

6. Для существенного уменьшения плоскостных колебаний диска УХД необходимо применение приводов с высокоравномерным вращением исполнительного вала при низкочастотном спектре его крутильных и радиальных колебаний. Выполненные экспериментальные исследования показали, что такие требования обеспечиваются пневмоэлектрическим приводом с аэростатической подвеской вала.

Библиографические ссылки

1. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М. : Наука, 1978.
2. Ладыженская Д. А. Смешанная задача для уравнений гиперболического типа. – М., 1983.
3. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний. – М. : Наука, 1971. – 240 с.
4. Писаренко Г. С. Колебания механических систем с учетом несовершенной упругости материала. – Киев : Наук. думка, 1987.
5. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. – М. : Наука, 1979. – 832 с.

V. P. Taranuha, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

V. E. Lyalin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

Mathematical modelling of disk fluctuations of the data storage devices in the plane of its rotation

The calculation procedure of flat elastic fluctuations of data storage device disks is offered. This technique is applied to study the disk forced fluctuations actuated by the torsional and radial vibrations of a device power shaft with the account of dissipative properties of a disk material which, in turn, are defined experimentally.

Keywords: data storage devices, disk fluctuation

Получено: 02.11.11

УДК 004.421.2:519.17

М. В. Телегина, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ КУСТА СОБЫТИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ РИСКА

Рассмотрено применение аппарата куста событий к оценке экологической безопасности на потенциально опасных объектах. Предложено использование байесовской сети для оценки экологической ситуации. Приведен пример программной реализации определения вероятности поражения персонала на примере азотно-кислородной станции.

Ключевые слова: байесовские сети, ациклический граф, экологическая безопасность, куст событий, причинно-следственная связь, вероятность поражения

На основании анализа техногенных рисков вероятность возникновения нештатных и аварийных ситуаций на потенциально опасных объектах (ПОО) у нас в стра-

не и за рубежом остается высокой. Поэтому задачи создания эффективных методов и систем оценки экологической безопасности продолжают сохранять свою актуальность. Такие системы должны давать адекватную оценку состоянию безопасности на объекте, просчитывать возможные варианты событий и выдавать прогноз развития ситуации.

Существует ряд систем поддержки принятия решений (СППР) в случае нештатных ситуаций на ПОО [1, 2, 3]. Как правило, во всех системах используется моделирование возможного аварийного процесса и оценивается пространственное распространение облака загрязняющих веществ в атмосфере. Необходимо отметить СППР, описанную в работе [4], в которой рекомендуемые меры по обеспечению экологической безопасности основываются на вероятности поражения населения, рассчитанной по полученной дозе ЗВ. Особого внимания заслуживает работа [5], в которой рассмотрена последовательность формирования многоуровневой системы случайных событий и прогнозирования ЧС.

Предлагается для оценки экологической ситуации и определения вероятности поражения персонала при аварийной ситуации на объекте, исходя из выявленных причинно-следственных связей, *использовать аппарат куста событий* [6, 7]. Куст событий – информационная модель предметной области, представляющая собой совокупность причинно-следственных связей таких, что:

- некоторые причины не являются следствиями (т. е. являются первопричинами);
- некоторые следствия не являются причинами (т. е. являются окончательными результатами);
- некоторые следствия одновременно являются причинами (т. е. являются промежуточными причинами/следствиями);
- пара причин может иметь только одно следствие;
- из тех причин, которые не являются следствиями, часть имеет собственные следствия, а другая часть имеет следствия только совместно с какой-то иной причиной, имеющей и собственные следствия.

По сути, куст событий – это тоже, как и граф, конструкция из узлов и ребер, удовлетворяющая определенным условиям. В текстовой форме куст событий – это список определенных простых и сложных высказываний. В отличие от метода ориентированных графов с применением прямых, косвенных, положительных и отрицательных связей [8] узлы куста событий обозначают высказывания, а ребра (стрелки) – отношения между высказываниями, которые отражают отношения «причина – следствие» между сущностями, которые эти высказывания описывают.

Аппарат куста использует конструкции, названные ранее семантической сетью. Сетевые модели формально можно задать в виде $H = \langle I, C_1, C_2, \dots, C_n, \Gamma \rangle$. Здесь I – множество информационных единиц; $C_1, C_2, \dots, C_n$ – множество типов связей между информационными единицами. Отображение Γ задает между информационными единицами, входящими в I , связи из заданного набора типов связей.

Можно выделить два основных типа задач апостериорного вывода на кусте событий:

- нахождение вероятности следствия воздействия ПОО на окружающую среду, персонал и население – по вероятностям причин: данным технологического, технического, социального, экологического и санитарно-гигиенического состояния объекта;
- по вероятностям симптомов (например, уровня заболеваемости персонала и населения в зоне ПОО) найти вероятности причин.

Обе задачи решаются с помощью сведения задачи вывода на кусте событий к задаче вывода в эквивалентной ему байесовской сети доверия с последующей интерпретацией результата вывода на кусте вероятностей [9].

В байесовской сети, как в ориентированном графе, смысл дуги состоит в том, что одна вершина оказывает непосредственное влияние на другую. По этой причине байесовские сети доверия иногда называют *причинно-следственными сетями*, в которых случайные события соединены причинно-следственными связями [10].

Фактическое определение вероятностей причин, событий в задаче оценки экологической безопасности деятельности ПХОО может быть более сложной задачей, чем определение факторов, влияющих на нее. Поэтому первоочередной задачей является составление топологии куста событий и только после этого распределение условных вероятностей для каждой переменной с учетом ее родителей.

Для оценки экологической ситуации в зоне влияния потенциально химически опасного объекта улучшение экологической обстановки в зоне влияния потенциально опасного химического объекта (ПХОО) за счет своевременного планирования и выполнения природоохранных мероприятий непосредственно будет влиять на уменьшение отклонений от технологического режима и частоту отклонений от регламента выполнения работ. В свою очередь, соблюдение технологического режима приведет к снижению фактов негативного влияния объекта на персонал, население и окружающую среду, что качественно скажется на общей оценке экологической ситуации [11, 12]. Фрагмент байесовской сети доверия для оценки экологической безопасности ПОО представлен на рис. 1.

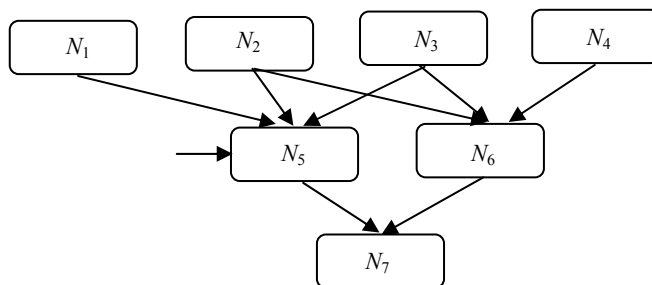


Рис. 1. Фрагмент байесовской сети доверия: N_1, N_2 — ландшафтные условия, сезонность, время суток, метеоусловия; N_3, N_4 — технологические и технические характеристики работы ПХОО, условия хранения, объем и параметры загрязняющих веществ; N_5, N_6 — воздействие загрязняющих веществ на персонал, население и окружающую среду; N_7 — оценка экологической безопасности объекта

Предполагается использовать комбинацию сетевых и продукционных моделей представления знаний, когда декларативные знания описываются в сетевом компоненте модели, а процедурные знания — в продукционном. Тогда интерпретация недетерминированным ядром продукционной системы, например когда при посылке A следствие B может выполняться и не выполняться, может быть интерпретирована следующим образом: *если A , то возможно B* [13].

Так называемые элементарные последовательности отражают причинно-следственные связи, когда одно высказывание с некоторой долей вероятности влечет другое. Элементарные последовательности группируются в сложные, отображая косвенные причинно-следственные связи, и в конечном итоге дадут вероятно-

стную оценку сложившейся ситуации. Построения кустов событий позволяют реконструировать сценарии ситуации на ПОО как аварийные, так и штатные, любые логически возможные в рассматриваемой обстановке. Особенностью разрабатываемой технологии оценки ситуации с применением куста событий будет наличие как непосредственного, так и косвенного (через другие вершины) влияния первичных процессов и сущностей.

Поскольку аварийные (нештатные) ситуации могут быть различны как по масштабам (внутри помещения, на территории объекта, в СЗЗ), так и по факторам, принимающим в них участие (вид ЗВ, количество персонала и т. п.), то существует необходимость определения вероятности риска поражения персонала с учетом имеющихся систем производственной безопасности, информационной и физической защиты на ПОО.

Программно реализовано применение куста событий и байесовской сети доверия для оценки вероятности риска поражения персонала на примере поражающих факторов, имеющих на азотно-кислородной станции. На основании исследования технологического процесса и анализа нештатных ситуаций на объекте [14] проведено формирование ациклического графа по выявленным событиям. Для создания ациклического графа были взяты два масштабных события, наиболее возможных на азотно-кислородной станции, со всеми их вытекающими последствиями. Направленный ациклический граф – случай направленного графа, в котором отсутствуют направленные циклы, т. е. пути, начинающиеся и кончающиеся в одной и той же вершине. Используемые события:

1. Отключение электроэнергии.
 - 1.1. Остановка компрессоров.
 - 1.2. Аварийный слив кубовой жидкости с установок.
 - 1.3. Отключение вентиляции.
 - 1.4. Большое количество выброса ЗВ.
 - 1.5. Угроза пожара.
2. Неисправность в баллоне при наполнении.
 - 2.1. Негерметичность прокладок в баллоне.
 - 2.2. Износ/отклонение от технологии.
 - 2.3. Нагревание при наполнении баллона.
 - 2.4. Загорание кислорода в баллоне.
 - 2.5. Пожар.
 - 2.6. Ожоги персонала.
 - 2.7. Разрушение зданий.

Для построения системы, связывающей эти объекты воедино, использована байесова сеть. Это ориентированный граф без циклов, вершинами которого являются пропозициональные переменные (вероятностные переменные), а дуги связывают причины и следствия. Каждое «следствие» соединяется с конечным числом «причин». Причем определенное состояние следствия зависит от состояний причины с некоторой вероятностью. А точнее, имеется ожидание влияния причин состояний на состояния следствий. Данное ожидание выражается вероятностью, числовая оценка (0,1; 30 %; 0,8) или интервальная оценка (85...90 %, 30...45 %, 0,5...0,7) которого и задает степень влияния причин на следствия:

$$P(A|B) = x.$$

Условная вероятность – вероятность появления A при условии B («после» B):

$$P(A, B) = P(A|B) \cdot P(B),$$

Формула полной вероятности

$$P(A_j|B) = \frac{P(A_j) \cdot P(B|A_j)}{P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(B|A_i)},$$

где $P(A)$ – априорная вероятность гипотезы A ; $P(A|B)$ – вероятность гипотезы A при наступлении события B (апостериорная вероятность); $P(B|A)$ – вероятность наступления события B при истинности гипотезы A ; $P(B)$ – вероятность наступления события B .

Теорема Байеса дает решение обратной задачи: какова вероятность наступления более раннего события B , если известно, что более позднее событие A наступило.

Байесова сеть состоит из следующих понятий и компонент:

- множество случайных переменных и направленных связей между переменными;
- каждая переменная может принимать одно из конечного множества взаимоисключающих значений;
- переменные вместе со связями образуют ориентированный граф без циклов;
- к каждой переменной-потомку A с переменными-предками $B_1, \dots, B_n$ приписывается таблица условных вероятностей $P(A|B_1, \dots, B_n)$.

Для построения байесовой сети сформулирована проблема в терминах вероятностей значений целевых переменных и выбрано понятийное пространство задачи, определены переменные, имеющие отношение к целевым переменным, описаны возможные значения этих переменных. Выбраны на основе опыта и имеющейся информации априорные значения переменных, описаны отношения «причина – следствие» (как косвенные так и прямые) в виде ориентированных ребер графа путем размещения в узлах переменных задачи.

Для каждого узла графа, имеющего входные ребра, указаны оценки вероятностей различных значений переменной для комбинации значений переменных-предков на графе. Ациклический граф и связи событий представлены на рис. 2.

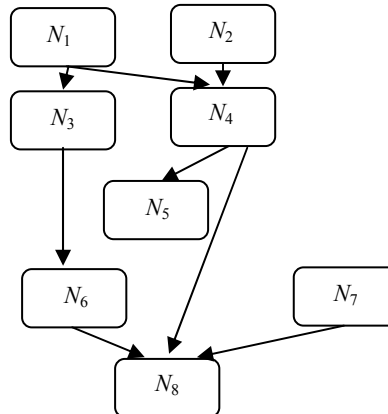


Рис. 2. Ациклический граф и связи событий: N_1 – короткое замыкание; N_2 – выброс кислорода; N_3 – отключение электроэнергии; N_4 – пожар; N_5 – ожоги персонала; N_6 – отключение электроэнергии; N_7 – кислородные маски; N_8 – удушье персонала

При известных значениях вероятности короткого замыкания и выброса кислорода вычисляется возможность пожара на объекте. Как следствие вероятность получения ожогов персоналом. С использованием данных о наличии кислородных масок вычисляется возможность удушья. Особенностью системы является возможность работы с неполными данными (при частичном отсутствии).

Редукция совместной вероятности распределения нескольких случайных переменных в байесовой сети (цепное правило для полной вероятности):

$$P(A_1, \dots, A_n) = \prod_j P(A_j | pa(A_j)),$$

где $pa(A_j)$ – состояния всех переменных-предков для переменной A_j .

Пример редукции вероятности для фрагмента сети ($N_1 \dots N_4$):

$$P(N_1, N_2, N_4, N_3) = P(N_1) \cdot P(N_2 | N_1) \cdot P(N_4 | N_1, N_2) \cdot P(N_3 | N_1, N_2, N_4).$$

Вычисления $P(N_1, N_2, N_4, N_3) = P(N_1) \cdot P(N_2) \cdot P(N_4 | N_1, N_2) \cdot P(N_3 | N_1)$:

N_1	$P(N_1)$	N_2	$P(N_2)$	N_1	$P(N_3=t N_1)$	$P(N_3=f N_1)$
t	0.3	t	0.2	t	0.8	0.2
f	0.7	f	0.8	f	0.1	0.9

N_1	N_2	$P(N_4=t N_1, N_2)$	$P(N_4=f N_1, N_2)$
t	t	0.9	0.1
t	f	0.8	0.2
f	t	0.7	0.3
f	f	0.1	0.9

Редактор вероятностей событий изображен на рис. 3. Имеются функции задания существования отдельных событий, а также их вероятности. Рабочее окно модуля по работе с базой данных, где можно сохранить текущие значения и данные, изображено на рис. 4.

Необходимо отметить, что данная система, являясь пилотной версией для реализации алгоритмов с применением куста событий и байесовской сети доверия, показала свою работоспособность, правильность и адекватность расчетов. Система логико-вероятностного вывода как часть СППР для ПОО будет дорабатываться на уровне событий, расчетов, а также с точки зрения программной реализации.

Таким образом, впервые предложено применение куста событий и байесовской сети доверия для оценки экологической ситуации в зоне влияния ПХОО и вероятности тех или иных ситуаций, связанных с его функционированием.

Применение данной технологии позволит провести оценку ситуации по сформированным последовательностям причинно-следственных связей с возможностью использования нечетких данных, и восстановлением отсутствующей информации с заданным уровнем вероятности.

Замыкание эл. цепи(S) Утечка кислорода(O) Кислородные маски

S Отключение энергии(P) (S) (O) Пожар (F)

Не было Нет Нет Нет

Было Нет Да Да

Да Нет Да Да

Да Нет ?

Отключение вентиляции Ожоги человека

Не было P Не было F

Было P Был F

Да Да

Нет Нет

? ?

Удушье персонала

Да

Нет

? ?

Рассчитать

Рис. 3. Рабочее окно редактора вероятности событий

Вероятность короткого замыкания:0,300
Вероятность утечки кислорода:0,200
Вероятность отключения энергии:0,310
Вероятность пожара:0,390
Вероятность ожогов персонала:0,412
Вероятность отключения вентиляции:0,417
Вероятность наличия кислородных масок:0,900
Вероятность удушья персонала:0,278

Сохранить Показать отчеты на: 23.09.11 Показать все отчеты

Код	Дата	Текст Отчета
14	22.09.2011	(WIDEMEMO)
15	22.09.2011	(WIDEMEMO)
16	22.09.2011	(WIDEMEMO)

Рис. 4. Рабочее окно модуля работы с базой данных

Библиографические ссылки

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособие : в 6 кн. Кн. 6 / под ред. В. А. Котляревского. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 408 с.
2. Колодкин В. М. Оценка риска, связанного с объектами хранения химического оружия на территории Удмуртской Республики / под ред. В. М. Колодкина. – Ижевск : Изд-во Удм. ун-та, 1996. – 218 с.
3. Телегина М. В., Алексеев В. А., Янников И. М. Опыт реализации системы поддержки принятия решений при аварийных ситуациях на объекте уничтожения химического оружия // Актуальные вопросы теории и практики радиационной, химической и биологической защиты : тез. 41-й науч. конф. – Вольск : 33 ЦНИИ МО РФ, 2011. – С. 45–46.
4. Там же.
5. Недолужко В. И., Климачев Д. В. Вероятностная многоуровневая модель прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Схема и системы прогнозирования // Технологии гражданской безопасности. – 2008. – № 1-2 (15-16). – С. 30–32.
6. Пшеничный К. А., Николенко С. И., Яковлев А. В. Аппарат кустов событий для представления знаний и вероятностного вывода в оценке геологических опасностей // Геоинформатика. – 2009. – № 2. – С. 62–71.
7. Телегина М. В. Оценка экологической ситуации на основе представления знаний и вероятностного вывода // Экологические проблемы промышленных городов : сб. науч. тр. 5-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 26–28.
8. Янников И. М. Построение модели оценки экологической безопасности прогноза и принятия решений на базе ориентированных графов // Теоретическая и прикладная экология. – 2010. – № 3. – С. 12–17.
9. Пшеничный К. А., Николенко С. И., Яковлев А. В. Аппарат кустов событий для представления знаний и вероятностного вывода в оценке геологических опасностей.
10. Там же.
11. Телегина М. В. Оценка экологической ситуации на основе представления знаний и вероятностного вывода.
12. Янников И. М. Построение модели оценки экологической безопасности прогноза и принятия решений на базе ориентированных графов.
13. Недолужко В. И., Климачев Д. В. Вероятностная многоуровневая модель прогнозирования чрезвычайных ситуаций.
14. Инженерно-экологический справочник / под ред. А. С. Тимонина. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – Т. 1. – 917 с.

M. V. Telegina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

Application of Events Cluster for Estimation of the Ecological Situation and Definition of Probability of Risk

The application of the events cluster technique to an estimation of ecological safety of potentially dangerous objects is considered. It is proposed to use Bayesian network for the ecological situation estimation. The program realization example on the definition of risk probability of the air-nitrogen plant personnel is presented.

Keywords: Bayesian networks, acyclic graph, ecological safety, events cluster, cause-and-effect relation, probability of injury

Получено: 18.11.11