

Построение модели оценки экологической безопасности, прогноза и принятия решений на базе ориентированных графов

© 2010. И. М. Янников, к.т.н., доцент,
Ижевский государственный технический университет,
e-mail: mari_tel@mail.ru

Статья посвящена решению вопроса автоматизированной оценки экологической безопасности в зоне влияния потенциально химически опасных объектов. Предложена модель оценки безопасности на основе ориентированных графов с использованием экологических, технических, технологических и социальных параметров.

The article solves the problem of automated evaluation of ecological safety within the zone of influence of potentially dangerous chemical objects. A model of safety evaluation is given on the basis of orientated graphs considering ecological, technical, technological and social parameters.

Ключевые слова: модель оценки, экологическая безопасность, потенциально опасный объект, ориентированный граф, параметры воздействий, принятие решений

Key words: model of evaluation, ecological safety, potentially dangerous objects, an orientated graph, parameters of influence, taking decisions

Возросшие требования к обеспечению надёжности и безопасности технических систем и устройств повлияли на дальнейшие исследования возникновения аварий, что особенно актуально для повышения уровня безопасной эксплуатации производственных объектов, поскольку основными причинами аварий являются моральная и физическая изношенность технических устройств, несвоевременная их реконструкция, несоблюдение работниками технической и производственной дисциплины и низкая организация труда [1], в связи с чем при создании систем мониторинга потенциально опасных объектов, оказывающих влияние на окружающую среду, необходимо формализовать понятие экологической безопасности с целью определения возможных сценариев развития возможных аварийных ситуаций на объектах.

По нашему представлению, наиболее доступным и надёжным методом анализа риска аварийной ситуации на объекте, оказывающем влияние на окружающую среду, является метод оценки экологической безопасности на базе ориентированных графов.

Рассмотрим порядок моделирования на примере построения оценки экологической безопасности потенциально химически опасного объекта (ПХО).

Система прогноза и принятия решений по результатам оценки экологической безопасности должна представлять собой соответ-

ствующую систему, содержащую множество различных вариантов принятия решений для всех рассматриваемых сценариев развития ситуации в зонах влияния ПХО. Система должна иметь модуль опроса, базы данных с эталонами ситуаций, модуль анализа и сравнения результатов и выполнять следующие функции:

- проводить опрос пользователя;
- формировать граф, описывающий экологическую безопасность ПХО и зон его влияния на момент проведения опроса;
- проводить сравнение сформированного графа с эталонными графами;
- отображать результаты сравнения графов в виде визуализации полученного и наиболее близкого к нему эталона с выделением проблемных аспектов и сравнения эталонов, а также описания экологической ситуации и состояния экологической безопасности, прогноза и рекомендаций к действию в текстовом режиме.

В системе принятия решений по результатам оценки экологической безопасности также должно быть предусмотрено формирование и хранение следующих данных:

- вопросов для проведения опроса экспертов в базе;
- эталонных графов и их подграфов;
- базы данных ответов на опросы пользователя, осуществленные ранее;
- ситуаций и инструкций.

Также должно быть предусмотрено визуальное отображение:

- сформированного графа ситуации;
- графа из списка эталонных графов;
- любого графа из списка сохраненных опросов.

Система должна обеспечивать требуемый уровень защиты информации от несанкционированного доступа и для обеспечения целостности данных.

При рассмотрении понятия экологической безопасности в зонах влияния ПХОО учитываем два режима [2, 3]:

- экологическая безопасность в штатном режиме (в условиях безаварийной работы);
- экологическая безопасность в нештатном режиме (при угрозе и возникновении аварийной ситуации).

В первом случае экологическую безопасность (G_1) можно описать с помощью ряда переменных, каждая из которых представляет множество параметров (рис. 1):

A_1 – частота и длительность работы в условиях отклонения от штатного режима на различных технологических этапах производственного процесса;

A_2 – параметры новых вредных воздействий на персонал объекта и население, про-

живающее в зоне влияния ПХОО, а также окружающую среду при сложившейся природной и техногенной обстановке;

A_3 – превышение уровней существующих в зоне влияния ПХОО вредных воздействий и загрязнений;

A_4 – результаты вредных воздействий (в том числе и длительных) на обслуживающий персонал и население;

A_5 – результаты вредных воздействий на окружающую среду в зоне влияния ПХОО;

A_6 – улучшение экологической обстановки на объекте в результате своевременного планирования и выполнения превентивных мероприятий на год, включая подготовку органов управления и обучение персонала действиям при угрозе и возникновении нештатных ситуаций;

A_7 – улучшение экологической обстановки в процессе эксплуатации ПХОО за счет выполнения природоохранных и защитных мероприятий (очистка воды, канализационных стоков, воздуха в технологических схемах ПХОО, уборка и безопасная утилизация твердых отходов, устройство дренажных установок, резервных емкостей и др.);

A_8 – улучшение экологической ситуации за счет создания действенной системы

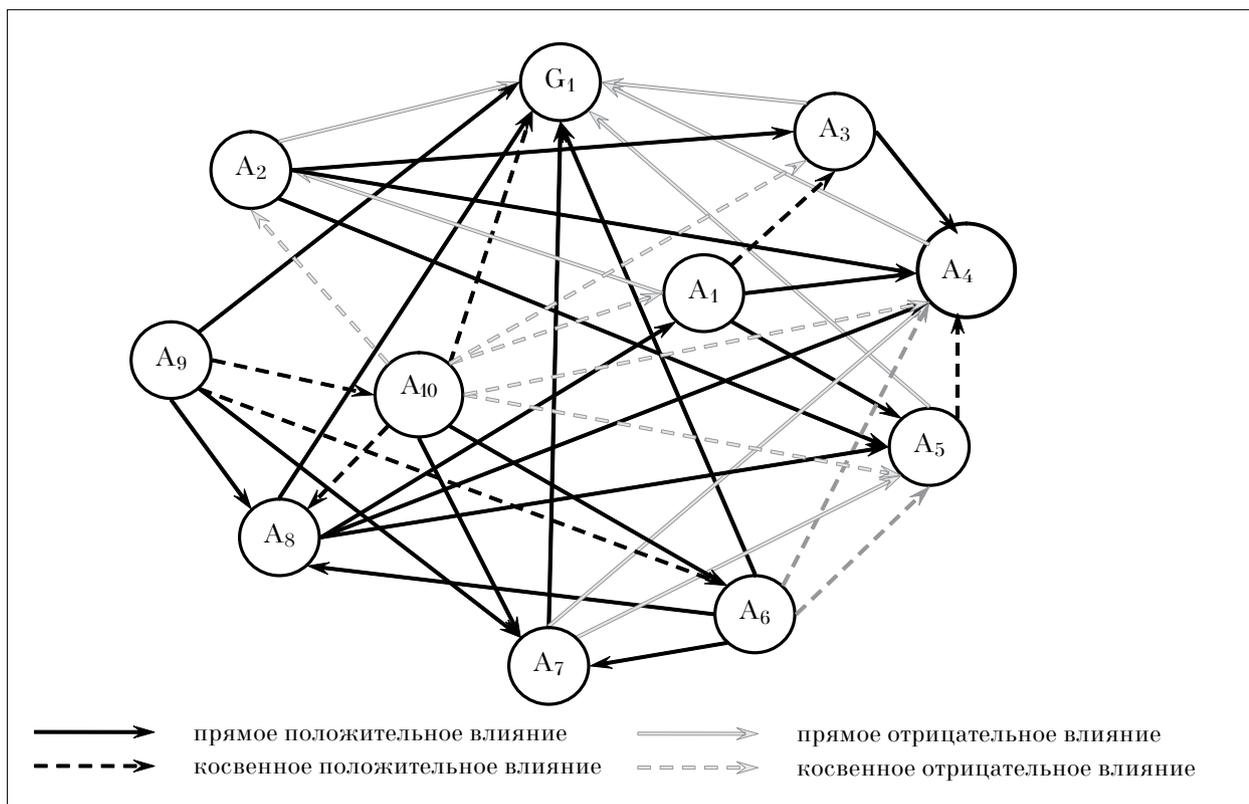


Рис. 1. Оценка экологической безопасности в зоне влияния потенциально химически опасного объекта в условиях безаварийного режима работы

комплексного экологического мониторинга ПХОО (в первую очередь подсистемы мониторинга с использованием идентификационного полигона), позволяющей выявлять и ликвидировать угрозу аварии на ранних стадиях, не допуская её возникновения;

A_9 – экономические выигрыши проекта, позволяющие улучшить финансирование программ по обеспечению безопасности персонала, охране окружающей природной среды (ОПС) и здоровья населения в зонах влияния ПХОО;

A_{10} – организация контроля за выполнением мероприятий в области экологической безопасности и мероприятий, направленных на повышение квалификации и готовности к действиям в различных ситуациях личного состава, работающего на ПХОО.

Формализованную модель оценки экологической безопасности как сложной системы можно построить, представив переменные и оценки в виде системы признаков и описав структуру такой системы через ориентированные графы (орграфы).

Орграф, изображенный на рисунке 1 (орграф G_1), имеет одиннадцать вершин и связи между ними. При этом направление связи говорит о влиянии одного фактора (показателя) на другой. Если это влияние положительное (что показано жирной связью), то исходный фактор усиливает последующий. Причем сплошной линией показано прямое влияние, а пунктирной – косвенное. Например, если будет увеличиваться частота и длительность работы в нештатном режиме (A_1), то, естественно, будут накапливаться неуверенность и усталость персонала, это будет приводить к порче и выходу из строя оборудования. Результатом всего этого будет появление новых вредных воздействий на персонал объекта и население, проживающее в зоне влияния ПХОО, а также окружающую среду при сложившейся природной и техногенной обстановке (A_2), что, безусловно, отрицательно повлияет на экологическую безопасность (G_1). Увеличение A_1 может повлечь за собой превышение существующих на данной территории уровней вредных воздействий и загрязнений (A_3), что также отрицательно влияет на экологическую безопасность (G_1). В свою очередь логично, что увеличение параметров A_2 окажет положительное влияние на A_3 .

Результаты вредного воздействия (в том числе и длительные) на обслуживающий персонал и население (A_4) и на окружающую среду (A_5) будут усиливаться в зависимости

от увеличения параметров A_1 , A_2 и A_3 и отрицательно влиять на G_1 . Кроме того, показатель A_4 будет дополнительно усиливаться за счет влияния A_5 .

Улучшение экологической обстановки за счёт своевременного планирования A_6 и выполнения природоохранных мероприятий A_7 (очистка воды, канализационных стоков, воздуха в технологических схемах ПХОО, уборка и безопасная утилизация твёрдых отходов) непосредственно будет влиять на уменьшение A_1 , A_2 и A_3 и, как следствие, A_4 и A_5 . Естественно, чем больше A_7 , тем лучше для G_1 .

Экономические выигрыши проекта, позволяющие улучшить финансирование программ по безопасности персонала объекта, охране окружающей природной среды и сохранения здоровья населения в зонах влияния ПХОО (A_9), будут усиливать потенциал вершин данного графа A_7 , A_8 , G_1 . Чем больше будет поступать инвестиций на выполнение мероприятий по улучшению экологической обстановки в зонах влияния ПХОО, тем будет меньше потенциал не только вершин негативных событий (A_1 , A_2 , A_3) но и их результатов (A_4 , A_5).

Дополнительные вложения (A_9) помогут организовать качественный контроль за работой всей системы экологической безопасности объекта и выполнением мероприятий, направленных на повышение квалификации и подготовку к действиям в различных ситуациях личного состава, работающего на ПХОО (A_{10}).

Более квалифицированный сотрудник сможет выполнить быстрее и качественнее такой же объём работы, какой выполнял бы менее квалифицированный, снизив до минимума процент ошибочных действий (отрицательное косвенное влияние A_{10} на A_1). Вероятность появления новых вредных воздействий на персонал объекта, окружающую природную среду и население, проживающее в зоне влияния ПХОО (A_2), превышение уровней существующих в зоне влияния ПХОО вредных воздействий и загрязнений (A_3), а также результаты вредных воздействий (в том числе и длительных) на обслуживающий персонал и население (A_4) и окружающую среду (A_5), косвенно будут снижаться, если работающий на ПХОО личный состав будет высококвалифицированным и на нем будет создана эффективная система комплексного экологического мониторинга. В свою очередь хорошо обученный персонал сможет лучше спланировать (A_6) и организовать (A_7) выполнение природоохранных мероприятий по очистке воды, воздуха, стоков, утилизации

твёрдых отходов в технологических схемах ПХОО и в целом улучшить экологическую безопасность.

Во втором случае экологическая безопасность, выраженная в виде орграфа G_2 , представлена на рисунке 2.

В данном случае составляющие оценки экологической безопасности будут складываться исходя из возможных сценариев развития нештатных (аварийных) ситуаций в зонах влияния ПХОО с учётом расположения указанных зон в условиях сложного рельефа местности, их больших размеров, наличия на их территории различных типов лесорастительных условий.

Составляющие оценки экологической безопасности представляют собой следующие параметры:

A_1 – длительность аварийной ситуации в зоне влияния ПХОО и времени ее воздействия на персонал, население, окружающую среду;

A_2 – превышение норм загрязнения окружающей среды;

A_3 – параметры противоаварийной защиты технологического процесса;

A_4 – результаты воздействия загрязняющих веществ на обслуживающий персонал и население;

A_5 – результаты воздействия загрязняющих веществ на окружающую природную среду;

A_6 – параметры системы комплексной безопасности ПХОО и территории, включая системы оповещения и защиты персонала и населения, проживающего в зоне влияния ПХОО;

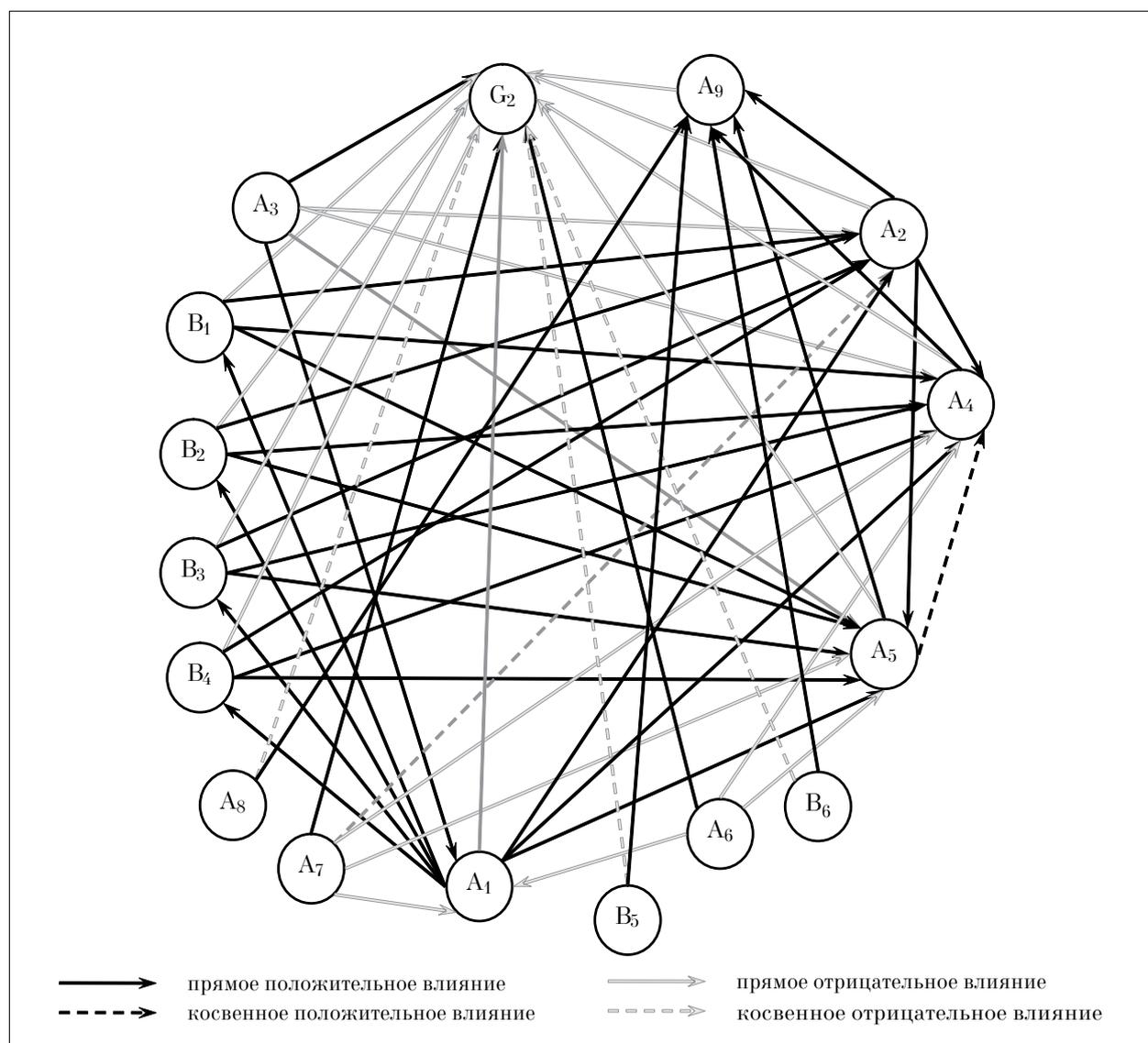


Рис. 2. Оценка экологической безопасности в зоне влияния потенциально химически опасного объекта при нештатном режиме работы (условиях угрозы и возникновения аварии)

A_7 – параметры эффективности комплексной системы безопасности ПХОО, включая готовность сил и средств ликвидации аварии;

A_8 – характеристика основных загрязняющих веществ;

A_9 – параметры, характеризующие последствия аварийной ситуации;

B_1 – параметры вредных воздействий на работающий персонал, окружающую среду и население в зоне влияния ПХОО в случае обнаружения подпороговой длительной утечки загрязняющего вещества;

B_2 – параметры вредных воздействий на работающий персонал, окружающую среду и население в зоне влияния ПХОО в случае аварии на единичной максимальной ёмкости или системе;

B_3 – параметры вредных воздействий на работающий персонал, окружающую среду и население в зоне влияния ПХОО при разрушении группы резервуаров, систем с одним загрязняющим веществом;

B_4 – параметры вредных воздействий на работающий персонал, окружающую среду и население в зоне влияния ПХОО при разрушении складов, группы резервуаров и систем с различными загрязняющими веществами;

B_5 – параметры, учитывающие ландшафтные условия местности в зоне влияния ПХОО;

B_6 – параметры, учитывающие сезонность, время суток, метеоусловия на момент аварии.

Орграф G_2 существенно отличается от орграфа G_1 , имеет 16 вершин, содержит новые элементы и связи, которые дополняют и детализируют систему для описания аварийного процесса.

Например, вершина A_2 первого орграфа во втором представлена в виде четырех вершин B_1, B_2, B_3, B_4 , конкретизирующих характеристики источника аварии. Вершина A_8 характеризует свойства основных загрязняющих веществ. Совершенно ясно, что чем выше потенциал вершин B_1-B_4 , тем выше потенциалы вершин A_2, A_4, A_5 . Причём если загрязнение окружающей среды (A_2) оказывает прямое негативное влияние на персонал объекта и население, проживающее в зоне влияния ПХОО (A_4), то результаты загрязнения окружающей среды (A_5) оказывают на персонал и население (A_4) косвенное негативное воздействие.

Вершина A_1 напрямую связана с потенциалом вершин источников аварийной ситуации и усиливает их отрицательное воздействие. Введенные дополнительно вершины

B_5 и B_6 детализируют прохождение аварийного процесса, его масштабы и совместно с вершинами A_4 и A_5 оказывают влияние на параметры, характеризующие последствия аварийной ситуации (A_9). Какое это влияние, положительное или отрицательное, зависит от конкретного времени события и месторасположения объекта.

Вершины A_3, A_6 и A_7 характеризуют параметры состояния технических устройств противоаварийной защиты (A_3), системы мониторинга и контроля за технологическим процессом, включая локальные системы оповещения (A_6), наличия и готовности к действиям комплексных систем безопасности территорий и объектов, включая органы управления всех уровней и силы реагирования. Понятно, что чем выше потенциал указанных вершин, тем ниже отрицательные воздействия на персонал, население (A_4) и окружающую среду (A_5), выше потенциал оценки экологической безопасности G_2 .

Увеличение параметров всех вершин орграфа в целом негативно повлияет на экологическую безопасность (G_2), поскольку увеличатся не только негативные последствия аварийных ситуаций, но и финансово-временные затраты на их предупреждение и ликвидацию последствий.

В действительности сложно предугадать, какая может произойти чрезвычайная ситуация (ЧС) и отношение каких параметров (вершин орграфа) необходимо при этом учитывать. В случае возникновения нескольких событий одновременно придется рассматривать ситуацию интегрально, отношения всего комплекса параметров. В этих случаях необходимо анализировать часть орграфа – подграф. Причём каждой возникшей ситуации будет соответствовать свой орграф, а следовательно, своя формализованная оценка экологической безопасности.

Из этого следует вывод: для оценки экологической безопасности объектов детериорантных отраслей должна использоваться не единая оценка, а множество оценок, характерных для различных сценариев (ситуаций) работы объекта, имеющих следующий вид:

$$\{C_i\}_{i=1}^N \text{---} \{G_i\}_{i=1}^N,$$

где C_i – оценка для i -ой ситуации, где i от 1 до N ; G_i – граф для i -ой ситуации.

Путем операции объединения $\bigcup_{i=1}^N G_i$ через матрицы инцидентий возможно получение обобщенного графа G_0 , который,

по мере уточнения сценариев работы объекта по утилизации может дополняться.

Путем разбиения графа Go на подграфы возможно получить множество оценок, которое будет конечным.

Полученный в настоящей работе вывод о невозможности получения единой оценки (обобщенной) с использованием теории графов лишь подтверждает те работы по оценке различных технологий утилизации, в которых используется множество количественных и качественных оценок [4].

Известны исследования подобного рода:

- анализ энергетических проблем США [5];

- распределение ресурсов на медицинские нужды в Британской Колумбии [6];

- выбор типа перевозок в Ванкувере [7].

Таким образом, построение модели экологической безопасности позволяет определить основные принципы экологического мониторинга потенциально опасных объектов, оказывающих влияние на окружающую среду.

Аварии и катастрофы характеризуются процессами техногенного характера (возгорания, аварийные взрывы, выбросы радиоактивных и токсичных продуктов) и являются скоротечными процессами импульсного характера. К особенностям экологического мониторинга также следует отнести пространственную масштабность измерений, длительный интервал ожидания (наблюдения) при возможной короткой реализации скоротечного аварийного процесса и множество измеряемых параметров в различных средах.

Анализ существующей системы управления территориями показывает, что для быстропротекающих ЧС критическим параметром является время принятия решений, от которого зависит величина ущерба и потеря. Для адекватного реагирования в таких ЧС необходимо знание динамики «аварийных» процессов. Существующие же системы наблюдения потенциально опасных объектов в основном ориентированы на предупреждение аварийных ситуаций и не дают представление о динамике и развитии скоротечных «аварийных» процессов [8, 9].

Поэтому целесообразно, чтобы средства наблюдения имели 2 режима работы:

- наблюдение и непрерывный контроль с целью обнаружения признаков появления «аварийного» процесса;

- регистрация динамики развития «аварийного» процесса в случае его обнаружения.

При этом целью мониторинга на потенциально опасных объектах, оказывающих влияние на окружающую среду, является не только получение оперативной информации о веществах, находящихся в контролируемых зонах, но и создание условий для немедленного реагирования, принятия решений и действий в чрезвычайных ситуациях. Моделирование возможного развития ситуаций является актуальной и важной задачей мониторинга с целью обеспечения экологической безопасности населения и работающего персонала на этих объектах.

Литература

1. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: теория и практика. М.: Страховая группа «Лукойл», 2000. С. 8.

2. Алексеев В.А., Габричидзе Т.Г., Янников И.М. Моделирование оценки экологической безопасности объектов по хранению или уничтожению химического оружия // Вестник министерства по делам ГО и ЧС Удмуртской Республики. Ижевск. 2007. № 3. С. 26–28.

3. Янников И.М. Применение ориентированных графов для моделирования и оценки экологической безопасности объектов уничтожения химического оружия // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. В 2 част. Киров. 2008. Выпуск VI. Ч. 2. С. 19–23.

4. Холстов В.И., Завьялов Н.В., Жданов В.А., Васильев С.В. Система показателей для оценки технологий (методов) уничтожения химического оружия // Федеральные и региональные проблемы уничтожения химического оружия. Информационный сборник. М.: ВИНТИ, 2004. С. 66–75.

5. Kruzig P.G. Cross-Impact Analysis Workshop. Standard Research Institute Letter Report // Materials, methods & technologies: 12th International Symposium. Bulgaria. 1990. P. 234–240.

6. Kane I., Tompson W., Vertinski I. Health Care Deliveri: A Polici Simulation // Socio-Econ. Plan. Sci. 1972. V. 6. P. 129–142.

7. Kane I.A. Primer for a new Cross-Impact Language-KSIM Technological Forecasting and Social Change // ECOLOGY & SAFETY. 1972. V. 4. P. 129–142.

8. Алексеев В.А. Системы автоматической регистрации скоротечных процессов для предупреждения чрезвычайных ситуаций. Аварии и катастрофы. Учебн. пособ. в 6 кн. Кн. 6. Под ред. В.А.Котляревского. М.: Издательство АСВ, 2003. С. 324–335.

9. Алексеев В.А., Вахрушев В.И. Структура цифровых автономных средств регистрации мониторинговой информации при чрезвычайных ситуациях // Приборы и системы управления. 1996. № 6. С. 19–22.