

Научная статья

УДК 519.2; 62-503.55; 621.65.331

doi: 10.17223/19988605/59/6

Система выработки стратегий управления промышленной безопасностью

Максим Викторович Кривов¹, Елизавета Александровна Асламова², Вера Сергеевна Асламова³

¹ Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия, vmk@angtu.ru

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия, liza.ocean@mail.ru

³ Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия, aslamovav@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена экспертная система, советуемая стратегию управления промышленной безопасностью на основе обработки в системе поддержки принятия решений экспертных данных аудита и экспертизы промышленного объекта с использованием теории нечетких множеств. Критерием выбора эталонной ситуации является максимальное значение степени нечеткого равенства текущей и эталонной ситуаций, которая должна быть не менее 0,5.

Ключевые слова: советуемая экспертная система; стратегия управления; промышленная безопасность; система поддержки принятия решений

Для цитирования: Кривов М.В., Асламова Е.А., Асламова В.С. Система выработки стратегий управления промышленной безопасностью // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 59. С. 55–65. doi: 10.17223/19988605/59/6

Original article

doi: 10.17223/19988605/59/6

System for developing industrial safety management strategies

Maxim V. Krivov¹, Elizaveta A. Aslamova², Vera S. Aslamova³

¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, Russian Federation, vmk@angtu.ru

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation, liza.ocean@mail.ru

³ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation, aslamovav@yandex.ru

Abstract. Expert system AREOI.Expert was developed using fuzzy set theory. It gives a recommendation on the choice of an industrial safety management strategy based on the processing of expert audit data and a survey of the state of industrial safety at the facility in the AREOI Decision Support System. AREOI is part of AREOI.Expert. The expert system AREOI.Expert is implemented according to the principle of situational management of industrial safety, which is based on the formalization with the help of specialists of a number of reference (typical) industrial safety situations that are possible at the production facility, and comparison with each situation of any control action leading to an improvement in state indicators industrial safety. The criterion for choosing a strategy for a reference situation is the maximum value of the degree of fuzzy equality of the current and reference situations, which must be at least 0,5.

To form a fuzzy inference system, the linguistic variables "DEGREE OF FULFILLMENT OF REQUIREMENTS (aggregated estimates of the degree of fulfillment of classes of factors affecting industrial safety)" and "VALUE of a class of factors for the level of industrial safety" are used. The sets of terms and the main set of linguistic variables are specified in the form:

$$P = \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{DEGREE OF FULFILLMENT OF REQUIREMENTS}, \langle \text{bad, abnormal, normal, good} \rangle, [0...100] \rangle, \\ \langle \text{VALUE}, \langle \text{low, medium, high} \rangle, [0...100] \rangle \end{array} \right\}$$

To determine the boundaries of term sets of the variable "DEGREE OF FULFILLMENT OF REQUIREMENTS", a triangular membership function is used, and for the variable "VALUE" is a trapezoidal membership function.

In the operating mode, AREOI.Expert works according to the following algorithm: reception of assessments of the current situation of the state of industrial safety, which are formed by the decision support system AREOI; transformation of the assessment into the current fuzzy situation; comparison of the current fuzzy situation of the industrial safety state with reference situations and the search for the closest reference situation; comparison of the current fuzzy situation with reference situations and search for the nearest reference situation; if the degree of equality of the reference situation exceeds the confidence threshold $\geq 0,6$, then the expert system generates a control decision characteristic of a similar reference situation. Otherwise, the network (knowledge base) of fuzzy situations should be expanded with an expert assessment of the current situation. Otherwise, the network (knowledge base) of fuzzy situations should be expanded by an expert assessment of the current situation.

If the current situation is indistinctly equal to two or more reference situations, then the coefficient of the degree of preference α is additionally introduced to resolve this conflict. The value $\alpha = 1$, if the strategy is always used, often – $\alpha = 0,9$, sometimes – $\alpha \approx 0,7$. The degree of preference makes it possible to increase the influence on the choice of a particular situation when comparing the current industrial safety situation with the reference ones.

Interfaces of AREOI.Expert and AREOI systems are created using WPF (Windows presentation foundation) technology based on frames. To separate the application logic from the user interface, the MVVM design pattern was applied, which ensures the separation of the application business logic and is implemented in the format of the entity class relationship system. The data storage was the free software of the SQLite DBMS. Using the Database-First approach in Entity Framework 6.0, an ORM is generated Object Relational Mapping of the Data Model.

Keywords: advising expert system; management strategy; industrial safety; decision support system

For citation: Krivov, M.V., Aslamova, E.A., Aslamova, V.S. (2022) System for developing industrial safety management strategies. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 59. pp. 55–65. doi: 10.17223/19988605/59/6

На эффективность управления промышленной безопасности (ПБ) оказывают существенное влияние качество информационного обеспечения, служащего для сбора и анализа информации, необходимой для принятия решений по обеспечению ПБ [1, 2], культура безопасности, под которой понимается психологическая и квалификационная подготовленность персонала [3], соблюдение требований нормативных документов и регламента технологического режима, техническое состояние и своевременность технического обслуживания и ремонтов, оценка и разработка способов контроля риска аварии и др. В Указе Президента РФ № 198 «Об основах государственной политики РФ в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» от 6 мая 2018 г. также отмечается, что необходимы развитие, внедрение информационных технологий, которые осуществляют взаимодействие с организациями, оптимизируют процесс получения, хранения, обработки и анализа информации о производственном контроле за соблюдением требований ПБ. Это подтверждает актуальность разработки экспертной системы выработки стратегий управления ПБ на основе проведения аудита и экспертизы ПБ на объектах железнодорожного транспорта (ОЖДТ).

Опасные производственные объекты (ОПО) на протяжении всего жизненного цикла поднадзорны Ростехнадзору и подлежат постоянному мониторингу и контролю, что обосновывает актуальность задачи создания советующей системы выработки стратегий управления ПБ. К.В. Буйко и Ю.В. Пантюхова провели сравнительный анализ способов оценки ПБ ОПО, который продемонстрировала следующие преимущества использования экспертных оценок для расчета уровня ПБ: простота использования и вычислений; объективность, применимость как для разных отраслей промышленности, так и для одного предприятия; полнота охвата влияющих факторов и наличие необходимых данных [4].

Актуальность проблемы обеспечения ПБ ОПО диктуется также старением используемого оборудования, машин, установок, которое существенно обгоняет темпы их замены и модернизации [5]. Поэтому необходимо проводить их диагностику и техническое освидетельствование для обнаружения потенциально опасных элементов и принятия упреждающих решений, предотвращающих катастрофические отказы техники. Для повышения качества и эффективности обработки информации при проведении освидетельствования и диагностики необходимы формализация и структуризация предметной области (ПрОб), а также разработка на основе прецедентного подхода системы поддержки принятия решений (СППР), что и выполнено в работе [5].

В работе [6] осуществлена модификация редактора CLIPS баз знаний продукции, предназначенного для анализа ПрОб, проектирования информационных моделей, описывающих причинно-следственные взаимосвязи в задачах прогнозной оценки исходной дефектности, поврежденности, разрушения и отказа объектов нефтехимии при проведении экспертизы ПБ.

В [7] отмечено, что экспертные системы (ЭС) способны вырабатывать логические выводы, используя знания специалистов предметной области, что позволяет использовать этот опыт для формирования рекомендаций. ЭС, разработанная в [8], автоматически анализирует параметры процесса производства полиакриловых волокон. В одном из блоков ЭС формируются и накапливаются в БД знания и правила эксперта по оптимальному проведению процесса с учетом изменяющегося сырья, состава оборудования и др. В другом блоке эти правила используются операторами-технологами. Все правила состоят из набора логических выводов: условный оператор перехода if, параметры или функции процесса then, результат работы ЭС. Предполагается, что правило не может зависеть от наименований и значений параметров процесса производства.

Учитывая сложность системы управления ПБ, существенное число влияющих факторов, необходимость переработки большого объема качественной информации, преобладающей над количественной, актуальной задачей является использование методов обработки качественной информации на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики [9–11].

В процессе поиска стратегий управления лицо, принимающее решение (ЛПР), обсуждает, формулирует и упрощает задачу поиска с применением таких нечетких понятий, как «много», «мало», «хорошо», «плохо» и т.д. По причине применения лингвистических и нечетких переменных целесообразно реализовать приведенные нечеткие понятия в модели принятия стратегии управления промышленной безопасностью на основе советующей ЭС с помощью ситуационного подхода [9, 10].

В разработанной ЭС стратегии выдаются на базе информации, получаемой в СППР AREOI, входящей в ЭС и описанной в [12–14].

1. Ситуационное управление промышленной безопасностью

Предлагаемый в настоящей работе принцип ситуационного управления ПБ основан на формализации с помощью экспертов ряда эталонных (типовых) ситуаций ПБ, которые возможны на производственном объекте, и сопоставлении с каждой ситуацией некоторого управляющего воздействия, ведущего к улучшению показателей ПБ.

Будем понимать под термином «ситуация ПБ» набор (множество) признаков P_j ($j = 1..N$), характеризующих ПБ, и их значений v_k^j ($k = 1..K$), позволяющих различать и характеризовать уровень (качество) ПБ:

$$s_i = \langle P_j / v_k^j, R_i \rangle, \quad s_i \in S, \quad (1)$$

где R_i – управляющее решение или стратегия улучшения ПБ. В выражении (1) значения признаков v_k^j дискретизированы на K интервалов с целью показать возможность использования дискретных, или интервальных, оценок для признаков. При этом множество S эталонных ситуаций в (1) представляет собой набор определенных экспертами ситуаций ПБ производственного объекта (назовем их эталонными), которыми можно управлять, улучшая уровень ПБ. Множество S можно представить также в форме ситуационного графа, вершинами которого являются определенные экспертами ситуации $s_i \in S$, а дуги есть управляющие решения R_i , обеспечивающие изменение состояния ПБ. На рис. 1 представлена структура ЭС для управления ПБ.

В режиме эксплуатации ЭС работает по следующему алгоритму:

- 1) прием оценок текущей ситуации ПБ, которые формирует СППР;
- 2) преобразование оценки в текущую нечеткую ситуацию;
- 3) сопоставление текущей нечеткой ситуации ПБ с эталонными ситуациями и поиск наиболее близкой эталонной ситуации;

4) если степень равенства эталонной ситуации превышает порог доверия ($\geq 0,6$), то экспертная система формирует управляющее решение, характерное для схожей эталонной ситуации. Иначе сеть (БЗ) нечетких ситуаций следует расширить экспертной оценкой текущей ситуацией.

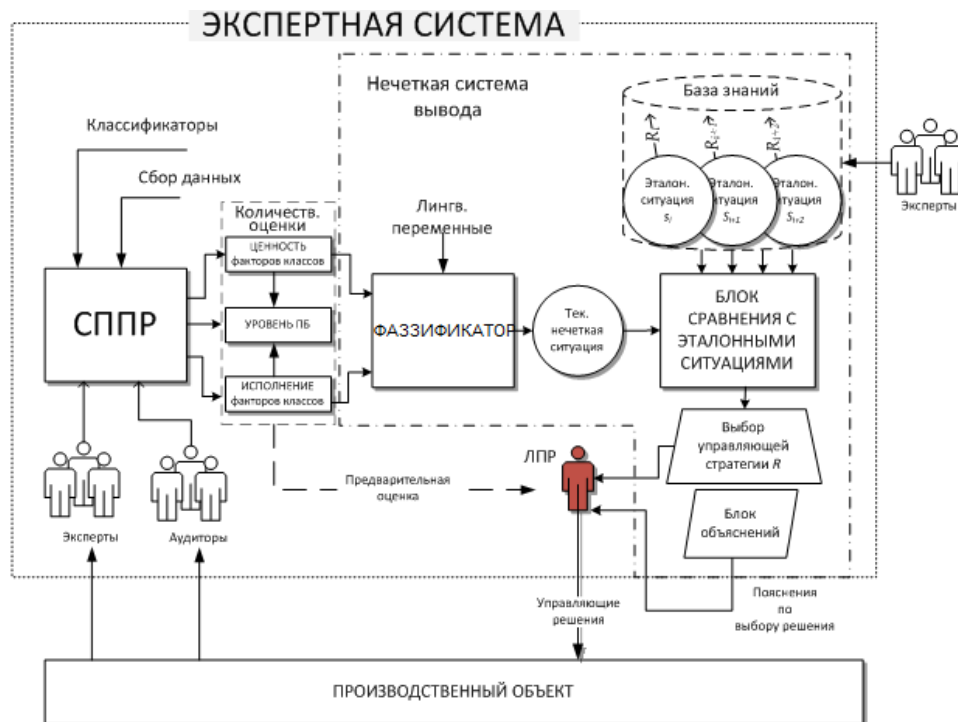


Рис. 1. Структура ЭС AREOI.Expert для управления ПБ
Fig. 1. Structure of ES AREOI.Expert for fire safety management

ЭС предлагает ЛПР стратегию R , соответствующую управляющему решению R_i эталонной ситуации s_i , наиболее близкой к текущей ситуации s^* :

$$R = R_i : s^* \subseteq s_i, s_i \in S, \quad (2)$$

где s^* – некоторая текущая ситуация на производственном объекте, которая характеризуется уровнем «исполнения» класса факторов и «ценностью» для ПБ класса факторов, вычисляемыми в СППР, описанной в [12–14]. Выбор меры близости / равенства / включения $s^* \subseteq s_i$ представляет отдельный вопрос исследования и будет освещен ниже.

Особенность формализации управляющих решений R_i по обеспечению заданного уровня ПБ состоит в том, что они являются директивными («увеличить», «уменьшить» и т.п.) и плохо выражаются через какие-либо числовые оценки. Но, выраженные на естественном языке, управляющие решения наделяются однозначно трактуемым смыслом для ЛПР. Например: «Информационное обеспечение существенно улучшить»; «Организационные меры оставить без изменения» и т.д.

Также отметим, что и признаки, характеризующие ПБ, плохо трактуются ЛПР в количественной форме, но вполне естественно могут быть охарактеризованы с помощью качественных значений. Например, «ценность – низкая», «уровень выполнения – высокий».

При переходе в область качественных значений и нечеткого логического вывода для (1) определим понятие нечеткой ситуации $\tilde{s}_i$:

$$\tilde{s}_i = \left\{ \left\langle \mu_s(p_i) / p_i \right\rangle, p_i \in P, \right\} \quad (3)$$

где функция принадлежности $\mu_s(p_i) = \left\langle \mu_s(T_j^i) / T_j^i \right\rangle$.

В выражении (3) P есть множество признаков, и каждый признак описывается кортежем:

$$P = \langle p_i, T_i, D_i \rangle, \quad (4)$$

где T_i – терм-множество лингвистической переменной (ЛП) p_i , описывающее качественное значение i -го признака, D_i – базовое множество i -го признака.

Для формирования нечеткой системы вывода зададимся лингвистическими переменными ИСПОЛНЕНИЕ (агрегированная оценка степени выполнения класса факторов) и ЦЕННОСТЬ (класса факторов для ПБ). Определим для каждой ЛП терм-множества и базовое множество:

$$P = \left\{ \left\langle \text{ИСПОЛНЕНИЕ}, \langle \text{плохо, ненормально, нормально, хорошо} \rangle, [0...100] \right\rangle, \left\langle \text{ЦЕННОСТЬ}, \langle \text{низкая, средняя, высокая} \rangle, [0...100] \right\rangle \right\}. \quad (5)$$

Для определения границ терм-множеств переменной ИСПОЛНЕНИЕ используются треугольная функция принадлежности, а для переменной ЦЕННОСТЬ – трапецеидальная функция принадлежности.

Задавшись механизмом качественного описания ПБ в соответствии с (3), создадим базу знаний о нечетких ситуациях ПБ и стратегии управления, которые должны формироваться экспертами на этапе синтеза и настройки ЭС (см. таблицу).

Нечеткие ситуации ПБ и ПР и стратегии управления (фрагмент)

№ ситуации	Значение ЛП ИСПОЛНЕНИЕ	Значение ЛП ЦЕННОСТЬ	Управляющая стратегия R
1	хорошо	высокая	оставить без изменения
2	хорошо	средняя	оставить без изменения
3	хорошо	низкая	ослабить контроль
4	нормально	высокая	взять на контроль
5	нормально	средняя	взять на контроль
...	...	...	...
N	ненормально	высокая	усилить контроль

Чтобы облегчить экспертам процесс формирования нечеткой ситуационной сети, предложено описывать ситуацию в форме продукций вида:

ЕСЛИ ИСПОЛНЕНИЕ = <НЕЧЕТКОЕ ЗНАЧЕНИЕ>
И ЦЕННОСТЬ = <НЕЧЕТКОЕ ЗНАЧЕНИЕ>, ТО УПРАВЛЕНИЕ = R.

Степень равенства текущей ситуации $\tilde{A}$ и нечеткой эталонной ситуации $\tilde{B}$ оценивается по выражению

$$\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) = \bigcap_{x \in X} (\mu_A \leftrightarrow \mu_B). \quad (6)$$

В соответствии с определением нечеткой эквивалентности раскроем выражение (6):

$$(\mu_A \leftrightarrow \mu_B) = \min(\max(1 - \mu_A, \mu_B), \max(1 - \mu_B, \mu_A)). \quad (7)$$

В ряде источников предлагается считать, что если $\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) > 0,5$, то ситуации нечетко равны [9–11]. Если $\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) = 0,5$, то ситуации будут нечетко индифферентными.

В нечеткой ситуационной сети вполне возможна ситуация, когда две или более эталонных ситуации будут иметь степень равенства $\geq 0,5$. В этом случае алгоритмом должна быть выбрана ситуация с наибольшей степенью равенства. Но вероятен и случай, когда текущая ситуация будет нечетко равна двум или более эталонным ситуациям. Чтобы разрешить этот конфликт, дополним каждое правило, описывающее ситуацию, специальным коэффициентом α – степенью предпочтения. Значение $\alpha = 1$, если стратегия используется всегда, часто – $\alpha = 0,9$, иногда – $\alpha \approx 0,7$, как это предлагается в [9]. Степень предпочтения позволяет усилить влияние на выбор той или иной ситуации при сопоставлении текущей ситуации ПБ с эталонными.

Тогда с учетом степени предпочтения выражение (6) принимает вид:

$$\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) = \bigcap_{x \in X} (\mu_A \leftrightarrow \alpha \mu_B), \quad (8)$$

где $\tilde{B}$ – нечеткая эталонная ситуация, $\tilde{A}$ – текущая. Тогда выражение (7) примет вид:

$$(\mu_A \leftrightarrow \mu_B) = \min(\max(1 - \mu_A, \alpha \mu_B), \max(1 - \alpha \mu_B, \mu_A)). \quad (9)$$

2. Описание ЭС AREOI.Expert

Разработанная ЭС AREOI.Expert в качестве составной части включает СППР AREOI, чтобы иметь в своем распоряжении БЗ, БД, результаты работы СППР: оценки экспертов и аудиторов, агрегированные степени исполнения и ценность каждого класса факторов и базовых факторов каждого класса. Чтобы ЭС заработала, нужно предварительно ее настроить (рис. 2). Поскольку ЭС осована на системе нечеткого вывода, то требуется определить лингвистические переменные и терм-множества нечетких значений.

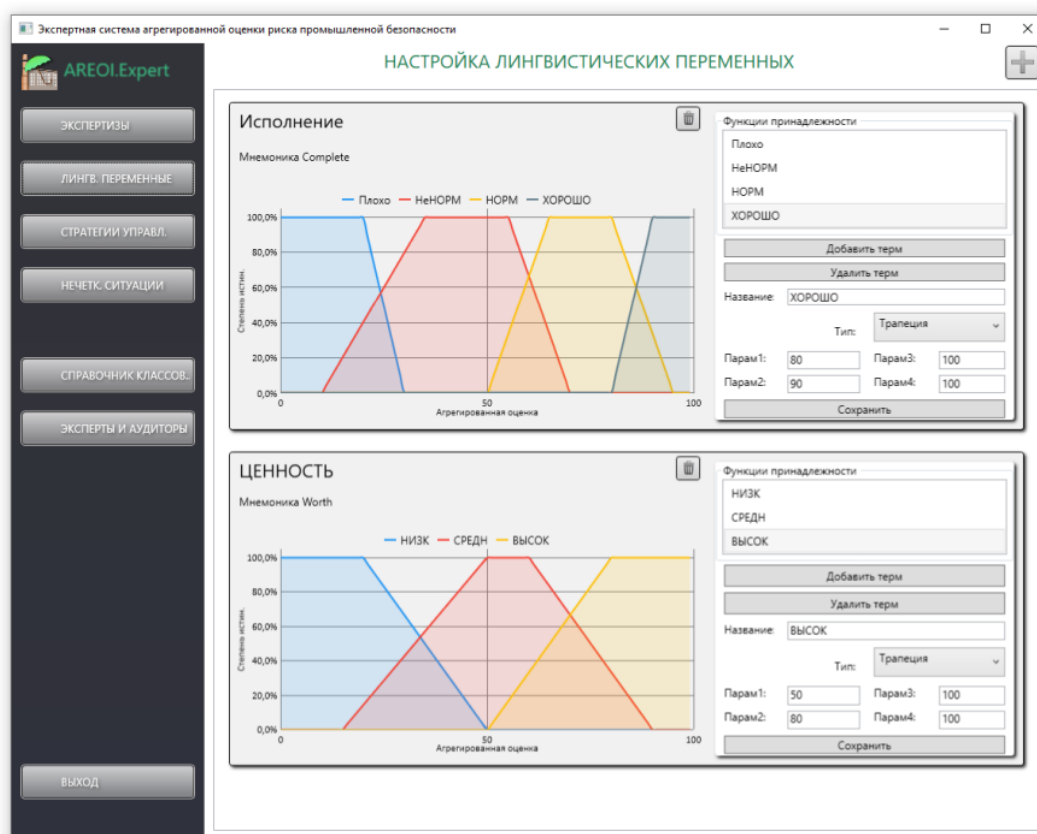


Рис. 2. Настройка лингвистических переменных

Fig. 2. Setting linguistic variables

Лингвистические переменные используются в ЭС в качестве оценочных переменных: это уровень исполнения того или иного фактора ПБ, а также ценность этого фактора. В соответствии с теорией нечетких множеств каждая лингвистическая переменная наделена кортежем (4), где присутствуют также и терм-множества в качественных значениях. Например, для лингвистической переменной ИСПОЛНЕНИЕ определены терм-множества: «плохо», «ненормально», «нормально» и «хорошо». Функции принадлежности нечетких терм-множеств в редакторе лингвистической переменной могут быть заданы треугольной, трапецидальной функцией либо функцией синглтоном. В редакторе нечетких переменных можно выбирать параметры функции принадлежности терм-множеств, например можно сделать тот или иной терм пологим. Можно изменять тип функции принадлежности. Значения параметров функций принадлежности назначаются экспертами.

Каждому набору значений качественных признаков, определяющих нечеткую ситуацию, должна быть сопоставлена стратегия управления. В ЭС стратегия формируется вербальной директивой по управлению ПБ для каждого класса факторов. Словарь стратегий формируется экспертами (рис. 3). Представленный набор стратегий управления не является фиксированным, редактор стратегий позволяет расширять набор стратегий управления.

Словарь стратегий управления ПБ

Решение	Пояснение
Ослабить контроль	Состояние ПБ на достаточно хорошем уровне, однако экспертная система считает управление завышенным в силу низкой ценности фактора
Оставить контроль на текущем уровне	Состояние ПБ на достаточно хорошем уровне, предпринятые меры управления достаточны для удержания уровня ПБ
Усилить контроль	Неудовлетворительный уровень ПБ. Требуется дополнительные меры по повышению уровня ПБ
Взять на контроль	Есть признаки ухудшения ПБ. Требуется обратить внимание на исполнение мероприятий, определяющих факторы ПБ

Рис. 3. Словарь стратегий управления
Fig. 3. Vocabulary of control strategies

ГЕНЕРАТОР НЕЧЕТКИХ СИТУАЦИЙ

Эталонная ситуация - НОРМА

Признак	Значение
Исполнение	ХОРОШО
ЦЕННОСТЬ	СРЕДН

Решение:

- Ослабить контроль
- Оставить контроль на текущем уровне
- Усилить контроль
- Взять на контроль

Свойства ситуации: Предпочтение: Всегда

Усилить контроль

Признак	Значение
Исполнение	НЕНОРМ
ЦЕННОСТЬ	ВЫСОК

Решение:

- Ослабить контроль
- Оставить контроль на текущем уровне
- Усилить контроль
- Взять на контроль

Свойства ситуации: Предпочтение: Всегда

Ослабить контроль

Рис. 4. Генератор нечетких ситуаций
Fig. 4. Fuzzy generator

Далее следует сформировать сеть нечетких ситуаций с использованием модуля «Генератор нечетких ситуаций» (рис. 4). Он позволяет пользователю сопоставить качественные значения признаков и требуемой стратегии управления.

После настройки ЭС готова к эксплуатации. Главный экран программы ЭС содержит рабочую область, навигационное меню, которое позволяет управлять режимами работы программы (см. рис. 2). Если экспертиза не была проведена, то эксперты и аудиторы, выбрав в меню кнопку «Эксперты и аудиторы», могут зарегистрироваться, а затем, выбирая из справочника классов факторов требуемые классы, выставить требуемые оценки (рис. 5). Для каждого фактора выставляют: эксперт – ценность фактора и класса, аудитор – степень исполнения фактора. СППР вычислит агрегированные оценки ценностей классов факторов и агрегированный уровень ПБ. Ее результаты расчета будут записаны в БД и доступны ЭС. Результаты работы СППР представлены в наглядном виде: для ценности классов факторов использован красный цвет, для агрегированной оценки степени исполнения классов факторов – синий.

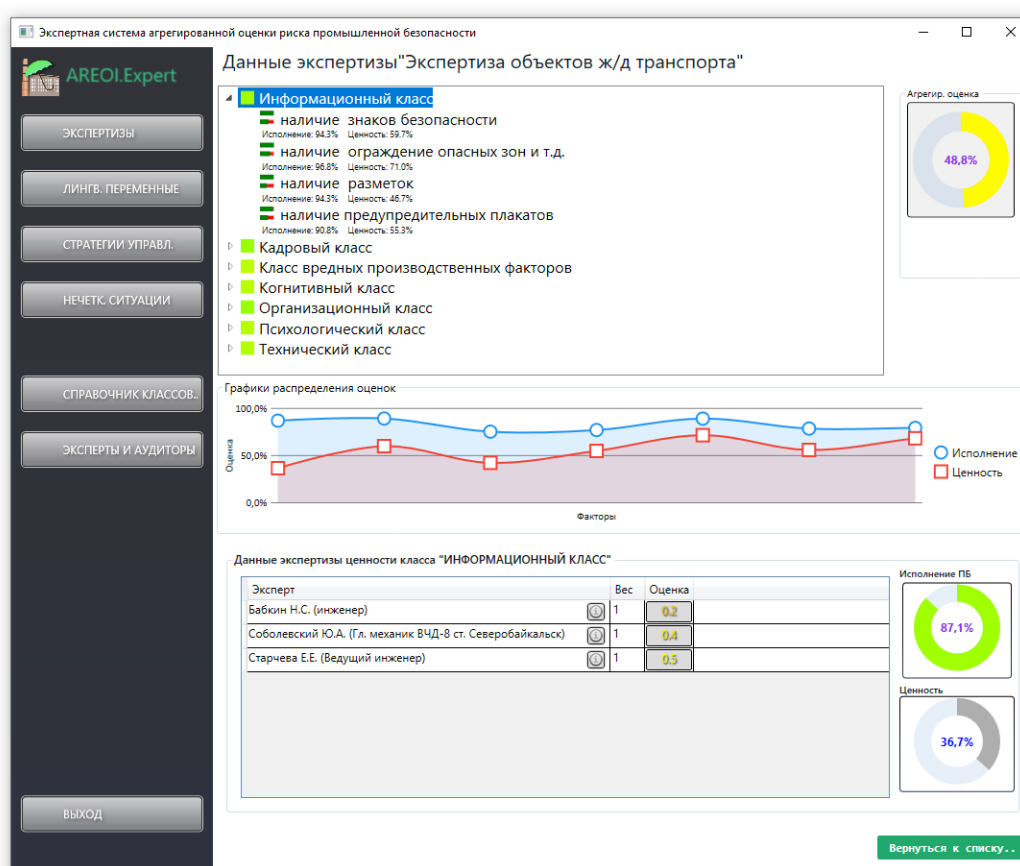


Рис. 5. Запись результатов экспертизы информационного класса факторов
Fig. 5. Recording the results of the examination of the information class of factors

Важным качеством любой ЭС является возможность объяснения ситуации и причины выбора решения. Первый шаг к обеспечению этого свойства – создание системы комментариев, разъясняющих и поясняющих условия формирования стратегии и порядок действий согласно данной стратегии. На рис. 6 показан фрагмент результатов экспертного вывода.

Текущая ситуация ПБ была оценена экспертами ПБ, и их оценки размещены в СППР. По данным оценкам для каждого класса факторов ЭС пытается подобрать схожую эталонную ситуацию, которую предвидели эксперты и предложили стратегию управления. Критерием выбора эталонной ситуации является максимальное значение степени нечеткого равенства ситуации, которая должна быть не менее 0,5 (предпочтительнее выбирать ее более 0,7). Рассмотрим в качестве примера случай,

приведенный на рис. 6. Для текущей ситуации ПБ в информационном классе факторов ПБ ЭС определила наиболее нечетко близкой ситуацию «Обратить внимание». При этом ЭС рекомендует выбрать для этого класса стратегию управления «Взять на контроль». Высокая степень равенства ситуаций (0,67) позволяет ЛПР довериться ЭС в корректности выбранной стратегии. Кроме того, агрегированная оценка уровня исполнения класса (63%) также подтверждает вывод о необходимости предпринимать определенные действия.

The screenshot displays the 'Экспертная система "Экспертиза объектов ж/д транспорта"' (Expert System "Expertise of railway objects") interface. It features a sidebar with navigation buttons: ЭКСПЕРТИЗЫ, ЛИНГВ. ПЕРЕМЕННЫЕ, СТРАТЕГИИ УПРАВЛ., НЕЧЕТК. СИТУАЦИИ, СПРАВОЧНИК КЛАССОВ, ЭКСПЕРТЫ И АУДИТОРЫ, and ВЫХОД. The main area is divided into two sections: 'Информационный класс' (Information class) and 'Кадровый класс' (Personnel class). Each section shows expert evaluations, fulfillment percentages (87.11% and 89.37% respectively), and value percentages (36.67% and 60.00% respectively). Below these are tables for finding expert system solutions, listing situations, factor values (ФП1, ФП2), S.N.P. values, preferences, and recommended strategies. The bottom of each section shows the final expert system output and the degree of fuzzy equality (0.62 for Information class).

Информационный класс

Оценки экспертов: Исполнение: 87.11% Ценность: 36.67%

Поиск решения экспертной системы:

Ситуация	ФП1	ФП2	С.Н.Р.	Предпочт.	Стратегия
Эталонная ситуация - НОРМА	ХОРОШО (0,71)	СРЕДН (0,62)	0.62	ВСЕГДА	Оставить контроль на текущем уровне
Усилить контроль	НЕНОРМ (0,00)	ВЫСОК (0,00)	0.00	ВСЕГДА	Усилить контроль
Ослабить контроль	ХОРОШО (0,71)	НИЗК (0,44)	0.44	ВСЕГДА	Оставить контроль на текущем уровне
Чрезвычайная ситуация	Плохо (0,00)	ВЫСОК (0,00)	0.00	ВСЕГДА	Усилить контроль
Немного усилить контроль	НОРМ (0,53)	НИЗК (0,44)	0.44	ВСЕГДА	Взять на контроль
Обратить внимание	НОРМ (0,53)	СРЕДН (0,62)	0.47	ЧАСТО	Взять на контроль

Вывод экспертной системы: Оставить контроль на текущем уровне Степень нечеткого равенства: 0.62

Кадровый класс

Оценки экспертов: Исполнение: 89.37% Ценность: 60.00%

Поиск решения экспертной системы:

Ситуация	ФП1	ФП2	С.Н.Р.	Предпочт.	Стратегия
Эталонная ситуация - НОРМА	ХОРОШО (0,94)	СРЕДН (1,00)	0.94	ВСЕГДА	Оставить контроль на текущем уровне
Усилить контроль	НЕНОРМ (0,00)	ВЫСОК (0,33)	0.00	ВСЕГДА	Усилить контроль
Ослабить контроль	ХОРОШО (0,94)	НИЗК (0,00)	0.00	ВСЕГДА	Оставить контроль на текущем уровне
Чрезвычайная ситуация	Плохо (0,00)	ВЫСОК (0,33)	0.00	ВСЕГДА	Усилить контроль
Немного усилить контроль	НОРМ (0,38)	НИЗК (0,00)	0.00	ВСЕГДА	Взять на контроль
Обратить внимание	НОРМ (0,38)	СРЕДН (1,00)	0.34	ЧАСТО	Взять на контроль

Вывод экспертной системы: Оставить контроль на текущем уровне Степень нечеткого равенства: 0.62

Вернуться к списку...

Рис. 6. Логические выводы ЭС по классам факторов
Fig. 6. The logical conclusions of the ES by classes of factors

Интерфейсы ЭС и СППР созданы по технологии WPF (Windows Presentation Foundation) на основе фреймов. Для разделения логики приложения от интерфейса пользователя был применен паттерн проектирования MVVM, обеспечивающий разделение бизнес-логики приложения и реализованный в формате системы отношений классов сущностей. В качестве хранилища данных выступало свободное программное обеспечение СУБД SQLite. С помощью подхода Database-First в Entity Framework 6.0 сгенерировано ORM – объектно-реляционное отображение модели данных.

Заключение

ЭС относится к классу «ситуация → стратегия управления → действие». ЭС используется в случае, когда агрегированная оценка класса мала (т.е., с точки зрения ЛПР, система управления ПБ не в полной мере соответствует целевому назначению), или перед ЛПР стоит задача повысить целевую эффективность системы управления. В качестве советующего решения ЭС выбирает стратегию, характерную для эталонной ситуации с максимальной степенью ее нечеткого равенства с текущей,

т.е. критерий выбора эталонной ситуации – максимальное значение степени нечеткой эквивалентности текущей и эталонной ситуаций, которая должна быть не менее 0,5. Предпочтительно выбирать эталонную ситуацию со степенью эквивалентности более 0,7. Получены рекомендации по использованию ЭС: для настройки признаков ЭС смежные терм-множества нечетких значений должны взаимно пересекаться с ординатой $\geq 0,6$; если для какой-либо входной ситуации нет эталонной ситуации со степенью равенства $> 0,5$, значит сеть нечетких ситуаций неполная и требует расширения.

Список источников

1. Бочков А.В., Пономаренко Д.В. Научно-методические основы мониторинга и прогнозирования состояния промышленной безопасности ПАО «ГАЗПРОМ» // Газовая промышленность. 2017. № 3. С. 20–30.
2. Бочков А.В. Проблемы оценки опасностей и управления рисками объектов критически важной инфраструктуры группы «ГАЗПРОМ»: аналитический обзор // Вести газовой науки. 2018. № 2 (34). С. 51–82.
3. Пономаренко Д.В., Ивенков С.Г., Панова, М.А. Лесных В.В. Проблемы формирования культуры безопасности в нефтегазовой сфере // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 10. С. 65–70.
4. Буйко К.В., Пантюхова Ю.В. Подходы к оценке уровня промышленной безопасности в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты. URL: <http://kalugatechnadzor.ru/analitika/371-podxody-k-ocenke-urovnya-promyshlennoj-bezopasnosti-v-organizacziyax-ekspluatiruyushhix-opasnye-proizvodstvennye-obekty> (дата обращения: 23.11.2017).
5. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И., Юрин А.Ю., Кузнецов К.А. Информационная система для проведения экспертизы промышленной безопасности // Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем : материалы и доклады VI Всерос. конф., Красноярск, 18–21 сентября 2018 г. Красноярск : Сиб. фед. ун-т, 2018. С. 23–27.
6. Берман А.Ф., Грищенко М.А., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Проблемно-ориентированный редактор продукционных баз знаний // Программные продукты и системы. 2015. № 2 (110). С. 13–19.
7. Коршунов С.А., Павлов А.И., Николайчук О.А. Web-ориентированный компонент продукционной экспертной системы // Программные продукты и системы. 2015. № 2 (110). С. 20–25.
8. Буров А.Н., Калабин А.Л., Козлов А.В., Пакшвер Э.А. Экспертная система мониторинга технологического процесса // Программные продукты и системы. 2015. № 2 (110). С. 39–47.
9. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 272 с.
10. Карелин В.П. Модели и методы представления знаний и выработки решений в интеллектуальных информационных системах с нечеткой логикой // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2014. № 1. С. 75–83.
11. Целых А.Н., Котов Э.М. Методы нечетко-множественного анализа и моделирования социальных графов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11178> (дата обращения: 21.08.2021).
12. Асламова Е.А., Аршинский Л.В. Методика агрегированной оценки защищенности работников от профессионального поражения на основе знаниевых технологий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. № 4 (8). С. 39–51.
13. Aslamova E.A., Arshinsky L.V., Aslamova V.S., Krivov M.V. Expert system for aggregate industrial safety assessment at enterprises based on knowledge technologies // Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2020. V. 760. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/760/1/012007/meta> (accessed: 21.08.2021).
14. Асламова Е.А., Кривов М.В., Асламова В.С. Экспертная система агрегированной оценки уровня промышленной безопасности // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2018. № 44. С. 84–92.

References

1. Bochkov, A.V. & Ponomarenko, D.V. (2017) Nauchno-metodicheskie osnovy monitoringa i prognozirovaniya sostoyaniya promyshlennoy bezopasnosti PAO "GAZPROM" [Scientific and methodological foundations for monitoring and forecasting the state of industrial safety of PJSC GAZPROM]. *Gazovaya promyshlennost' – Gas Industry Journal*. 3. pp. 20–30.
2. Bochkov, A.V. (2018) Problemy otsenki opasnostey i upravleniya riskami ob"ektov kriticheski vazhnoy infrastruktury gruppy "GAZPROM": analiticheskiy obzor [Problems of Hazard Assessment and Risk Management of Critical Infrastructure Facilities of the GAZPROM Group: An Analytical Review]. *Vesti gazovoy nauki*. 2(34). pp. 51–82.
3. Ponomarenko, D.V., Ivenkov, S.G., Panova, M.A. & Lesnykh, V.V. (2016) Problems of forming a safety culture in the oil and gas sphere. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 10. pp. 65–70.
4. Buyko, K.V. & Pantyukhova, Yu.V. (n.d.) *Podkhody k otsenke urovnya promyshlennoy bezopasnosti v organizatsiyakh, ekspluatiruyushchikh opasnye proizvodstvennye ob"ekty* [Approaches to assessing the level of industrial safety in organizations operating hazardous production facilities]. [Online] Available from: <http://kalugatechnadzor.ru/analitika/371-podxody-k-ocenke-urovnya-promyshlennoj-bezopasnosti-v-organizacziyax-ekspluatiruyushhix-opasnye-proizvodstvennye-obekty> (Accessed: 23rd November 2017).

5. Berman, A.F., Nikolaychuk, O.A., Pavlov, A.I., Yurin, A.Yu. & Kuznetsov, K.A. (2018) Information system for the examination of industrial safety. *Bezopasnost' i monitoring tekhnogennykh i prirodnnykh sistem* [Safety and monitoring of technogenic and natural systems materials and reports]. Proc. of the 6th Conference. Krasnoyarsk, September 18–21, 2018. pp. 23–27.
6. Berman, A.F., Grishchenko, M.A., Nikolaychuk, O.A. & Yurin, A.Yu. (2015) A problem-oriented editor for design of rule-based knowledge bases. *Programmnye produkty i sistemy – Software and Systems*. 2(110). pp. 13–19. DOI: 10.15827/0236-235X.110.013-019
7. Korshunov, S.A., Pavlov, A.I. & Nikolaychuk, O.A. (2015) Web-oriented component of an expert system. *Programmnye produkty i sistemy – Software and Systems*. 2(110). pp. 20–25. DOI: 10.15827/0236-235X.110.020-025
8. Burov, A.N., Kalabin, A.L., Kozlov, A.V. & Pakshver, E.A. (2015) Expert system for monitoring technological process. *Programmnye produkty i sistemy – Software and Systems*. 2(110). pp. 39–47. DOI: 10.15827/0236-235X.110.039-043
9. Melikhov, A.N., Bernstein, L.S. & Korovin, S.Ya. (1990) *Situatsionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoy logikoy* [Situational advising systems with fuzzy logic]. Moscow: Nauka.
10. Karelin, V.P. (2014) Modeli i metody predstavleniya znaniy i vyработки resheniy v intellektual'nykh informatsionnykh sistemakh s nechetkoy logikoy [Models and methods of knowledge representation and decision-making in intelligent information systems with fuzzy logic]. *Vestnik Taganrogskogo instituta upravleniya i ekonomiki*. 1. pp. 75–83.
11. Tselykh, A.N. & Kotov, E.M. (2013) Methods of fuzzy-multiple analysis and modeling of social graphs. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern Problems of Science and Education*. 6. [Online] Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11178> (Accessed: 21st August 2021).
12. Aslamova, E.A. & Arshinsky, L.V. (2017) Metody nechetko-mnozhestvennogo analiza i modelirovaniya sotsial'nykh grafov [Methodology for the aggregated assessment of the protection of workers from occupational injury based on knowledge technologies]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauche i upravlenii – Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. no. 4 (8), pp. 39–51.
13. Aslamova, E.A., Arshinsky, L.V., Aslamova, V.S. & Krivov, M.V. (2020) Expert system for aggregate industrial safety assessment at enterprises based on knowledge technologies. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 760(1):012007. DOI: 10.1088/1757-899X/760/1/012007/meta
14. Aslamova, E.A., Krivov, M.V. & Aslamova, V.S. (2018) Expert system of the aggregate assessment of the level of industrial safety. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 44. pp. 84–92. DOI: 10.17223/19988605/44/9

Информация об авторах:

Кривов Максим Викторович – доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Вычислительные машины и комплексы» Ангарского государственного технического университета (Ангарск, Россия). E-mail: vmk@angtu.ru

Асламова Елизавета Александровна – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Бизнес-информатика и моделирование процессов» Института управления бизнес-процессами Сибирского федерального университета (Красноярск, Россия). E-mail: liza.ocean@mail.ru

Асламова Вера Сергеевна – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Иркутского государственного университета путей сообщения (Иркутск, Россия). E-mail: aslamovav@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Krivov Maxim V. (Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Computing Machines and Complexes, Angarsk State Technical University, Angarsk, Russian Federation). E-mail: vmk@angtu.ru

Aslamova Elizaveta A. (Assistant, Candidate of Technical Sciences, Department of Business Informatics and Process Modeling, Institute of Business Process Management, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation). E-mail: liza.ocean@mail.ru

Aslamova Vera S. (Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation). E-mail: aslamovav@yandex.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию 12.10.2021; принята к публикации 30.05.2022

Received 12.10.2021; accepted for publication 30.05.2022