

УДК 681.5:656.2:006

Моисеенко В.И., к.т.н. (УкрГАЗТ)
Бутенко В.М., к.т.н. (УкрГАЗТ)
Головко А.В., аспирант (УкрГАЗТ)

РАНЖИРОВАНИЕ ОПАСНОСТЕЙ С НЕЧЕТКИМИ ЗОНАМИ МЕЖРАНГОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Проблема ранжирования опасностей напрямую связана с их качественной оценкой, выполняемой перед проведением масштабных работ по проектированию объектов повышенной опасности, либо разработкой рекомендаций, направленных на снижение рисков. На железнодорожном транспорте эта проблема имеет особую актуальность в связи с тем, что транспорт по своей природе является объектом повышенной опасности.

Проблематика научных исследований, посвященных проблемам ранжирования рисков, по сути, обусловлена выбором оптимальной шкалы позиционирования опасностей. Это объясняется тем, что в зонах межранговых исходов величина риска меняется мало, а значение их оценки существенно влияет на содержание последующих мероприятий.

Анализ исследований и публикаций. Вопросы классификации по безопасности достаточно точно отработаны в атомной энергетике. По сравнению с действующей ранее системой классификации, изложенной в МАГТЭ для всех систем [1], новые системы предполагают внесение ряда изменений и дополнений. Объектами классификации являются конструкции, системы и компоненты (structures, systems and components). Все составляющие по отношению к обеспечению безопасности подразделяется на два вида:

- важные для безопасности (important to safety);
- не важные для безопасности (not important to safety);

Объекты важные для безопасности (рисунок 1) в свою очередь делятся на:

- системы безопасности (safety systems);
- системы, относящиеся к безопасности (safety related systems).

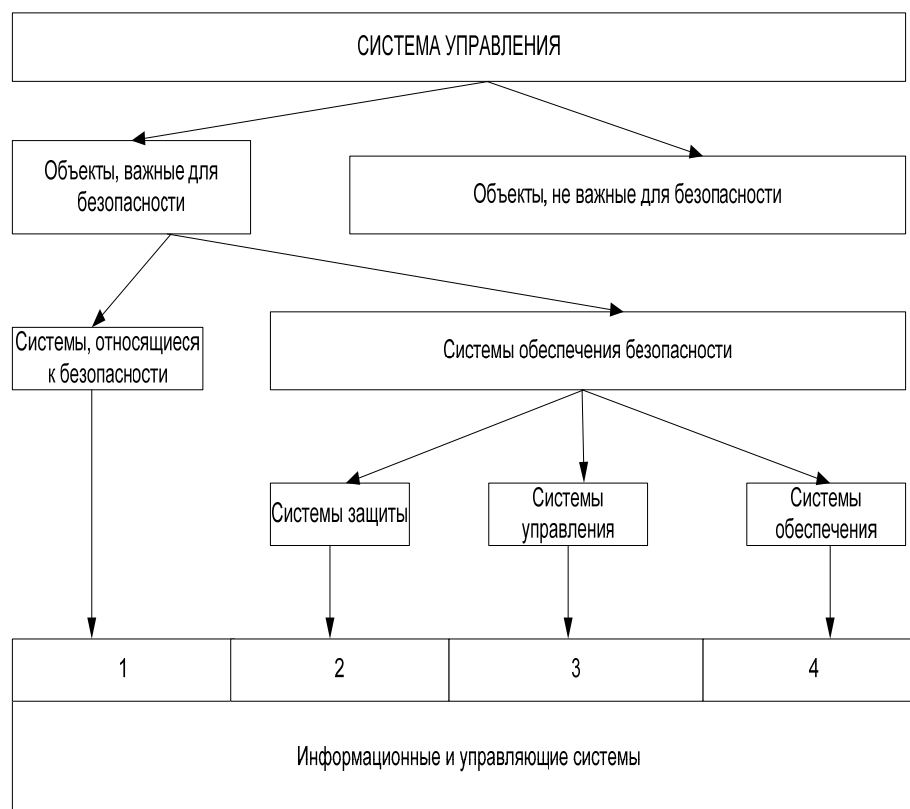


Рисунок 1- Классификация оборудования АЭС согласно документу МАГАТЭ IAEA NS-G-1.3

- 1- система управления и контроля реактора;
- 2- система управления аварийным остановом, охлаждения и т.п. ;
- 3- система нижнего уровня для исполнения команд;
- 4- система аварийного электроснабжения и т.п .

Системы безопасности включают три группы :

- системы защиты (protection systems);
- исполнительные системы безопасности (safety actuation systems);
- обеспечивающие системы безопасности (safety systems support features).

Методика классификации основана на детерминированных оценках, которые дополняются, в случаях необходимости, вероятностными показателями. При классификации учитываются: вероятность исходного события, промежуток времени выполнения опасной операции, возможность самой системы вызвать дополнительные нежелательные события, своевременность и достоверность обнаружения и устранения отказов.

В отличие от этого классификация МЭК, изложенная в стандарте IEC 61226, опирается на триаду: функции, системы и оборудование (ФСО). Важные для безопасности ФСО делятся на три категории – А, В и С. Эти категории определяют вклад в предотвращение и уменьшение последствий аварии, рисунок 2.

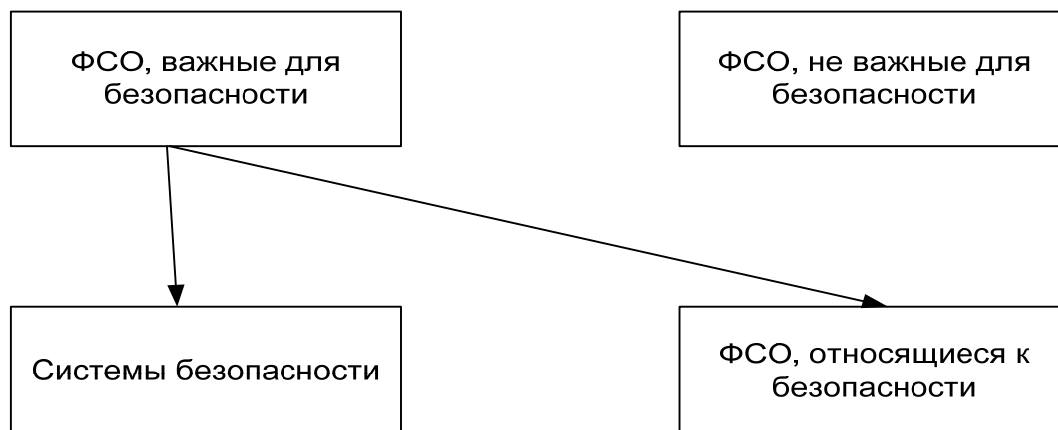


Рисунок 2 - Классификация ФСО по безопасности МЭК IEC 6/226

Систему можно отнести к соответствующей категории безопасности, если удовлетворен хотя бы один из оценочных критериев. Ведомственный нормативный документ Украины ОПБ-У также предусматривает разделение систем и элементов на важные и не влияющие на безопасность.

ДСТУ 4178-2003 устанавливается четыре уровня требований функциональной безопасности в зависимости от следующих факторов:

- назначение токсического средства и его влияние на безопасность движения поездов;
- последствий опасного функционирования;
- скорости и интенсивности движения поездов на участке.

Однако, в документе отсутствует информация о методах количественной оценки уровней безопасности.

Постановка задачи. Целью данной работы является построение шкалы ранжирования опасностей с нечеткими зонами меж ранговых переходов.

Основной материал. Формальная постановка задачи сводится к выбору шкалы оценок опасностей. В работе [1] выделены основные шкалы, к ним относятся равномерные, дискретные и так далее.

Использование традиционных шкал и методов ранжирования опасностей затрудняется вследствие отсутствия, а в ряде случаев

невозможности, использования традиционной системы количественных оценок.

В подобной ситуации можно говорить о существовании некоторой лингвистической переменной x , при помощи которой можно, с большей или меньшей степенью объективности, характеризовать проявление опасности. *Область допустимых значений этой переменной* может быть сколь угодно большой, настолько это отвечает задачам оценивания. С увеличением числа *допустимых значений* переменной x в системе оценок можно ожидать увеличения точности, однако при этом возрастает степень субъективизма экспертов. По мнению авторов наиболее объективными оценки могут быть при числе переменных прядка пяти: *высокое (В), выше среднего (ВС), среднее (С), меньше среднего (МС), малое (М)*. Каждый из этих терминов определяется некоторым нечетким подмножеством A области рассуждений U_v с помощью **функции принадлежности** $\mu_A: U_v \rightarrow [0, 1]$. Эта функция ставит каждому элементу y множества U_v в соответствие число $\mu_A(y)$ из отрезка $[0, 1]$. Носитель A есть множество элементов y , для которых $\mu_A(y)$ положительна. Для удобства рассуждений определим U_v как множество чисел от 0 до 100, хотя, в принципе, этот диапазон может быть каким угодно. Воспользовавшись подходом Заде [3] множество A можно представить в следующем виде

$$A = \int_U \mu(A, y) / y, \quad (1)$$

где символ интегрирования обозначает операцию объединения одноточечных нечетких множеств $\mu(A, y)/y$.

В соответствии с (1) запишем равенства для определения нечетких подмножеств U_v и их функций принадлежности μ , как соответствия между элементарным термином x_i и областью рассуждений U_v для терминов:

$$\mu_v(\text{высокое (В)}, y) = \begin{cases} 1, & y \geq 90 \\ \frac{y-75}{90-75}, & 75 \leq y < 90 \\ 0, & y < 75 \end{cases} \quad (2)$$

Тогда нечеткое подмножество U_v обозначенное *высокое (В)* представим как равенство

$$\text{высокое } (B) = \int_{90}^{100} 1/y + \int_{75}^{90} \frac{y-75}{90-75} / y. \quad (3)$$

Аналогично, функций принадлежности μ ,

$$\mu_v(\text{выше среднего } (BC), y) = \begin{cases} \frac{90-y}{10}, & 80 \leq y < 90 \\ 1, & 65 \leq y < 80 \\ \frac{y-50}{15}, & 50 \leq y < 65 \end{cases} \quad (4)$$

и нечеткое подмножество U_v обозначенное *выше среднего* представим как равенство

$$\text{выше среднего } (BC) = \int_{80}^{90} \frac{90-y}{90-80} / y + \int_{65}^{80} 1/y + \int_{50}^{65} \frac{y-40}{65-50} / y.$$

$$\mu_v(\text{среднее } (C), y) = \begin{cases} \frac{70-y}{10}, & 60 \leq y < 70 \\ 1, & 40 \leq y < 60 \\ \frac{y-15}{5}, & 15 \leq y < 40 \end{cases} \quad (5)$$

И соответственно остальные нечеткие подмножества представим

$$\text{среднее } (C) = \int_{60}^{70} \frac{70-y}{70-60} / y + \int_{40}^{60} 1/y + \int_{15}^{40} \frac{y-15}{20-15} / y.$$

$$\mu_v(\text{меньше среднего } (MC), y) = \begin{cases} \frac{45-y}{15}, & 30 \leq y < 45 \\ 1, & 15 \leq y < 30 \\ \frac{y-5}{5}, & 5 \leq y < 15 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{меньше среднего } (MC) = \int_{30}^{45} \frac{45-y}{45-30} / y + \int_{15}^{30} 1/y + \int_{5}^{10} \frac{y-5}{10-5} / y.$$

$$\mu_v (\text{малое } (M), y) = \begin{cases} \frac{15-y}{5} \cdot 1, & 10 \leq y < 15 \\ 1, & 0 \leq y < 10 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{малое } (M) = \int_{10}^{15} \frac{15-y}{15-10} \cdot \frac{1}{y} + \int_0^{10} \frac{1}{y}.$$

Сопоставим значения рангов с характеристиками опасностей по принципу 5-ий ранг – максимум проявления опасных факторов и далее по убыванию, таблица 1.

Таблица 1 - Характеристики опасных факторов

Ранги	Характеристика факторов по рангам		
	Степень защиты	Частота повторения опасности	Длительность нахождения в опасной зоне
5	Защита практически отсутствует	Высокая 10^{-2} и более	Практически постоянно в течении всего времени, 8 или 12 часов
4	Слабая степень защиты	Выше среднего $10^{-3} - 10^{-2}$	Больше половины рабочего времени (больше 4-х или 6-ти часов)
3	Средняя степень защиты	Средняя $10^{-3} - 10^{-4}$	Меньше половины рабочего времени (2-3 часа)
2	Выше среднего	Малая $10^{-4} - 10^{-5}$	Эпизодически (меньше 1 часа)
1	Высокая	Редкое явление $10^{-5} - 10^{-6}$	Пренебрежительно малая

Рассмотрим в качестве примера оценку рисков потерь в следствии пожаров для службы сигнализации и связи при проведении работ на посту централизации. Запишем значения функций принадлежности

Основные факторы, характеризующие опасные явления, представленные в таблице 1.

Длительность нахождения в опасной зоне, либо частота повторений опасности могут быть оценены аналогично частоте повторения опасности. Целесообразно в этой системе иметь бальную оценку для обоих показателей, хотя до некоторой степени можно считать, что чем дольше человек находится в опасной зоне, тем выше частота повторения опасностей.

Степень защищенности от действия поражающих факторов является специфическим фактором, трудно поддающийся экспертной оценке, в связи с чем применено эвристическое ранжирование..

Первый фактор характеризует время нахождения объекта в зоне возможной опасности. Для описания влияния этой характеристики используем нечеткие множества описанные в работах [2] и [3]. Допустим, x есть лингвистическая переменная, характеризующая это время. Её значения могут быть *высокое*, *выше среднего*, *малое* и так далее. Обозначим область значений x_1 - множество T . В таблице 1 приведены первичные (элементарные) термины, которые являются символами специальных нечетких подмножеств области рассуждения.

Для дискретизации оценок каждому значению поставим в соответствие определенный ранг. Обозначим $vr(v)$ ранг данного значения. Поскольку персонал основное время находится на посту, то $vr(BC)=4$

Второй фактор характеризует частоту повторения опасности в виде порядка величины. Область рассуждений U_o есть объединение одноточечных множеств $o_1 = \{10^{-2}\}$, $o_2 = \{10^{-3}\}$, $o_3 = \{10^{-4}\}$, $o_4 = \{10^{-5}\}$ и $o_5 = \{10^{-6}\}$. Обозначим o переменную характеризующую порядок частоты повторения опасности. Так как разрыв между отдельными значениями достаточно велик, то будем говорить о множествах в общепринятом смысле (не нечетких). Область значений o – множество U_o . В этом случае мы можем определить функцию принадлежности $\mu_o(o_i, o)$ для значений i от 1 до 5 следующим образом

$$\mu_o(o_i, o) = \begin{cases} 1 & o = o_i \\ 0 & o \neq o_i \end{cases}$$

Обозначим $or(o)$ ранг данного значения. По статистике [4] пожары на постах централизации можно отнести к редкому явлению которое имеет ранг $or(10^{-5})=4$

Третий фактор характеризует степень защиты от поражающих факторов. Обозначим z переменную отвечающую за этот фактор. Область рассуждений U_z есть множество = { *высокая (B)*, *выше среднего (BC)*,

средняя (С), меньше среднего (МС), малое (М) }. Пусть $zr(\mathbf{z})$ ранг данного значения. Если трактовать его как возможность избежать опасности для персонала, то можно принять $zr(BC)=2$

В множество соответствующее термину *незащищенность объекта*. Тогда оно есть объединение одноточечных множеств

Для оценки опасности объекта ожидаемого масштаба потерь мы строим функцию $f: U_v \times U_o \times U_z \rightarrow R$, то есть функцию ставящую каждой тройке значений (v, o, z) в соответствие величину $r \in R$ - значение ранга опасности. Для ранжирования значений R воспользуемся существующей системой классификации транспортных событий:

- Ранг5 - гибель более 1 человека или более 6 травмированы, значительный ущерб инфраструктуре и окружающей среде;
- Ранг 4 - Травмировано до 6 человек, невосстанавливаемые повреждения техники, значительный ущерб окружающей среде;
- Ранг 3 - Восстанавливаемые повреждения техники, дезорганизация движения поездов;
- Ранг 2 - Незначительные повреждения техники, дезорганизация движения поездов;
- Ранг 1 - Задержка движения поездов.

Далее приведем попарное сравнение опасностей при фиксировано третьем факторе для оценки их рангов с учетом возможного взаимного влияния. Переменная o имеет 5 фиксированных значений, представленных в таблице 2.

В связи с отсутствием статистических данных о численных значениях факторов 1 – 3 воспользуемся методом экспертных оценок.

Факторы, определяющие риски потерь в следствии пожаров в зданиях постов электрической централизации и критерии их оценки. Работники поста электрической централизации находятся на рабочем месте почти всю рабочую смену $v="BC"$ $vr(v)=4$, по статистическим данным $o=o_5$ то есть частота опасных событий есть редкое явление порядка $10^{-5} - 10^{-6}$ $or(o_5)=2$, уровень средств защиты $z="C"$ $zr(z)=3$. Проанализировав данные в этих таблице 2, мы можем утверждать, что наибольшее влияние на оценку опасности имеет фактор 2. Действительно если порядок вероятности события сравним с порядком 10^{-6} то степень проявления опасности можно считать малой при любом времени нахождения в исследуемой зоне и даже при полном отсутствии защищенности от поражающих факторов.

Таблица 2 - Значения функции f

or(o)	v vr(v) \ z zr(z)	B 1	BC 2	C 3	MC 4	M 5
5	B 5	2	3	2	2	5
	BC 4	2	2	3	2	2
	C 3	1	2	3	3	2
	MC 2	1	1	2	3	3
	M 1	1	1	1	2	2
4	B 5	1	2	3	4	4
	BC 4	1	2	3	4	4
	C 3	1	2	2	3	3
	MC 2	1	1	2	2	3
	M 1	1	1	1	1	2
3	B 5	1	2	3	3	3
	BC 4	1	1	2	3	3
	C 3	1	1	2	3	3
	MC 2	1	1	1	2	2
	M 1	1	1	1	1	2
2	B 5	1	1	1	2	2
	BC 4	1	1	1	2	2
	C 3	1	1	1	1	1
	MC 2	1	1	1	1	1
	M 1	1	1	1	1	1
1	B 5	1	1	1	1	1
	BC 4	1	1	1	1	1
	C 3	1	1	1	1	1
	MC 2	1	1	1	1	1
	M 1	1	1	1	1	1

Из таблицы видно, что зависимость рангов не является линейной ни по одному из параметров. Зависимость определяется сумой нормированных квадратов рангов исходных факторов умноженных на коэффициенты важности данного ранга $(5 - vr(v))^2 + 0.8 * (5 - zr(z))^2 + 1.1 * (5 - or(o))^2$. По мере ее роста убывает ранг опасности. Запишем f в аналитическом виде

$$f = \begin{cases} 5 & (5 - vr(v))^2 + 0.8 * (5 - zr(z))^2 + 1.1 * (5 - or(o))^2 < 0.8 \\ 4 & 0.8 \leq (5 - vr(v))^2 + 0.8 * (5 - zr(z))^2 + 1.1 * (5 - or(o))^2 \leq 4 \\ 3 & 4 < (5 - vr(v))^2 + 0.8 * (5 - zr(z))^2 + 1.1 * (5 - or(o))^2 \leq 9 \\ 2 & 9.1 < (5 - vr(v))^2 + 0.8 * (5 - zr(z))^2 + 1.1 * (5 - or(o))^2 < 16.1 \\ 1 & 16.1 \leq (5 - vr(v))^2 + 0.8 * (5 - zr(z))^2 + 1.1 * (5 - or(o))^2 \end{cases} .$$

Посчитаем величину $f(v,z,o)$, которая определяет риски потерь в следствии пожаров в зданиях постов электрической централизации. Так как параметры мы определили выше, то $f(v,z,o)=f(4,3,4)$. Определим значение промежуточной величины $(5 - vr(v))^2 + 0.8 * (5 - zr(z))^2 + 1.1 * (5 - or(o))^2 = (5-4)^2 + 0,8*(5-3)^2 + 1,1*(5-2)^2 = 1+2,4+1,1*9=13.3$. Так как $9.1 < 13.3 < 16.1$, то $f(v,z,o)=f(2,3,5)=2$. То есть масштаб потерь оценивается как незначительные повреждения техники и дезорганизация движения поездов.

Выводы Предложенный метод позволяет оценивать и за счет этого производить ранжирование рисков опасности деятельности для объектов и процессов в ситуациях, когда отсутствуют четкие и однозначные критерии идентификации опасностей и их однозначных количественных оценок. Дальнейшим развитием работ в этом направлении можно считать расширение возможностей данной оценки за счет применения компьютерных технологий в расчетах.

Список литературы

1. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технологических систем. – М.: Наука. 2003. – 208 с.
2. Леоненко А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTEСТ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
3. Заде Л. Гуманистическая система. – М: Мир, 1976. – 165 с.
4. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України. – К.: Транспорт України. – 2006. – 215 с.