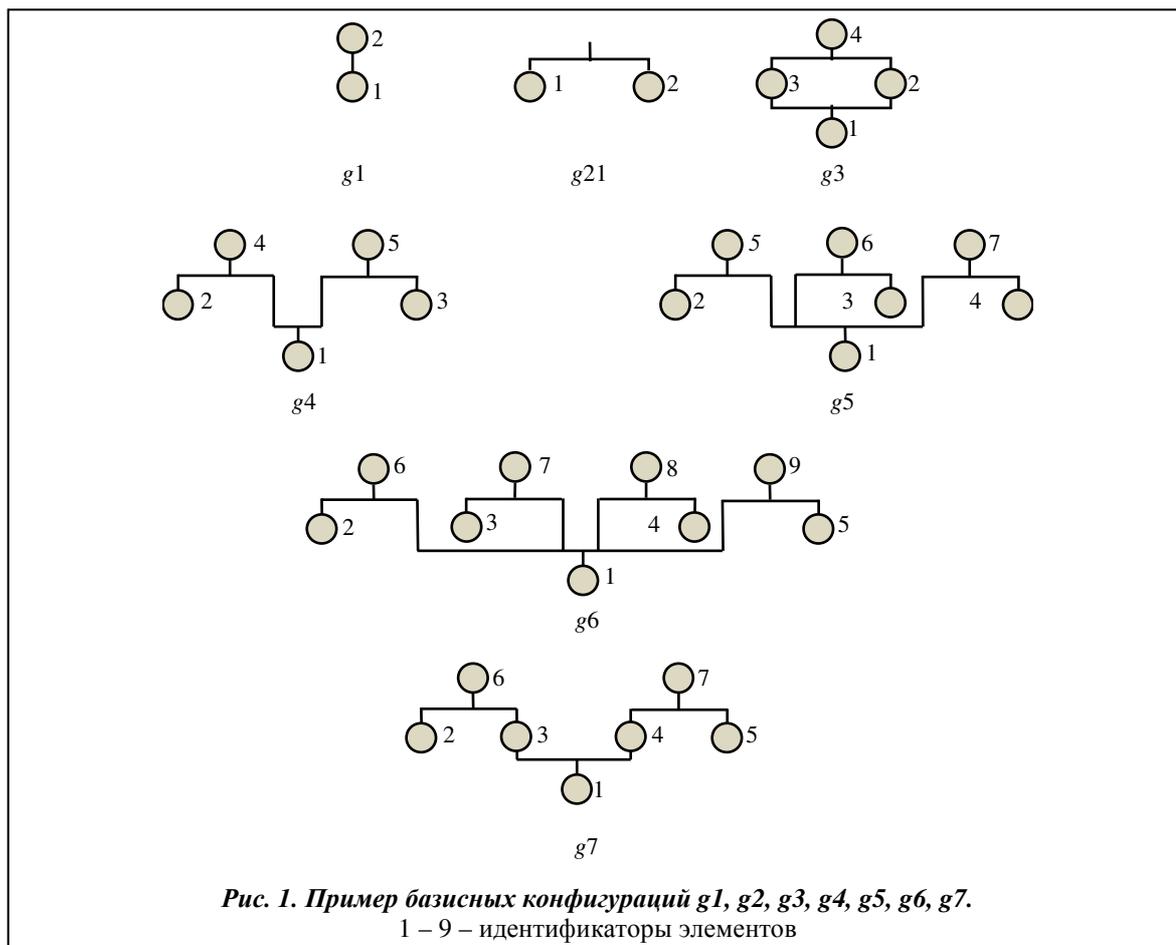
Риск возникновения техногенных аварий не возникает сам по себе, а инициируется отказами технической системы, действиями людей или внешними причинами – исходными событиями. Предполагается, что известны состав конечного числа исходных событий h_1, h_2, \dots, h_N , оценки вероятностей их возникновения $P(h_1), P(h_2), \dots, P(h_N)$, а также масштабы их последствий.

Любое одно из исходных событий h может вызвать i последствий $V(h, i)$ различных масштабов, которые могут произойти с вероятностями $\bar{P}(h, i)$, зависящих от степени подготовленности системы к отражению инициирующих событий, от путей протекания аварии и способов компенсации последствий. Величина частного риска $R(h, i)$, инициированного событием h , определяется как произведение [6]

$$R(h, i) = \bar{P}(h, i) \cdot V(h, i).$$

Среди последствий масштабов i существует доминирующее последствие. Руководствуясь позицией крайнего пессимизма, примем это доминирующее последствие масштаба $V(h)$ как единственное последствие инициирующего события h . Тогда выражение для риска упростится и примет вид $R(h) = P(h) \cdot V(h)$.

Допустим, что произошло событие h . Путь парирования события h обозначим символом G , а вероятность его осуществления – символом $P(G)$. Событие G может произойти только вместе с событием h . Считая эти события независимыми, получим $\bar{P}(h) = P(h) \cdot P(G)$, а $R(h) = P(h) \cdot P(G) \cdot V(h)$. В силу малых вероятностей событий h_1, h_2, \dots, h_N их с большой долей уверенности можно принять за несовместные события. Тогда оценка общего риска эксплуатации сложной технической системы примет вид



$$R_{\text{общ}} = \sum_{k=1}^N P(h_k) \cdot P(G_k) \cdot V(h_k).$$

Одними из центральных трудностей, обуславливающих расчеты надежности СТС, являются трудности вычисления $P(G_k)$ и, соответственно, $R_{\text{общ}}$. Рассмотрим подход, позволяющий вычислять на ЭВМ риски и показатели структурной надежности СТС больших систем.

Графологическую модель безотказной работы системы представим в виде структурной схемы, составляемой из ограниченного числа типовых базисных геометрических образов и имеющей информационное отождествление. В эту совокупность должно быть включено последовательное соединение и могут быть включены параллельные соединения, байпасные структуры, резервированные системы различных типов с идеальными и неидеальными переключателями. В состав детерминированной совокупности базисных образов может быть включено любое структурное соединение, которое допускает вычисление его надежности как самостоятельного структурного объекта. Единственное требование к совокупности базисных геометрических образов – это их информационная однозначная различимость на ЭВМ. Для примера на рис. 1 дан набор базисных конфигураций, удовлетворяющий требованию информационной различимости, позволяющий создавать большое число разнообразных структурных схем и, следовательно, рассчитывать структурную надежность соответствующих технических систем.

Предполагается, что вероятность отказа или другой показатель надежности базисной конфигурации, в зависимости от характера решаемой задачи, могут быть подсчитаны либо по формуле, которую надо вывести, либо по расчетному алгоритму. Ниже приведены рас-

четные формулы вероятностей отказов базисных структур, данных на рис. 1. Они определены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} Q(g_1) &= 1 - (1 - q_1)(1 - q_2); & Q(g_2) &= q_1 q_2; & Q(g_3) &= 1 - (1 - q_2 q_3)(1 - q_1)(1 - q_4); \\ Q(g_4) &= (1 - q_1) q_4 q_5 + q_1 [1 - (1 - q_4)(1 - q_2)] \cdot [1 - (1 - q_3)(1 - q_5)]; \\ Q(g_5) &= (1 - q_1) \cdot q_5 q_6 q_7 + q_1 [1 - (1 - q_5)(1 - q_2)] \cdot [1 - (1 - q_6)(1 - q_3)] \cdot [1 - (1 - q_7) \times \\ &\times (1 - q_4)]; & Q(g_6) &= (1 - q_1) q_6 q_7 q_8 + q_1 [1 - (1 - q_6)(1 - q_2)] \cdot [1 - (1 - q_7)(1 - q_3)] \times \\ &\times [1 - (1 - q_8) \cdot (1 - q_4)] \cdot [1 - (1 - q_9)(1 - q_5)]; & Q(g_7) &= (1 - q_1) [1 - (1 - q_6)(1 - q_2 q_3)] \times \\ &\times [1 - (1 - q_7)(1 - q_5 q_4)] + q_1 [1 - (1 - q_6)(1 - q_2)] \cdot [1 - (1 - q_7)(1 - q_5)]. \end{aligned} \right\}$$

где q_i , ($i = 1, 2, \dots, 9$) – вероятность отказа i -го элемента; $Q(g_k)$, ($k = 1, 2, \dots, 7$) – вероятность отказа k -й базисной конфигурации.

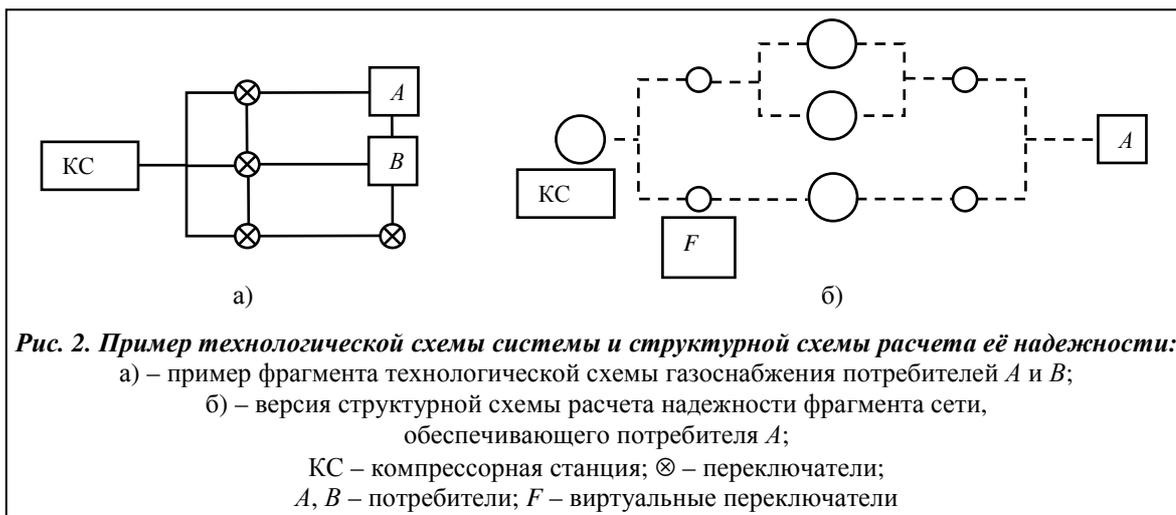
В качестве базисных элементов базисных конфигураций в структурной схеме системы должны использоваться простые элементы, имеющие собственное значение показателей надежности, и сложные элементы, представляющие самостоятельные подсистемы, которые не имеют в исходных данных собственных значений показателей надежности.

Метод расчета вероятности отказа системы или другого показателя надежности состоит в распознавании базисных конфигураций на ЭВМ в составе структурной схемы, а затем и исключения их из структурной схемы путем замены на один простой элемент с собственным значением показателя надежности. После исключения из схемы всех базисных конфигураций в схеме останется единственный элемент, показатель надежности которого определяет показатель надежности системы. В процессе расчета показателя надежности структурная схема последовательно модифицируется и в новом виде участвует в расчете – распознаются новые базисные конфигурации и исключаются из состава структурной схемы системы. Такая организация структурных моделей из базисных геометрических образов и способ расчета показателя надежности системы позволяет рассматривать структурные схемы с любым конечным числом элементов. Для обоснования подхода доказана следующая теорема. Если структурная схема S образована из базисных конфигураций g_1, g_2, \dots, g_m , то существует алгоритм, который распознает S .

Недостаток такого метода расчета надежности СТС состоит в том, что метод не универсален, он не может быть применен к любой СТС. Это обусловлено тем, что могут найтись системы, структурные схемы которых непредставимы ранее введенным множеством базисных конфигураций – потребуется пополнение множества базисных конфигураций и развитие программного обеспечения, распознающего в СТС новую информационную базисную структуру.

Метод удобен при подготовке программного обеспечения для решения ряда задач, связанных с многократным вычислением надежности систем. Рассмотрим одну из таких задач, а именно задачу оптимизации восстановительных работ системы на примере сети газоснабжения потребителей. На рис. 2 приведен пример технологической схемы системы и структурной схемы расчета её надежности. На рис. 2, а дан пример фрагмента технологической схемы газоснабжения потребителей A и B , а на рис. 2, б представлена версия структурной схемы расчета надежности фрагмента сети, обеспечивающей только потребителя A . Схема составлена с использованием базисных конфигураций g_1 и g_2 .

Пусть сеть газоснабжения состоит из совокупности подсистем, подобных фрагменту сети, приведенной на рис. 2, а. В качестве показателя надежности сети и ее элементов выберем коэффициент готовности (КГ). Для каждого одного потребителя существует техническая система его обеспечения (СОП) и структурная схема расчета надежности СОП. Обозначим сеть символом S . Сеть рассматривается как множество СОП S_k , где $k = 1, 2, \dots, L$. Обозначим символом z_i затраты на ремонт i -го элемента ($i = 1, 2, \dots, n$), v_k – часовые относительные расходы на СОП S_k , а Π_S – план ремонта сети. Пропуская ряд обозначений и деталей, поставим задачу. Требуется построить такой план Π_S ремонта сети S , чтобы суммарный относительный риск Y_S° от отказа сети был минимален, КГ Γ_{S_k} СОП S_k были не меньше тре-



буемых значений $\Gamma_{S_k}^*$, а суммарные затраты Z_S^* на ремонт сети не превосходили величины Z_S^{**} . В математическом виде задача может быть записана так:

$$Y_S^o = \min \sum_{k=1}^L (1 - \Gamma_{S_k}) \cdot v_k, \quad \Gamma_{S_k} \geq \Gamma_{S_k}^*, \quad Z_S^* = \min \left(\sum_{k=1}^L Z_k \right) \leq Z_S^{**}, \quad k = 1, 2, \dots, L. \quad (1)$$

Принимаем, что в задаче (1) все величины вычисляемы. Изменение затрат Z_k ($k = 1, 2, \dots, L$) при вариантной попытке определить рациональный план путем ремонта одного элемента ведет к изменению КГ Γ_{S_k} и, соответственно, к изменению суммарного риска Y_S^o . Среди рисков $(1 - \Gamma_{S_k}) \cdot v_k$ отказов СОП S_k найдется такой, который имеет максимальное значение. Уменьшение максимального риска среди рисков СОП S_k ($k = 1, 2, \dots, L$) должно вести к наибольшему эффекту – к минимизации суммарного риска отказа сети. Вычисление рисков $(1 - \Gamma_{S_k}) \cdot v_k$ отказов СОП требует вычислений КГ Γ_{S_k} СОП S_k . Эти расчёты показателей надежности Γ_{S_k} можно осуществить вышеприведенным топологическим методом.

Выводы

Аварии на газотранспортных комплексах приводят к гибели людей, к разрушению зданий, оборудования, к уничтожению природной среды, к сокращению поставок требуемых объемов газа или даже к их прекращению. Снижение частоты аварий и масштабов их последствий вызывает необходимость выполнять количественные оценки рисков и на этой основе управлять ими, предусматривая доступный спектр мероприятий по обеспечению безопасности. Несмотря на проводимые модернизации и реконструкции технических объектов газотранспортной системы, основные ее компоненты – трубопроводная сеть и газоперекачивающие установки – в структурном отношении мало изменяются. Поэтому для расчетов показателей риска, включающих неотъемлемой частью расчет надежности сетей, представляется целесообразным применение объектно-ориентированного метода, основанного на построении расчетной графологической схемы системы с помощью базисных конфигураций, которые могут быть составлены заранее с необходимой полнотой, и распознавании их информационных образов при расчете значений показателей надежности. Положительные стороны метода также могут быть использованы при решении задач планирования надежности систем путем оптимизации объемов восстановительных работ. Соответствующее программное обеспечение, ориентированное на применение метода на практике для решения различных задач, в частности задач планирования ремонтов на основе оценок рисков, может войти в качестве самостоятельного программного комплекса в информационно-аналитические системы отрасли, обеспечивающие решение задач управления техногенно-

экологическими рисками при организации процесса эффективного и устойчивого функционирования промышленных комплексов газотранспортной инфраструктуры.

Литература

1. *Дорогунцов С. И.* Управление техногенно-экологической безопасностью / С. И. Дорогунцов, А. Н. Ральчук. – Киев: Наук. думка, 2002. – 198 с.
2. *Маршалл В.* Основные опасности химических производств: Пер. с англ. / В. Маршалл. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
3. *Брушлинский Н. Н.* Системный анализ и проблема пожарной безопасности народного хозяйства / Н. Н. Брушлинский, В. В. Кафидов, В. И. Козлачков. – М.: Стройиздат, 1988. – 412 с.
4. *Сергиенко И. В.* Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации / И. В. Сергиенко. – Киев: Наук. думка, 1985. – 323 с.
5. *Воробьев Ю. Л.* Теория риска и технологии обеспечения безопасности: Подход с позиций нелинейной динамики / Ю. Л. Воробьев, Г. Г. Малинецкий, Н. А. Махутов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Ч. 1. – 1998. – Вып. 11. – С. 26–41; Ч. 2. – 1999. – Вып. 1. – С. 18–41.
6. *Острейковский В. А.* Теория надежности / В. А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
7. *Методика анализа рисков при оценке безопасности сложных технических систем применительно к объектам химико-технологического комплекса / В. В. Соловей, Л. И. Зевин, А. В. Кошельник, В. Л. Бессонный // Хімія, хімічна технологія та екологія: Зб. наук. пр. – Харків: НТУ «ХП». – 2007. – № 32. – С. 33–39.*

Поступила в редакцию
30.04.13