

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 685.1

Е.В. Брежнев

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

## РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФРАСТРУКТУР И ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*Сложность и нелинейность инфраструктур и объектов критического применения, наличие данных различной кваліметрической природы, описывающих их поведение, обуславливает необходимость разработки подходов оценивания безопасности, которые позволили бы провести интеграцию этих данных в рамках единого подхода. Метод, предложенный в данной статье, основан на последовательной восходящей и нисходящей интеграции байесовских сетей доверия (БСД) и нечеткого логического вывода (НЛВ), что позволяет использовать качественные и количественные данные об объекте анализа. Использование НЛВ позволяет получить логико-лингвистическую модель объекта. БСД дают возможность определить состояние объектов одного уровня иерархии, выделяя подмножества объектов-родителей и детей и определяя связи между их состояниями. Интеграция БСД и НЛВ в рамках одного подхода обеспечивает снижение объема входных данных, требуемых для анализа безопасности объектов, по сравнению, когда эти методы используются для решения задачи независимо друг от друга.*

**Ключевые слова:** критическая инфраструктура, безопасность, интеграция методов, лингвистическая переменная, критичность состояния.

### Введение

**Постановка проблемы.** Проблема оценивания безопасности инфраструктур и объектов критического применения и является, актуальной, что обусловлено важностью задач, решаемых ими. Так, например, их безопасное функционирование определяет стратегию индустриального развития любого государства, и в конечном итоге, рост благосостояния его граждан. Авария на АЭС Фукусима-1 показала, что уровень надежности и безопасности подобных объектов также обуславливает уровень общественного доверия к ним, что непосредственно влияет на длительность их жизненного цикла, уровень финансирования проектов по их модернизации и реконструкции.

Сложность данной проблемы обусловлена спецификой объекта исследования, высокой неопределенностью, связанной с отсутствием полных (достоверных) знаний о множестве факторов, определяющих его поведение, нелинейностью изменения параметров, выраженных в различных кваліметрических шкалах, и т.д.

Множество входных данных, используемых при анализе безопасности критических инфраструктур (КИ), включает:

– данные детерминированной природы ( $D_a$ ). Множество сведений достоверно описывающих объект исследования (технические характеристики, режимы функционирования, состав и структура систем, и т.д.);

– статистические (исторические) данные,  $D_s$ , накопленные в результате наблюдений за различными параметрами на протяжении всего жизненного цикла (ЖЦ) КИ. К ним относят характеристики надежности и безопасности, параметры среды функционирования, включая внешние системы. Входные данные этой группы измеряются и учитываются на протяжении ЖЦ КИ;

– данные ( $D_l$ ), представленные в виде выражений естественного языка, полученные от специалистов-экспертов в данной области. Часть информации о поведении КИ, о зависимостях параметров ее функционирования и внешней среды может быть представлена в виде экспертных суждений, которые также должны быть учтены при оценивании безопасности объектов критического применения и инфраструктур.

Очевидно, что ни один метод риск анализа не может использовать разнородную входную информацию для получения оценок безопасности КИ. Это приводит к тому, что использование только одной определенной группы методов не обеспечивает требуемый уровень достоверности оценок безопасности. Как результат, применение какой-либо одной группы методов, связанных, например, с предпочтениями эксперта, приводит к потере части полезной информации.

Анализ литературы показывает, что вопросам разработки подходов интеграции различных методов оценки безопасности, уделяется недостаточно

внимания. Традиционно, делается акцент на интеграции качественных и количественных методов анализа различных явлений. Так, в работе в [1] была предложена идея комбинирования качественных и количественных методов. Основная посылка – качественные методы являются предварительным этапом для применения количественных методов.

В [2, 3] предложена идея "методологической триангуляция" – более расширенная модель интеграции методов. Согласно ей, качественные и количественные методы хотя и различны, но в определенном смысле методологически сопоставимы. Интеграция позволит получить сведения о степени совпадения или расхождения результатов, полученных различными методами.

**Общим недостатком работ является отсутствие** анализа совместимости методов, шкалирования выходных и входных параметров, выбора правил агрегации результатов и т.д.

С методологической точки зрения целесообразно рассматривать два архитектурных решения по интеграции методов оценки безопасности КИ: параллельный и последовательный. При *параллельной интеграции возможны два сценария*: множество методов применяется для получения интегральной оценки безопасности для уточнения искомой оценки безопасности КИ; множество методов используется для получения множества оценок безопасности КИ. *Последовательная интеграция методов оценки безопасности* применяется для получения единой оценки. При этом выходные данные одного метода являются входными данными для другого метода.

**Целью работы** является разработка гибридного метода оценки безопасности объектов критического применения и инфраструктур на основе интеграции нечетких методов и байесовских сетей доверия (БСД) в условиях неопределенности.

## Изложение основного материала

В настоящее время, методология нечетких вычислений используется при управлении сложными объектами критического применения, например, в атомной и аэрокосмической отрасли. Высокие требования к безопасности ядерных реакторов, особенности культуры безопасности, являются сдерживающим фактором на пути внедрения новых информационных технологий (ИТ), интеллектуальных инноваций в практику обеспечения безопасности объектов и инфраструктур, аварии и сбои в работе которых являются неприемлемыми. Тем не менее, дальнейшее развитие ИТ, методов ядерной инженерии обуславливает постепенную адаптацию нечетких методов для управления сложными технологическими процессами, принятия решений в реальном времени.

БСД также находят широкое применение в задачах оценивания безопасности объектов критического применения и инфраструктур, характеризующихся неопределенностью, неполнотой знаний,

влиянием множества стохастических факторов. Так, например, БСД применяются в качестве основы для построения экспертной диагностической системы для операторов АЭС [4] для моделирования сложных промышленных объектов [5], а также для оценки надежности и безопасности сложных систем [6].

Таким образом, можно предположить, что в будущем, с учетом тенденций усложнения КИ и систем, внедрением ИТ, область применения нечетких вычислений и БСД будет расширяться. БСД и нечеткая логика представляют основу для разработки подхода к учету неопределенности в комплексной динамической системе. БСД учитывает стохастическую неопределенность, а нечеткая логика оперирует с неточностью исходных данных, с большим объемом качественной информации с помощью функции принадлежности нечетких множеств.

КИ является сложной иерархической системой, представленной в виде множества уровней подсистем, компонентов и элементов.

Иерархия КИ является базовой посылкой для представления в виде иерархии методов оценки ее безопасности. Это означает, что выходные данные модели оценки параметров, например, элементов, могут быть использованы для оценки безопасности компонентов; данные, полученные при оценке безопасности компонентов могут быть использованы для оценки безопасности подсистем и т.д. С другой стороны, выходные данные моделей оценки безопасности систем КИ могут быть использованы в качестве входных данных для компонентов КИ. Таким образом, для анализа безопасности КИ возможна последовательная *восходящая и нисходящая интеграция* методов. Подобная интеграция различных методов приводит к тому, что происходит компенсация недостатка данных для моделей более "высокого" уровня за счет "избытка" данных на "низком" уровне иерархии.

Гибридный метод оценки безопасности КИ, предлагаемый в рамках данного подхода, приведен на рис. 1. Предлагаемый метод основан на следующих допущениях: любая объект в КИ может быть представлен в виде совокупности иерархических уровней объектов: систем, компонентов и элементов; любой объект в КИ может быть представлен в виде БСД.

**Критичность состояния как оценка безопасности систем КИ.** В качестве оценки безопасности предлагается рассматривать критичность системы  $Crt(S_i)$ . В соответствии с [7], критичность  $Crt(S_i)$  системы измеряется в пространстве вероятности  $P$  возникновения аварии (сбоя) в этой системе и тяжести  $S$  ее последствий.

Высокая критичность системы соответствует ее нахождению в предельном (предаварийном) состоянии, при котором ее дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. При этом основным отличием понятия предельного со-

стояния в теории надежности и высокой критичности состояния в теории безопасности КИ является

учет последствий отказа (аварии) системы, находящейся в предаварийном состоянии.

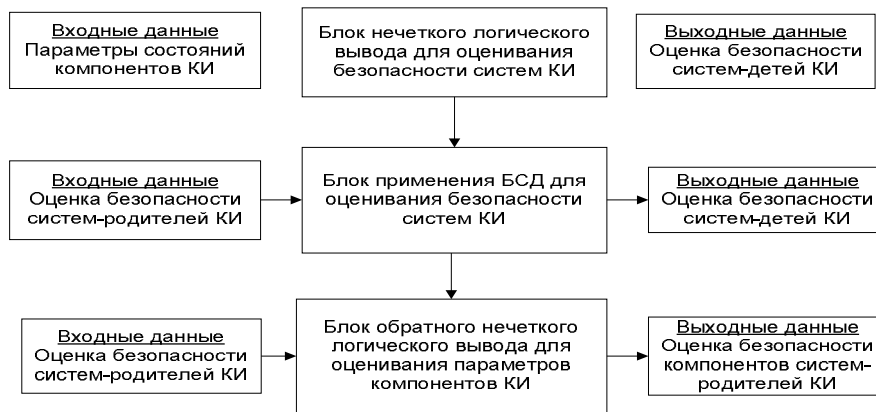


Рис. 1. Гибридный метод оценки безопасности КИ

Следует отметить, что понятие критичности состояния реактора имеет отличия от понятия критичность реактора. Понятие критичность состояния реактора рассматривается в качестве оценки его безопасности. Чем выше критичность состояния, тем ниже уровень его безопасности, и наоборот. Рассмотрим последовательно все блоки гибридного метода.

**1. Блок нечеткого логического вывода для оценивания безопасности систем КИ на основе параметров состояний ее компонентов.** Система представляется в виде совокупности компонентов. Предварительно должна быть решена подзадача выделения наиболее важных компонентов системы, состояние которых определяет ее безопасность. *Входными данными блока являются параметры компонентов. Необходимо сформировать множество информативных (существенных) параметров, значения которых позволяют идентифицировать состояния объекта исследования.* Таким образом, блок *нечеткого логического вывода* позволяет определить оценки безопасности, например, системы  $S_1$  с учетом параметров ее компонентов,  $S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1n}$ . Выходные данные – оценки безопасности (критичность) системы.

**2. Блок применения БСД для оценивания безопасности систем КИ.** Применяется на следующем, более высоком уровне иерархии КИ, на уровне систем. Множество систем КИ распределяется на два множества: системы-родители (узлы-причины) и системы-дети (узлы-следствия). С использованием БСД оценки безопасности систем-родителей используются для определения оценок безопасности систем-детей. БСД позволяет определить состояние системы-ребенка при условии наличия оценок состояний безопасности систем-родителей с использованием *таблицы условных вероятностей (ТУВ)*, определяющих связь между состояниями систем. Исходными данными являются оценки безопасности систем-родителей, полученные с использованием первого блока, блока нечеткого логического вывода, и ТУВ. *Выходными данными* является оценки безопасности системы-ребенка.

**3. Блок обратного нечеткого логического вывода (нисходящие выводы),** позволяющий получить прогнозные оценки состояний компонентов, входящих в систему-ребенка, оценка безопасности которой была получена с использованием блока 2. Обратный нечеткий логический вывод позволяет получить значение функции принадлежности посылок и на их основе определить прогнозные оценки состояний компонентов систем.

Рассмотрим применение блока нечеткого логического вывода для оценивания безопасности системы аварийного охлаждения активной зоны реактора (САО). САО предназначена для охлаждения активной зоны реактора в аварийных ситуациях. Она состоит из трех взаимосвязанных подсистем: основной, вспомогательной и подсистемы длительного расхолаживания.

Задача определения оценки безопасности САО представлена в виде задачи поиска отображения вида:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*) \rightarrow d_j \in D = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_m),$$

где  $X^*$  – множество параметров, описывающих состояние компонент САО;  $D$  – множество возможных  $d_j, j = \overline{1, m}$ , оценок безопасности САО.

Особенностями решения задачи является: представление параметров, описывающих состояние компонентов и оценок безопасности в виде лингвистических переменных.

Первой *подзадачей* блока 1 является выбор множества компонентов, наиболее важных с точки зрения выполнения функций безопасности САО по охлаждению активной зоны. К таким компонентам САО могут быть отнесены, например, насосы, конденсационное устройство. Надежная работа любого из насосов является критическим аспектом с точки зрения выполнения САО функций безопасности.

Второй *подзадачей* блока 1 является выбор функциональных параметров  $x_1 \div x_n$ , характеризующих состояние важных компонентов САО. К

основным параметрам, характеризующим состояние работы насоса можно отнести: величину подачи (П), напор (Н), частоту вращения (ЧВ). Превышение (снижение) этих параметров относительно определенных значений может являться признаком сбоев или отказов, которые могут привести к деградации функций безопасности САО. Информативным параметром, по которому можно сделать вывод о состоянии САО, является запас воды в конденсационном устройстве (КУ). Снижение этого уровня является признаком нарушения нормального функционирования САО и, как правило, приводит к срабатыванию аварийной защиты реактора.

Использование нечеткого логического вывода предполагает описание причинно-следственных связей между параметрами насосов, конденсационного устройства и оценками безопасности САО.

Таким образом, для получения оценки безопасности САО необходимо:

- определить значения параметров, описывающие функционирование компонентов САО  $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*)$ ;
- построить графики функций принадлежности  $\mu^{a_{ip}}(x_i^*)$  лингвистических термов безопасности САО;
- определить значения функции принадлежности  $\mu^{a_{ip}}(x_i^*)$  при фиксированных значениях параметров  $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*)$ ;
- используя логические уравнения, определить значения функций принадлежности  $\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  для всех возможных оценок безопасности САО  $D = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_m)$ .

Фрагмент базы знаний, используемой для построения логических уравнений для САО, приведен в табл. 1.

Таблица 1  
Фрагмент базы знаний для САО

| Подача | Напор | Частота вращения | Запас воды в КУ | Критичность САО |
|--------|-------|------------------|-----------------|-----------------|
| Н      | Н     | Н                | Н               | В               |
| Н      | С     | Н                | Н               | В               |
| Н      | С     | С                | Н               | В               |
| Н      | С     | С                | С               | С               |
| .....  | ..... | .....            | .....           | .....           |
| В      | В     | В                | В               | Н               |

В качестве решения выбирается  $d_j^*$ , для которого:

$$\mu^{d_j^*}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)], j = 1, m.$$

Таким образом, могут быть определены оценки безопасности всех систем-родителей, что является исходной информацией для блока 2.

Состояние реактора также определяется качеством выполнения функций безопасности, напри-

мер, системой аварийного газоудаления (САГУ), защитными элементами границы давления первого контура, система аварийного охлаждения активной зоны и др. САГУ выполняет функцию удаления неконденсирующихся газов из первого контура, защищает твэлы, предотвращая срыв естественной циркуляции в первом контуре.

Основными компонентами САГУ являются байпасный трубопровод для обеспечения удаления избыточной парагазовой смеси, индикатор газа для выработки сигнала о наличии парагазовой смеси в байпасном трубопроводе, отсечная арматура, парагазовая полость давления и т.д. Качество выполнения функций безопасности САГУ, особенно при возникновении аварийной ситуации, определяет состояние реактора.

Аналогично, могут быть определены оценки безопасности второй системы-родителя реактора, САГУ.

## 2. Блок применения БСД для оценивания безопасности систем КИ.

В рамках данного подхода, БСД используется для: прогнозирования оценок безопасности (критичности) системы-ребенка (реактора), в зависимости от состояний систем родителей (САГУ и САО). При этом, в зависимости от поступивших в БСД свидетельств об изменениях состояния систем родителей, с использованием ТУВ, определяющих связь состояний родителей и детей, осуществляется пересчет вероятности нахождения системы ребенка (реактора) в каждом из своих возможных состояний; определения состояний систем-родителей (САО и САГУ) по свидетельствам (фактам) об их возможном состоянии (задача диагностики).

В БСД, вероятности пребывания реактора ( $S_3$ ) в различных состояниях из множества  $\Omega_{S_3}$  в зависимости от состояний систем родителей (САО –  $S_1$ , САГУ –  $S_2$ ) могут быть определены по соотношению вида:

$$P(S_3^{(k)}) = \sum_i \sum_j P(S_3^{(k)} / S_1^{(i)}, S_2^{(j)}) * P(S_1^{(i)}) * P(S_2^{(j)}),$$

где  $P(S_3^{(k)})$  – вероятность нахождения  $S_3$  в k-м состоянии;  $P(S_3^{(k)} / S_1^{(i)}, S_2^{(j)})$  – условная вероятность нахождения системы  $S_3$  в k-м состоянии при условии нахождения системы  $S_1$  в i-м состоянии и системы  $S_2$  в j-м состоянии. Условные вероятности для БСД задаются специалистом экспертом;  $P(S_1^{(i)})$  – вероятность нахождения системы  $S_1$  в i-м состоянии;  $P(S_2^{(j)})$  – вероятность нахождения системы  $S_2$  в j-м состоянии.

Таким образом, применение БСД позволяет определить оценку безопасности реактора с учетом состояний систем безопасности: САГУ и САО. Исходными данными для БСД являются оценки критичности САО и САГУ, а также ТУВ, связывающая состояния обеих систем-родителей и системы-

ребенка – реакторной установки. Выходными данными блока является прогнозная оценка безопасности реактора, представленная в виде следующего распределения:

$$P(\text{Crt}(S_1) = \text{Высокое}) = P_1; P(\text{Crt}(S_1) = \text{Среднее}) = P_2;$$

$$P(\text{Crt}(S_1) = \text{Низкое}) = P_3, \sum_{i=1}^3 P_i = 1.$$

После определения оценки безопасности реактора представляет интерес решение задачи прогнозирования состояний его компонентов без использования дополнительной информации.

Данная задача решается в блоке **обратного нечеткого логического вывода (ОНЛВ)**. Входными данными блока является оценка безопасности реактора. Выходными данными – прогнозные оценки состояний его компонентов.

### 3. Блок ОНЛВ для прогнозирования параметров состояния компонентов реактора

Задача ОНЛВ может быть сформулирована как: определить оценки входных параметров, описывающих состояние компонентов реактора, при условии, что матрица знаний и выходные оценки безопасности реактора, известны.

В терминах входных **A** и выходных **B** множеств связь между ними может быть представлена в виде:

$$B = A \circ R,$$

где **A** (**B**) – нечеткое множество входных (выходных) параметров, определенное в пространстве  $X(Y)$ ; **R** – матрица знаний.

Физический смысл матрицы **R** может быть следующим. Между входными и выходными параметрами нечеткой модели существуют причинно-следственные отношения. Фактически задача обратного вывода сводится к восстановлению состояния вектора причин, вызвавших текущее состояние вектора следствий. Причинная взаимосвязь между множеством посылок и множеством следствий представляется в виде бинарного нечеткого отношения вида:

$$R = \{ \mu(x_i, y_j) | x_i, y_j \}.$$

Матрица знаний **R** может быть представлена как

$$M_p = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix},$$

где  $r_{ij}$  – элемент матрицы отношений, выражающей степень уверенности эксперта в существовании причинно-следственных связей между параметром входа компонента и соответствующим параметром выхода, описывающим безопасность системы.

Чем выше величина  $r_{ij}$ , тем больше уверенность эксперта в том, что конкретная предпосылка (вход) приведет к конкретному заключению (выходу).

В рамках примера, реактор может находиться в одном из трех возможных состояний безопасности: Критичность – ВЫСОКАЯ, СРЕДНЯЯ, НИЗКАЯ.

В рамках примера было получено следующее распределение:

$$P(\text{Crt}(R) = \text{Высокое}) = 0,7; P(\text{Crt}(R) = \text{Среднее}) = 0,1;$$

$$P(\text{Crt}(R) = \text{Низкое}) = 0,2.$$

Вводится вектор параметров состояний  $y_1, y_2, y_3$ . Значениями этих параметров являются значения вектора параметра состояний системы (выходные параметры БСД).

Запишем этот вектор в виде:

$$B = 0,7 | y_1 + 0,1 | y_2 + 0,2 | y_3.$$

В блоке обратного нечеткого вывода выражение, например,  $0,7 | y_1$  означает, что степень уверенности эксперта в принадлежности системы  $S_1$  к состоянию  $\text{Crt}(S_1) = \text{Высокое}$  равна  $0,7$ .

Задача состоит в том, чтобы определить возможные значения степеней принадлежности вектора предпосылок. Иными словами, необходимо найти такое нечеткое множество  $A = \{ \mu(x_1) | x_1, \mu(x_2) | x_2, \dots, \mu(x_n) | x_n \}$ , которое соответствовало бы нечеткому множеству **B**. Нечеткое множество **A** можно представить в виде вектора  $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ , где  $a_n$  – соответствующее значение степени принадлежности  $\mu(x_n)$  параметра состояния компонента. В качестве анализируемых компонент реактора рассматриваются твэлы  $S_{11}$  и контур  $S_{12}$ . Именно параметры этих компонентов определяют состояние реактора в целом.

Наибольшей ценностью обратного нечеткого вывода является рассмотрение параметров, важных для безопасности, для которых возможность физического измерения существенно ограничена.

Рассматриваются два параметра:  $a_1$  – температура твэла и  $a_2$  – давление в контуре.

В результате экспертизы была получена матрица знаний вида:

$$R = \begin{bmatrix} 0,9 & 0,1 & 0,2 \\ 0,6 & 0,5 & 0,5 \end{bmatrix}.$$

С учетом матрицы знаний и распределения вероятностей с учетом БСД было получено следующее логическое уравнение:

$$[0,7 \quad 0,1 \quad 0,2] = [a_1 \ a_2] \circ \begin{bmatrix} 0,9 & 0,1 & 0,2 \\ 0,6 & 0,7 & 0,5 \end{bmatrix}.$$

При использовании max-min композиции последнее соотношение преобразуется к виду:

$$0,7 = (0,9 \wedge a_1) \vee (0,6 \wedge a_2);$$

$$0,1 = (0,1 \wedge a_1) \vee (0,7 \wedge a_2);$$

$$0,2 = (0,2 \wedge a_1) \vee (0,5 \wedge a_2).$$

При решении этого уравнения получим следующие оценки:

$$a_1 = 0, 7; 0 \leq a_2 \leq 0, 1.$$

Таким образом, состояние реактора, полученное с использованием БСД, обусловлено высокой температурой твэлов, поскольку именно этой посылке соответствует наибольшее значение функции принадлежности.

## Выводы

Сложность проблемы оценки и обеспечения безопасности объектов критического применения и инфраструктур приводит к необходимости интеграции различных методов, позволяющих использовать входные данные различной кваліметрической природы. Применение нечеткого логического вывода позволяет получить логико-лінгвістическую модель системы. При построении БСД все множество систем может быть распределено на две группы: системы-родители и системы-дети. Нечеткая логика позволяет определить оценки безопасности систем-родителей с учетом данных о параметрах их компонентов. С использованием БСД могут быть получены прогнозные оценки безопасности системы-ребенка. Для получения прогнозных оценок состояния компонентов системы-ребенка используется обратный логический вывод, использующий матрицу знаний. С использованием системы обратного нечеткого вывода с учетом полученных оценок безопасности реактора получены прогнозные состояния подсистем реактора, а именно твэлов. Таким образом, гибридный подход позволяет сни-

зять требуемый объем реальных измерений параметров компонентов и систем, с одной стороны, и получить оценки безопасности, с другой.

## Список литературы

1. Leech N. *Qualitative data analysis: A compendium of techniques for school psychology research and beyond* / N. Leech, A. Onwuegbuzie. – *School Psychology Quarterly*, 23, 2008. – PP. 587-604.
2. Prein E. *Strategien zur Integration qualitativer und quantitativer. Auswertungs-verfahren.* / E. Prein, U. Kelle. – *Universitat Bremen*, 1993. – 234 p.
3. Johnson B. *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches.* / B. Johnson, L. Christensen. – *Oaks, CA: Sage Publications*, 2008. – 34 p.
4. Kang C. *Bayesian belief network-based advisory system for operational availability focused diagnosis of complex nuclear power systems* / C. Kang, M. Golay // *Expert Systems with Applications*. – Volume 17. – Issue 1. – 1999. – P. 21-32.
5. Weber P. *Complex system reliability modeling with Dynamic Object Oriented Bayesian Networks (DOOBN)* / P. Weber, L. Jouffe // *Reliability Engineering and System Safety*. – Volume 91. – Issue 2. – 2006. – PP. 149-162.
6. Weber P. *System approach-based Bayesian Network to aid maintenance of manufacturing process.* / P. Weber, B. Jung // *6th IFAC Symposium on Cost Oriented Automation, Low Cost Automation*. Berlin, Germany, October 8-9, 2001. – PP. 33-39.
7. Brezhnev E. *Dynamical and Hierarchical Criticality Matrixes-Based Analysis of Power Grid Safety.* / E. Brezhnev, V. Kharchenko, etc // *Proceeding of ANS PSA 2011 International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis*, Wilmington, NC, March 13-17, 2011. – P. 1137-1149.

Поступила в редколлегию 15.08.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Рубан, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## РАЗРОБКА ГІБРИДНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ІНФРАСТРУКТУР ТА ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Є.В. Брежнев

*Складність та нелінійність інфраструктур та об'єктів критичного застосування, наявність даних різної кваліметричної природи, що описують їх поведінку, обумовлює необхідність розробки підходів оцінювання безпеки, які б дозволяли провести інтеграцію цих даних в рамках єдиного підходу. Метод, який запропоновано, ґрунтується на послідовній висхідній та низхідній інтеграції байєсових мереж довіри (БМД) та нечіткого логічного виводу (НЛВ), що дозволяє використовувати кількісні та якісні данні об'єкті аналізу. Використання НЛВ дозволяє побудувати логико-лінгвістичну модель об'єкту. БМД дає можливість визначити стан усіх об'єктів одного рівня ієрархії, визначаючи підмножину об'єктів батьків та дітей, а також зв'язки між цими станами. Інтеграція БМД та НЛВ в рамках єдиного підходу забезпечує зниження об'єму вхідних даних, які потребуються для аналізу безпеки складних об'єктів, в порівнянні, коли ці методи застосовуються для вирішення задачі оцінки безпеки незалежно один від одного.*

**Ключові слова:** критична інфраструктура, безпека, інтеграція методів, лінгвістична зміна, критичність стану.

## THE DEVELOPMENT OF HYBRID SAFETY ASSESSMENT METHOD OF INFRASTRUCTURE AND SYSTEMS OF CRITICAL APPLICATION UNDER UNCERTAINTIES

Ye. V. Bregnev

*The complexity and nonlinearity of infrastructures and safety critical systems, existence of data with the different qualimetric nature, which describes their behavior, call for the needs of development of new safety assessment approaches to help integrating this data in the one framework. The method suggested in this paper is based on a sequential bottom-up and top down integration of BBN and fuzzy logic interference (FLI), which allows using object-related qualitative and quantitative data. FLI application helps obtaining the object logical-linguistic model. BBN facilitates the objects' states determination when these objects belong to the same hierarchy level and assigns subset of parents and children objects, determining the relations between their states as well. Integration of BBN and FLI allows decreasing the amount of input information (measurements) required for safety assessment when these methods are used independently outside from the proposed integration framework.*

**Keywords:** critical infrastructure, safety, method integration, linguistic value, state criticality.