В. И. Месюра, к. т. н., доц.; А. А. Шарыгин

МЕТОД ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ ОПЕРАТОРА К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ БЫСТРОТЕЧНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Предложен метод оценки степени готовности оператора к принятию решений при ликвидации транспортных быстротечных техногенных чрезвычайных ситуаций. Введены индексы, характеризующие готовность оператора к принятию решений: индекс качества подготовки оператора, индекс реакции оператора. Предложены выражения для вычисления введенных понятий. Перечисленные индексы вносят в паспорт сотрудника и характеризуют ими уровень квалификации оператора и его готовность к принятию решений.

Ключевые слова: *принятие решений, система принятия решений (СППР), транспортные чрезвычайные ситуации, степень готовности оператора.*

Введение

Статистика свидетельствует, что стремительное развитие технологий в информационном обществе, неуклонный рост их сложности и объемов производства сопровождается, к сожалению, значительный рост количества и масштабов техногенных чрезвычайных ситуаций (ТЧС) [1].

К особому классу ТЧС относятся так называемые быстротечные техногенные чрезвычайные ситуации (БТЧС), характеризующиеся стремительным изменением параметров окружающей среды и требующие чрезвычайно быстрого принятия решений и реагирования на ситуацию при отсутствии достаточно полной и достоверной информации в условиях сильного психологического стресса и непредсказуемости развития событий. Цена неправильных действий в таких условиях может быть очень высокой и выражаться не только в уничтожении дорогостоящего оборудования и ресурсов, но и в загрязнении окружающей среды и гибели людей.

К отдельному классу БТЧС следует отнести транспортные БТЧС (ТБТЧС), которые могут произойти в любом месте и на большой удаленности от соответствующих штабов ликвидации чрезвычайных ситуаций. В качестве характерных примеров можно привести известные БТЧС, имевшие место при перевозке грузов железнодорожным транспортом.

В качестве примера такой ситуации приведем железнодорожную аварию, которая произошла на Львовщине 15 ноября 2006 года. Чрезвычайная ситуация произошла на участке Стрый – Бильче, на двухпутной железнодорожной колее. 234 рабочих и 10 единиц техники работали на месте схождения с рельс 10 вагонов и 2 цистерн на станции Пятничаны Стрыйского района Львовской области. Среди них – 17 спасателей и 3 единицы техники МЧС. Маршруты пассажирских поездов не совпадали с грузовым на этом участке железнодорожного полотна, поэтому удалось избежать человеческих жертв [2].

Жесткие ограничения времени на принятие решений и имеющуюся информацию при ликвидации последствий ТБТЧС, а также удаленность высококвалифицированных экспертов от места происшествий диктуют необходимость разработки и постоянного совершенствования специальных систем поддержки принятия решений. Такие системы должны обеспечить автоматизацию значительной части работы по анализу быстротечных ситуаций на основе обработки неполной и недостоверной информации и моделирования возможных сценариев развития событий. Они обеспечивают возможность моделирования

различных сценариев ТБТЧС для тренировки личного состава МЧС, участвующего в их ликвидации, а также специалистов, обеспечивающих транспортировку опасных грузов (например, машинистов на железной дороге), которые могут оказаться один на один с такой ситуацией, с целью приобретения ими навыков быстрого принятия решений в условиях неполной информации.

Таким образом, актуальной является задача не только создания соответствующей СППР, но и оценки готовности оператора к принятию решений при ликвидации ТБТЧС.

В [3] и [4] рассматривают влияние неполных данных СППР для ликвидации ЧС, обусловленное различием между суждением эксперта (группы экспертов) и оператора относительно лингвистического значения того или иного параметра, что влияет на результат, в контексте определенной ситуации, которая возникла. Такое различие формально является чувствительностью системы к ошибкам оператора.

Рассмотрим существующие наработки в области оценки готовности персонала к принятию решений при ликвидации ТБТЧС.

В [5] доказывают, что существующие подходы не дают исчерпывающей информации о готовности подразделений к действиям в чрезвычайных ситуациях, а параметры оценки состояния готовности не являются объективными.

В [6] рассмотрена система подготовки спасателей, которая предполагает их обучение и аттестацию. В рамках аттестации определяют уровень квалификации сотрудника. В зависимости от значения критериев оценки аттестуемое лицо относят к одному из пяти классов.

В [7] предложен подход к оценке надежности работы оператора в системе "человек – машина". В работе рассматривается влияние человеческого фактора в сложных системах принятия решений на примере предметной области железнодорожного транспорта. Автором разработаны модели определения показателей, характеризующих надежность для различных условий работы оператора на основе вероятностного подхода.

Но в вышеупомянутых работах не оценивают готовность оператора в контексте различия между суждением эксперта (группы экспертов) и оператора относительно лингвистических значений параметров.

Оценка чувствительности системы к ошибкам оператора

В [3, 8] предложен такой подход к оценке чувствительности системы к ошибкам оператора:

1. Высчитывают значения индексов ранжирования, используя выражения (1) или (2).

$$F_3(A, B) = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \mu_A(a) da \int_{b_1}^{b_2} \mu_B(b) db}{C}, \quad (1)$$

$$C = \int_{a_1}^{a_2} \mu_A(a) da \int_{b_1}^{b_2} \mu_B(b) db,$$

$$a_1 = \inf_{a \in S(A)} a, a_2 = \sup_{a \in S(A)} a, b_1 = \inf_{b \in S(B)} b, b_2 = \sup_{b \in S(B)} b,$$

$$F_4(A, B) = \int_0^{0,5} \max\{0, (1 - \mu_D(x))\} dx + \int_{0,5}^1 \mu_D(x) dx, \quad (2)$$

$$D = \frac{A}{A+B}$$

2. Если в пункте 1 не была обнаружена разница между функциями принадлежности эксперта и оператора, то вычислить значение индекса ранжирования размытия с помощью выражения (3).

$$I_C(A, B) = 1 - \frac{\int_{a-a_L}^{a+a_R} \mu_A(a) da}{\int_{a-a_L}^{a+a_R} \mu_A(a) da + \int_{b-b_L}^{b+b_R} \mu_B(b) db} = \frac{\int_{b-b_L}^{b+b_R} \mu_B(b) db}{\int_{a-a_L}^{a+a_R} \mu_A(a) da + \int_{b-b_L}^{b+b_R} \mu_B(b) db} = 1 - I_B(A, B). \quad (3)$$

3. Если в пунктах 1 и 2 было выявлено различие между функциями принадлежности эксперта и оператора, то необходимо добавить полученное значение в множество *DIF*.

4. Вычислить значение чувствительности для каждого отклонения функций принадлежности оператора от эксперта, используя выражение (4).

$$M_i = |0.5 - DIF_i| * 2. \quad (4)$$

Численное значение предлагаемой оценки всегда будет принадлежать интервалу [0, 1], следовательно, является нормированным. Значение "единица" означает, что следует использовать рекомендацию, сгенерированную системой нечеткого вывода. "Нулевое" значение означает, что рекомендации системы доверять не следует. Другое число из промежутка [0, 1] характеризует степень доверия к рекомендации системы. Как было отмечено, следует учесть, что нечетко определенных значений параметров может быть несколько. Для этого следует выполнить вышеприведенную процедуру для таких параметров и выбрать минимальное значение степени доверия. Получим численное значение *M*, характеризующее оценку "уверенности" в корректности рекомендации,

$$M = \min\{m_i\}, i = 1 \dots n, \quad (5)$$

где *M* – значение результирующей числовой характеристики, *n* – количество входных параметров, заданных нечетко, *m_i* – значение числовой характеристики для *i*-го параметра, заданного нечетко.

Приведенная методика оценки влияния неполных входных данных на результаты логического вывода в СППР позволяет рассчитывать численное значение характеристики, оценивающей такое влияние. Численная характеристика, получаемая с помощью такой оценки, является нормированной величиной, что упрощает ее практическое применение и интерпретацию результатов. Предложенная методика не учитывает размерности и конкретного вида функций принадлежности, а следовательно, является универсальной.

Учитывая вышеприведенный материал, формулируем алгоритм вывода рекомендации при ликвидации ТБТЧС [9]:

Шаг 1. Просмотр всех "неотмеченных" правил (то есть тех, которые еще не сработали) и формирование множества, в которое входят правила с максимальным коэффициентом.

Шаг 2. Если множество, сформированное на шаге 1, является пустым, то конец алгоритма.

Шаг 3. Выбрать одно правило из полученного множества (этап разрешения конфликта).

Шаг 4. Уточнить значения параметров, фигурирующих в левой части правила, выбранного на шаге 2.

Шаг 5. Отметить это правило как такое, которое было использовано.

Шаг 6. Вычисление значения чувствительности для текущего параметра.

Шаг 7. Если в правой части правила терминальное выражение, то спросить оператора, стоит ли продолжать процесс.

Шаг 8. Если получен положительный ответ, то перейти к шагу 1, в противном случае – конец алгоритма.

Шаг 9. Вычисление результирующего значения чувствительности с помощью выражения (5).

Для разрешения конфликта, заключающегося в том, какое именно правило-продукцию стоит использовать, разработан следующий алгоритм:

1. Составить список из всех важностей атрибутов объектов, содержащихся в консеквентах правил-продукций.

2. В случае, если значение важности атрибута отсутствует, вместо него следует использовать значение важности объекта, к которому относится этот атрибут.

3. Отсортировать по убыванию.

4. Выбрать первый элемент из списка. В случае, если несколько элементов имеют одинаковое значение, для выбранных элементов выполнить еще одну сортировку (по убыванию значения важности объекта) и выбрать первый элемент.

5. Активировать правило-продукцию, которой соответствует выбранный элемент из списка.

Данный алгоритм имеет квадратичную сложность, что характеризует его как продуктивный [10, 11].

Оценка готовности оператора к принятию решений

Как было отмечено выше, существует ряд причин возможного различия между суждением эксперта (группы экспертов) и оператора относительно лингвистического значения того или иного параметра, влияющего на результат, в контексте определенной ситуации, которая возникла. Формально это – различия между функциями принадлежности оператора и эксперта (группы экспертов). Суть подготовки оператора заключается в минимизации различий между соответствующими функциями.

Для оценки степени готовности оператора предлагаем такую последовательность шагов:

1. Для всех входных параметров ($i = 1 \dots n$) системы выполнить шаги 2 – 4.

2. Для всех термов лингвистических переменных ($j = 1 \dots m_i$) текущего параметра выполнить шаги 3 – 4.

3. Построить текущую функцию принадлежности оператора.

4. Выполнить сравнение функции принадлежности оператора и функции принадлежности эксперта (группы экспертов) с помощью одного из индексов ранжирования, результат сравнения сохранить в C_{ij} .

5. Вычислить индекс качества работы оператора с помощью выражения:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \max(WO_j, WA_j) \times |0.5 - C_{ij}|}{n}, \quad (6)$$

где WO_j и WA_j – соответственно веса текущего объекта и атрибута объекта.

Для удобства значения веса (и для атрибута, и объекта) – целое число от 1 до 10 (если не задано, то 1). Таким образом, значение индекса подготовки оператора – действительное значение из интервала $[0; 5]$. Чем ближе рассчитанное значение к 0, тем лучше подготовлен оператор. Рассчитанное значение заносят в паспорт сотрудника, который является внутренним служебным документом, содержащим персональные данные сотрудника, его общую характеристику, хронологию работы, а также ряд численных оценок, характеризующих уровень его квалификации.

Также важным показателем подготовки является индекс реакции оператора. Он характеризует способность оператора быстро оценивать обстановку, вводить значения параметров и, как следствие, принимать решения. Поскольку чрезвычайные ситуации не

являются типичными, то объективной оценкой является время, необходимое для определения и ввода значения параметра.

Для оценки степени скорости реакции оператора предлагаем такую последовательность шагов:

1. Для всех входных параметров ($i = 1 \dots n$) системы выполнить шаг 2.
2. Выполнить замеры времени, необходимого оператору для определения значения текущего параметра.
3. Вычислить средневзвешенное время реакции оператора с помощью выражения (единица измерения – секунда):

$$t_R = \frac{\sum_{i=1}^n \max(WO_j, WA_j) \times t_i}{n}, \quad (7)$$

где t_i – время реакции, т. е. время определения значения i -го атрибута объекта; и индекс реакции оператора с помощью выражения (единица измерения – единица):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \max(WO_j, WA_j) * \frac{t_i}{t_{io}}}{n}, \quad (8)$$

где t_{io} – образцовое время реакции, т. е. время определения значения i -го атрибута объекта.

Индекс реакции оператора также заносит в паспорт сотрудника.

Выводы

Таким образом, для оценки уровня квалификации оператора, который может быть допущен к участию в ликвидации транспортных быстротечных чрезвычайных ситуаций, предлагаем использовать специальные показатели: индексы реакции и качества подготовки, с внесением их значений в паспорт сотрудника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шоботов В. М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. / Шоботов В. М. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.
2. Інформаційно-аналітична довідка про надзвичайні ситуації, що виникли на території України протягом 2012 року [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/opinfo/6361.html>.
3. Юхимчук С. В. Оцінка чутливості механізму виведення в системах підтримки прийняття рішень керівника ліквідації надзвичайних ситуацій / С. В. Юхимчук, О. А. Шаригін // Інформаційні технології і комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 3. – С. 120 – 123.
4. Юхимчук С. В. Оцінка впливу неповних вхідних даних на результати логічного виведення в системах підтримки прийняття рішень / С. В. Юхимчук, О. А. Шаригін // Інформаційні технології і комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 1. – С. 64 – 67.
5. Демин А. Ю. К оценке степени готовности подразделений поиско-спасательных служб / Демин А. Ю. // Технологии гражданской безопасности. – 2007. – № 2. – С. 62 – 62.
6. Легошин В. Д. Научно-методические вопросы профессионального отбора и подготовки спасателей МЧС России / В. Д. Легошин, А. И. Запорожец // Технологии гражданской безопасности. – 2007. – № 1. – С. 16 – 21.
7. Бантюкова С. О. Оцінка надійності діяльності оператора у системі “Людина-техніка” / С. О. Бантюкова // Експлуатація залізниць. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – вип. 113. – С. 51 – 56.
8. Mesyura V. I. Improvement of fuzzy values ranking indexes for automation of man-caused swift-flowing emergencies liquidation / V. I. Mesyura, O. A. Sharygin // Nauka i studia. – 2013. – № 17 (85) – P. 11 – 16.
9. Месюра В. І. Модель прийняття рішень для задач ліквідації швидкоплинних надзвичайних ситуацій / В. І. Месюра, О. А. Шаригін // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): Матеріали 1-ї Міжнародної науково-технічної конференції (10 – 13 травня 2011 р., Черкаси). – 2011. – С. 454.
10. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзер, Р. Ривест. – Москва: МЦНМО, 2004. – 960 с.
11. Дональд Э. Кнут. Искусство программирования, том 1. Основные алгоритмы / Дональд Э. Кнут. –

Москва: Вильямс, 2000. – 712 с.

Месюра Владимир Иванович – к. т. н., профессор кафедры интеллектуальных систем,
vimes2009@yandex.ua.

Винницкий национальный технический университет.

Шарыгин Александр Анатольевич – старший разработчик программного обеспечения,
exhaustic@gmail.com.

Компания DIO-Soft.