

К МЕТОДИКЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н.С. Попов, Н.В. Лузгачева, Минь Тьинь Чан

*Кафедра «Природопользование и защита окружающей среды»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; eco@nnn.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: методика; промышленная безопасность; экспертная система.

Аннотация: Предложена методика построения экспертной системы оценки состояния опасных промышленных объектов, включающая процессы приобретения и воспроизведения знаний. Показан алгоритм работы эксперта, реализация которого возможна через систему математических операторов, составляющих новизну методики.

Во многих сферах трудовой деятельности используется особый механизм контроля со стороны специально уполномоченных государственных органов и общественных организаций, именуемый экспертизой. В рамках ее проведения происходит проверка соответствия состава, свойств и отношений элементов объекта экспертизы предписанным значениям.

В данной работе в качестве объекта экспертизы рассматриваются потенциально опасные производства, входящие в структуру природо-промышленного территориального комплекса. Правовую основу экспертизы промышленной безопасности обеспечивает Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1], где в ст. 13 сказано, что экспертизе подлежат: проектная документация, технологические устройства, здания и сооружения, декларация безопасности и иные документы, связанные с эксплуатацией опасных производственных объектов (**ОПО**).

Смысл экспертизы заключается в установлении полноты, достоверности и правильности представленной информации, соответствия ее стандартам, нормам и правилам промышленной безопасности, а результатом является вынесение экспертом положительного или отрицательного заключения о состоянии безопасности ОПО.

Не останавливаясь на подготовительных (хотя и крайне важных) этапах организации экспертизы, таких как выбор команды экспертов, согласование процедур с заказчиком и т.д., алгоритм реализации экспертизы достаточно прост (рис. 1). Важнейшим аспектом в его работе является полнота использования базы объектов экспертизы¹, условно обозначенных символом O_i , $i = \overline{1, k}$. Для этого

¹ Объектами экспертизы могут быть режимы работы оборудования, переменные состояния процессов, качество сырья, состав документации, типы энергоносителей, условия реализации процессов и многое другое. Некоторые объекты могут иметь несколько характеристик одновременно. Например, если объект «вещество», то его характеристиками x_j , $j = \overline{1, m}$, являются плотность, теплоемкость, структура и т.п.

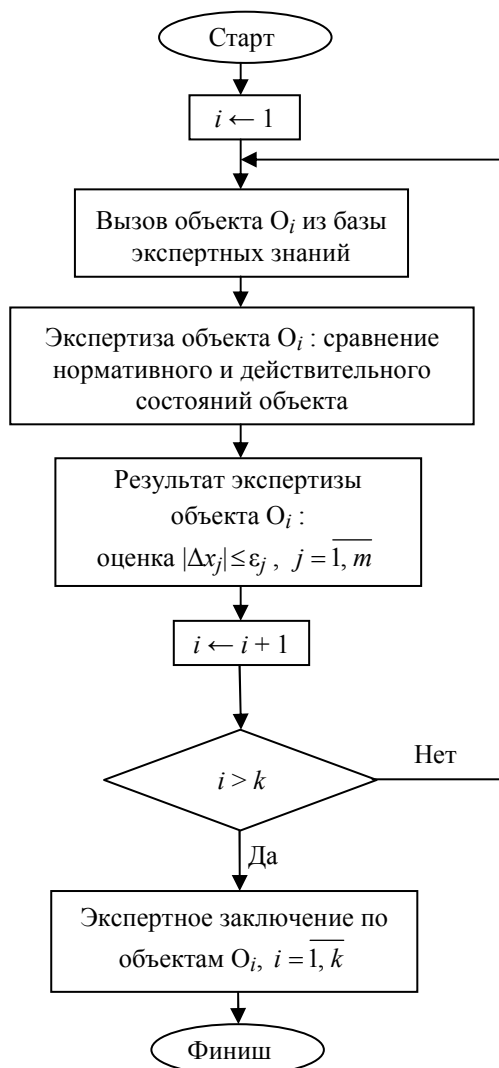


Рис. 1. Алгоритм работы эксперта:

O_i – объект экспертизы; Δx_j – отклонение j -го свойства объекта O_i от нормативного значения ε_j

заранее составляются опросные листы [2], в которых отражают все особенности работы ОПО по категориям O_i таким образом, чтобы обеспечить нужный охват специфики построения и функционирования предприятия в плане обеспечения его безопасности (хранилищ горючих веществ, технологического оборудования, систем безопасности, коммуникаций и т.д.).

Другим важным аспектом является работа эксперта с объектом O_i , где его внимание сосредоточено на выявлении нарушений (несоответствий или отклонений) состава и функций O_i от регламентных требований. В некоторых ситуациях решение о несоответствии вынести сложно, если предписания или нормативы носят исключительно качественный характер. Тогда многое зависит от квалификации эксперта и его умения обосновывать результаты экспертизы. При участии команды экспертов острота подобных ситуаций снижается, поскольку мнения всех экспертов должны проверяться на согласованность [3].

Несмотря на многообразие объектов экспертизы O_i , неизменными оказываются:

– необходимость выявления всех возможных отклонений характеристик Δx_j объектов O_i от предписанных норм, $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, m}$;

– проверка условий вида $|\Delta x_j| \leq \varepsilon_j$, где ε_j – допустимый уровень отклонений объекта по j -му свойству или характеристике.

Очевидно, что эти универсальные особенности экспертизы должны быть реализованы при конструировании экспертной системы (ЭС), компетентной² в сфере оценок безопасности ОПО. Такие ЭС можно отнести либо к категории «диагностических», либо «мониторинговых» [4]. Диагностические ЭС нацелены на выявление причин неправильного функционирования ОПО по результатам наблюдений, а мониторинговые – на сравнение результатов наблюдений за поведением ОПО с критическими точками ее программы действий.

Высокое качество работы эксперта решающим образом определяется его знаниями, в связи с чем главной задачей при конструировании ЭС является приобретение и воспроизведение знаний. Под словом «знания» понимают факты (предметные знания), гипотезы и эвристические правила [8]. Предметные знания представляют собой совокупность качественных или количественных характеристик конкретных объектов. С этой категорией знаний обычно связывают термин «данные». Эвристические правила (эмпирические выражения, приемы) необходимы для выработки решений и раскрытия пользователю хода рассуждений ЭС. Однако главное в ЭС – умение оперировать не только данными, но и концептуальными, понятийными знаниями, выраженными на естественном языке в терминах предметной области. Формой отображения понятийных знаний служат базы знаний, а сами понятийные знания именуют просто знаниями. Источником знаний в предметной области является эксперт [5].

С учетом вышесказанного представим работу ЭС с помощью оператора ES вида

$$ES : X \times N \times P(X, N) \times \Xi \rightarrow I, \quad (1)$$

где X – множество данных; N – множество знаний; $P(X, N)$ – множество правил, процедур или операций с базами данных и знаний; Ξ – множество факторов неопределенности, влияющих на качество работы ЭС; I – множество итоговых оценок, выводов или резолюций, понятных пользователю ЭС; \times – знак декартова произведения.

Согласно (1) действие оператора ES заключается в отображении множества возможных состояний ОПО, характеризуемых упорядоченными наборами данных и знаний, в множество экспертных оценок. Иными словами, оператор ES обеспечивает перенос опыта эксперта в компьютерную программу в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 1. Тогда способ конструирования ES будем рассматривать как методику проектирования экспертной системы. При этом целью данной работы является показ одного из возможных способов построения оператора ES экспертной системы оценки безопасности ОПО.

Первоначально сделаем ряд упрощающих предположений.

1. В процессе экспертизы будем анализировать технологию ОПО, начиная с произвольно выбранного аппарата (процессной единицы), входящей в ее состав.

2. Образует вектор x , компоненты которого характеризуют объекты O_i из опросного листа, составленного на предварительном этапе работы с ОПО. Компоненты вектора x могут быть количественными или качественными.

² Компетентность ЭС означает знание предметной области, понимание ее задач и умение решать интересующие целевые задачи.

Для удобства работы с \mathbf{x} разобьем его на три подвектора $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_1 : \mathbf{x}_2 : \mathbf{x}_3]$. Пусть компоненты \mathbf{x}_1 характеризуют свойства ОПО, способные увеличить размер убытков при наступлении неблагоприятного события; компоненты \mathbf{x}_2 – свойства, увеличивающие вероятность возникновения пожара или взрыва; \mathbf{x}_3 – энергетические потенциалы горючих или взрывчатых веществ. Так, например, для i -й компоненты \mathbf{x}_1 : x_i – реакция окисления, x_{i+1} – температура смеси. Для k -й компоненты \mathbf{x}_2 : x_k – давление, превышающее атмосферное, x_{k+d} – наличие смотрового стекла в аппарате. Для j -й компоненты \mathbf{x}_3 : x_j – количество горючей смеси конкретных веществ, x_{j+f} – объем взрывоопасного газа.

В плане конструирования ЕС \mathbf{x} – это факты или данные, необходимые при описании состояния безопасности выбранной процессной единицы.

3. Передачу информации от ввода объектов экспертизы до вывода результатов представим с помощью двухзвенной системы (рис. 2).

4. Введем понятия штрафной функции (**ШФ**), с помощью которой можно оценить опасность отклонения переменных \mathbf{x} от нормативных значений, и результирующую функцию (**РФ**) перевода оценок отклонений в состав экспертного заключения.

5. Рассмотрим гипотезу о том, что ШФ объекта O_i , $i = \overline{1, k}$, является функция

$$y_i = g_i(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad i = \overline{1, k}, \quad (2)$$

где y_i – реакция эксперта на значения компонент x_1, x_2, \dots, x_m вектора \mathbf{x} из п. 2. Функция g многих переменных обычно нелинейная. В окрестности «рабочей точки экспертизы» M (точка M – это своего рода граница, от которой не должны отклоняться действительные значения характеристик O_i). Функцию g можно аппроксимировать линейной моделью при малых отклонениях независимых переменных (рис. 3). Если g является аналитической, тогда в окрестности точки M с координатами (X_1, X_2, \dots, X_m) она может быть разложена в ряд Тейлора [6].

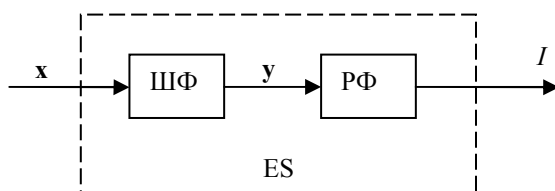


Рис. 2. Структура оператора ЕС

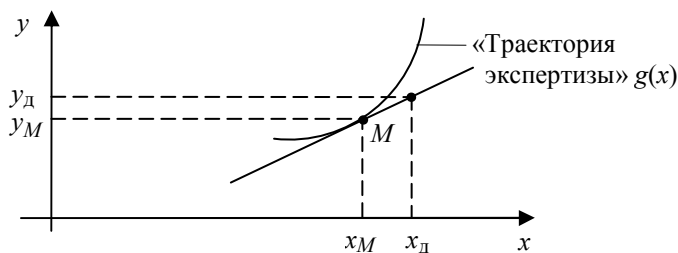


Рис. 3. Условное изображение ШФ:

$(x_d - x_M)$ – отклонение действительного состояния x_d объекта экспертизы от нормативного x_M ; $(y_d - y_M)$ – величина штрафа за невыполнение норматива

Запишем (2) в векторном виде

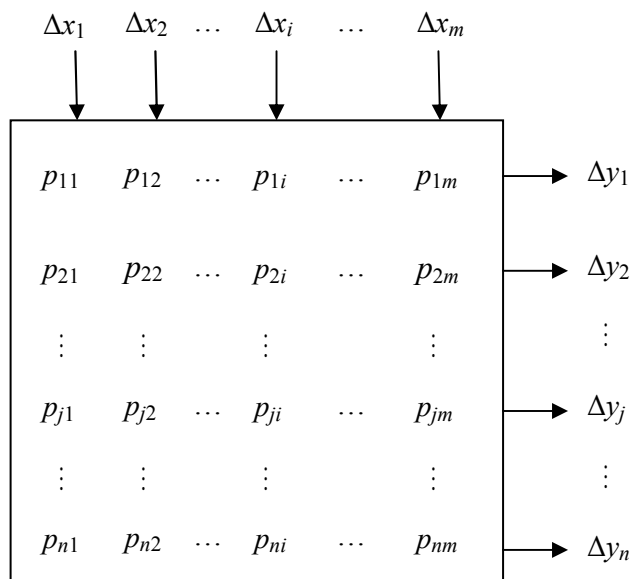
$$\mathbf{y} = \mathbf{g}(\mathbf{x}) \quad (3)$$

и, разлагая g_1, g_2, \dots, g_m в ряд с сохранением отклонений 1-го порядка, получаем

$$\mathbf{y} = \mathbf{g}(\mathbf{x}) \approx \mathbf{g}(\mathbf{X}) + \sum_{i=1}^m \left. \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial x_i} \right|_M (x_i - X_i), \quad (4)$$

где $\left. \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial x_i} \right|_M = \left[\frac{\partial g_1}{\partial x_i}, \dots, \frac{\partial g_m}{\partial x_i} \right]^T$ является вектором с m составляющими, а вектор $\mathbf{X} = [X_1, X_2, \dots, X_m]$.

Рассматривая Δx_j в качестве предмета экспертизы, а Δy_i в виде меры оценки отклонений (например «штрафа»), можно построить следующую блок-схему принятия решения о безопасности объекта O_i в форме



где $p_{ji} = \left. \frac{\partial g_j}{\partial x_i} \right|_M$, $j = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, m}$, являются не только коэффициентами передачи информации, вычисляемыми по частным производным, но и правилами работы с фактами и знаниями $P(X, N)$ в (1), поскольку Δx_j это факты нарушений, а функция g несет в себе знания о том, как их интерпретирует эксперт.

Итак, при малых отклонениях вблизи точки M система уравнений линеаризованной модели действий эксперта в векторной форме имеет вид

$$\Delta \mathbf{y} \approx P \Delta \mathbf{x}, \quad (5)$$

где матрица P является Якобианом.

6. Если аналитический вид функции g неизвестен, то тогда возможно ее задание в табличной форме, либо с помощью правил продукции искусственного интеллекта

<ЕСЛИ (условие) ТО (действие)>.

При этом компонента <ТО> может представлять собой баллы, вероятности, штрафы, указания и т.п. Связанное с правилом условие определяет, является ли то или иное правило потенциально справедливым по отношению к текущему содержанию базы данных.

Пример правил продукции:

а) ЕСЛИ: давление x_i в аппарате меньше 500 мм рт. ст., что сопряжено с опасностью подсоса кислорода воздуха (окислителя)

ТО: штраф Δy_i за отклонение от нормального атмосферного давления равен 0,5;

б) ЕСЛИ: в реакторе x_j экзотермическая реакция

ТО: штраф Δy_i за условия неизотермичности равен 0,3.

Если переменные x_j булевского типа, приведем следующий пример: $x_j = \text{TRUE}$, когда «система аварийного отключения работает» и $x_j = \text{FALSE}$ если она неисправна. Правило продукции имеет вид

ЕСЛИ: $x_j = \text{FALSE}$ ТО: штраф Δy_i за неисправность равен 0,9.

Несколько иная ситуация с x_j возникает в случае оценки интенсивности выделения энергии из определенных химических веществ или материалов, содержащихся в процессной единице. Опасность таких веществ характеризуется способностью их воспламенения и химической активностью. Каждому опасному веществу может быть поставлено в соответствие определенное число, характеризующее его опасность. Шкала таких чисел для химически опасных веществ разрабатывается специальными международными агентствами и регулярно публикуется в виде нормативных документов. Эту количественную меру опасности определим в виде

$$R = \sum_{j=1}^k x_j \gamma_j, \quad (6)$$

где x_j – относительное количество опасного вещества в процессной единице (масса или объем); γ_j – индекс опасности j -го вещества, определяемый из специальных таблиц; j – номер опасного вещества.

Выражение (6) отвечает модели (5), и с учетом того, что в идеале $x_{Mj} = 0$, вместо Δy_j имеем $y_j = R$. Для нахождения значений γ_j используем правила продукции следующего типа:

ЕСЛИ: процессная единица содержит вещество <...название...>

ТО: значение $\gamma =$ <...число...>.

7. Результирующую функцию в структуре оператора ES построим на основе эвристического правила, отвечающего цели рассматриваемой экспертной системы. Таким правилом может быть аналог закона действующих масс

$$r = k C_A C_B C_C, \quad (7)$$

в соответствии с которым при постоянной температуре результат взаимодействия веществ А, В и С пропорционален произведению молярных концентраций реагентов. Тогда, согласно (7), для рассматриваемой задачи степень опасности процессной единицы будет тем выше, чем больше отклонения у компонент подвекторов x_1 и x_2 , и чем больше значения энергетических потенциалов компонент в подвекторе x_3 .

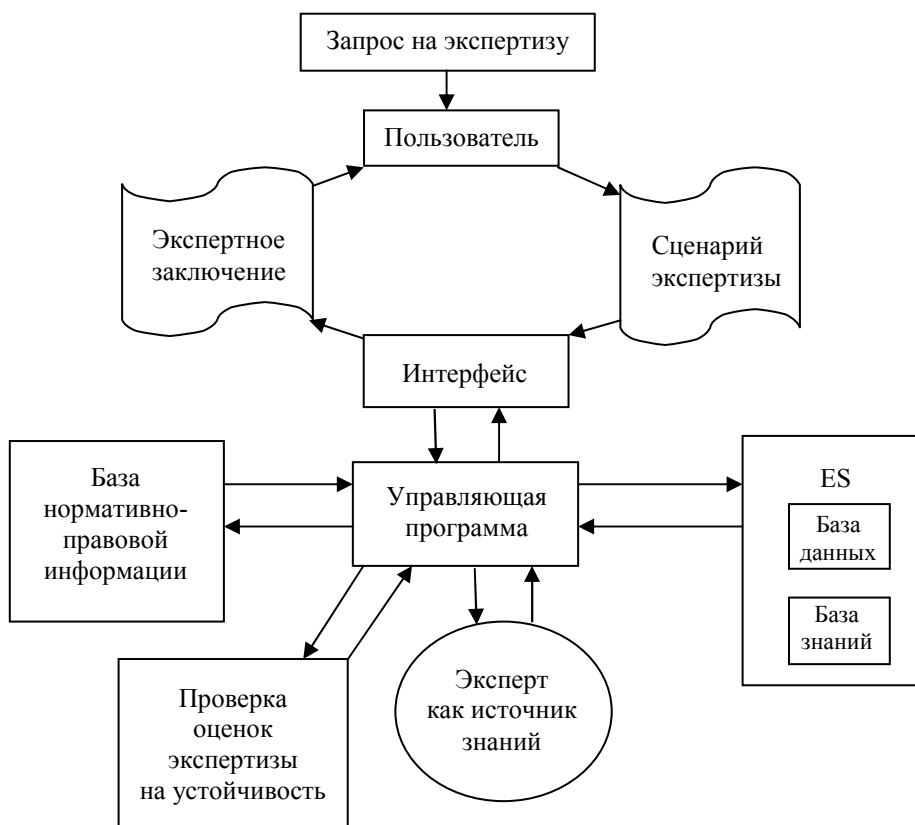


Рис. 4. Архитектура экспертной системы

В итоге меру опасности конкретного элемента процесса в ОПО представим в записи

$$I = R \sum_{i=1}^n \Delta y_i^1 \sum_{j=1}^k \Delta y_j^2 \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^n \Delta y_i^1$ и $\sum_{j=1}^k \Delta y_j^2$ – суммы штрафных баллов, наложенные экспертом за нарушение предписанных нормативов компонентами векторов x_1 и x_2 соответственно.

По терминологии работы [7] проектируемую ЭС можно отнести к системам, основанным на знаниях, в которых используются правила «если – то» (rule-based reasoning). В общем виде ее структурная схема показана на рис. 4.

Заметим, что процедура получения знаний от эксперта рассмотрена в работе [10], а проверка оценок экспертизы на устойчивость продемонстрирована в работе [11].

Разработка программного обеспечения ЭС, наполнение баз данных необходимой информацией – процесс длительный и затратный. Сбор нужных сведений о состоянии процессных единиц ОПО можно ускорить, если использовать уже известные методические материалы, полезные по назначению ЭС. В качестве методической основы при проектировании ЭС безопасности ОПО можно рекомендовать пособие [9], в котором использованы подходы компании «Доу».

Список литературы

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс] : федер. закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ : с изм. на 27 дек. 2009 г. // КонсультантПлюс : некоммерч. интернет-версия. – Режим доступа : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=131669>. – Загл. с экрана.
2. Хохлов, Н.В. Управление риском : учеб. пособие / Н.В. Хохлов. – М. : Юнити-Дана, 1999. – 239 с.
3. Рузинов, Л.П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / Л.П. Рузинов, Р.И. Слободчикова. – М. : Химия, 1980. – 280 с.
4. Уотермен, Д. Руководство по экспертным системам : пер. с англ. / Д. Уотермен. – М. : Мир, 1989. – 388 с.
5. Элти, Дж. Экспертные системы: концепции и примеры : пер. с англ. / Дж. Элти, М. Кумбс. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 192 с.
6. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1968. – 720 с.
7. Васильев, С.Н. Теория и применение логико-управляемых систем / С.Н. Васильев // Пленарные доклады II Межд. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'03. Москва, 29–31 января 2013 г. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук. – М., 2003. – 130 с.
8. Построение экспертных систем : пер. с англ. / под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. – М. : Мир, 1987. – 441 с.
9. Попов, Н.С. Оценка уровня пожаро- и взрывоопасности промышленных объектов. Методика. Программа. Примеры / Н.С. Попов, В.А. Лузгачев, Н.В. Лузгачева. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Нобелистика, 2009. – 104 с.
10. Попов, Н.С. Исследование чувствительностей оценки индекса пожаро- и взрывоопасности к погрешностям штрафных баллов / Н.С. Попов, В.А. Лузгачев, Н.В. Лузгачева // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-23 : XXIII междунар. науч. конф. : сб. тр. : в 12 т. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2010. – Т. 4 – С. 10–11.
11. Попов, Н.С. Процедура передачи знаний в сфере техногенной безопасности от эксперта в компьютерную программу / Н.С. Попов, Н.В. Лузгачева, А. Хайри // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 304–312.

To Methods of Designing Expert Evaluation System of Industrial Safety

N.S. Popov, N.V. Luzgacheva, Minh Tin Chan

*Department “Nature Management and Environmental Protection”, TSTU;
eco@nnn.tstu.ru;*

Key words and phrases: expert system; industrial safety; methodology.

Abstract: This paper proposes a method of constructing an expert system to evaluate hazards of industrial facilities, including the acquisition and reproduction of knowledge. It also shows the algorithm of the expert's work that could be implemented through the system of mathematical operators that make up the novelty of the technique.

Zur Methodik der Konstruierung des Expertensystems der Einschätzung der industriellen Sicherheit

Zusammenfassung: Es ist die Methodik des Anbaues des Expertensystems der Einschätzung des Zustandes der gefährlichen industriellen Objekte vorgeschlagen. Es ist den Algorithmus der Arbeit des Experten gezeigt. Die Realisierung des Algorithmus ist durch das System der mathematischen Operatoren, die die Neuigkeit der Methodik bilden, möglich.

Vers la méthode de la construction du système expert de l'évaluation de la sécurité industrielle

Résumé: Est proposée la méthode de la construction du système expert des états des objets industriels dangereux comprenant des processus de l'aquisition et de la reproduction des connaissances. Est montré l'algorithme du travail de l'expert dont la réalisation est possible à travers le système des opérateurs mathématiques composant la nouveauté de la méthode.

Авторы: *Попов Николай Сергеевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды»; *Лузгачева Надежда Валерьевна* – аспирант кафедры «Природопользование и защита окружающей среды»; *Чан Минь Тьинь* – аспирант кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Промтов Максим Александрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», декан факультета Международного образования, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
