

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ В ПРЕВЕНТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ



А.Г. Давыдовский

Доцент кафедры инженер-
ной психологии и эргономики
БГУИР, кандидат
биологических наук, доцент



Л.П. Пилиневич

Профессор кафедры инже-
нерной психологии и эргоно-
мики БГУИР, доктор
технических наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь
E-mail: agd2011@list.ru

Abstract. The article considers approaches to system analysis of socio-technical risks in the management of industrial safety of hazardous production facilities on the basis of the theory of fuzzy logic. The principles of fuzzy logic models complex security production facilities were founded. The fuzzy-logic prediction model of industrial plant safety was analyzed. Has been proposed the methodology of information support preventive management of complex safety of industrial plants.

В современных условиях обеспечение комплексной безопасности опасных производственных объектов (КБ ОПО) может быть достигнуто на основе сочетания системного, проблемно-целевого, комплексного, проектного, интеграционного и сетевого подходов. Расчет потенциального риска возникновения проблемных социотехнических ситуаций и сопряженных с ними социотехнических рисков (СТР), приводящих к авариям и катастрофам, в рассматриваемой точке пространства-времени необходим для принятия эффективных решений по управлению КБ ОПО для достижения целей управления производством более высокого уровня [1, 2]. Как правило, принятие решений по превентивному управлению КБ ОПО осуществляется в условиях неопределенности, обусловленной неточностью или неполнотой входных данных, стохастической природой внешних воздействий, отсутствием адекватной математической модели функционирования, нечеткостью цели, человеческим фактором и т.д. Одним из условий обеспечения КБ ОПО является непрерывная аналитическая обработка больших массивов данных о текущем фактическом состоянии КБ ОПО. При этом наиболее перспективным является подход к обеспечению КБ ОПО, основанный на превентивном управлении социотехническими рисками (СТР), приводящими к авариям и катастрофам в обеспечении производственной безопасности. Приемлемыми являются уровни СТР, которые оправданы экономически социальной, природной и

технологической позиций [3].

Целью работы является системный анализ социотехнических рисков в превентивном управлении комплексной безопасностью опасных производственных объектов на основе положений теории нечеткой логики.

Принципы построения нечетко-логических моделей комплексной безопасности производственных объектов. Моделирование развития проблемных социотехнических ситуаций и состояния КБ ОПО целесообразно осуществлять на основе нечеткой логики [4]. Математический аппарат модели прогнозирования формирования и развития проблемных социотехнических ситуаций и сопряженных с ними СТР в обеспечении КБ ОПО основан на теории нечеткой логики, позволяющей формализовать причинно-следственные связи между входными и выходными переменными. Эти связи определяются с помощью экспертов в данной области знаний и формируют базу знаний в модели прогнозирования развития проблемных социотехнических ситуаций в эксплуатации производственных объектов в самом широком диапазоне благодаря:

1 лингвистичности переменных модели (определенные входящие и исходящие параметры модели рассматриваются как лингвистические качественные переменные);

2 лингвистичности высказываний (выводов) при принятии конкретных решений.

Причинно-следственные связи между входящими и исходящими параметрами модели описываются словестно (вербально), а затем формализуются в виде совокупности нечетких логических высказываний (выводов) типа: «если - то», «иначе» и т. п.;

3 иерархичности лингвистических высказываний (заключений);

4 классификации входящих переменных (параметров) модели и построения «дерева» вывода, которое является системой вложенных друг в друга высказываний (выводов, знаний) экспертов «меньшей размерности».

Интегральные параметры формирования СТР при эксплуатации ОПО могут быть описаны монотонными или кусочно-непрерывными функциями принадлежности для описания неопределенностей, обладающих слабой степенью проявления исследуемого количественного или качественного признака. При этом целесообразно использовать следующие выражения: «малое количество аварийных ситуаций», «малое влияние человеческого фактора на возникновение аварии», «незначительное отклонение технологических параметров» и т.д. При использовании теории нечетких множеств важное значение имеет подбор функций принадлежности. Основными видами функций принадлежности (являются кусочно-линейные, Δ -, Z-, S- и П-образные функции принадлежности [5]. При этом целесообразно использовать запись функции принадлежности для описания КБ ОПО ($F_{\text{КБ ОПО}}$) (1):

$$F_{\Delta\text{КБ опо}}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \end{cases}. \quad (1)$$

значение интегрального показателя комплексной безопасности (ИПКБ), где $a = \text{ИПКБ}_{\min}$, $b = \text{ИПКБ}_{\text{optim}}$, $c = \text{ИПКБ}_{\max}$ – числовые параметры, характеризующие, соответственно, минимальное (min), оптимальное (optim) и максимальное (max) значения ИПКБ, которые удовлетворяют условию $a \leq b \leq c$. Первообразной одномерной Δ -функции является функция Хевисайда – FH (2):

$$FH_{\Delta}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ \frac{1}{2}, & x = 0, \\ 1, & x > 0. \end{cases} \quad (2)$$

Данные функции принадлежности часто используются для описания неопределенностей следующего рода: «техническое состояние приблизительно равно», «среднее значение», «вероятность взрыва расположена в интервале». Z-образная функция принадлежности может быть описана различными способами (3):

$$F_Z(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{b-x}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \end{cases}. \quad (3)$$

S-образные функции принадлежности также могут быть описаны следующими аналитическими выражениями (4):

$$F_S(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{b-x}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \end{cases}. \quad (4)$$

К П-образным функциям принадлежности можно отнести целый класс кривых, которые обладают формой сглаженной трапеции для количественной оценки технического и/или производственно-технологического состояния, которое находится в пределах «от и до», «вероятность взрыва примерно равна» и т.д. Обобщенная колоколообразная функция относится к П-образным функциям принадлежности и описывается выражением (5):

$$F_{\Pi}(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}, \quad (5)$$

где a , b и c – числовые параметры, удовлетворяющие условиям $a < b < c$, $b > 0$.

Для каждой из переменных должны быть заданы соответствующие термножества и функции принадлежности. База правил нечеткого вывода включает в себя множество правил нечетких продукций, наименование входных и выходных лингвистических переменных. От обоснованности и точности формирования базы правил зависит эффективность всех дальнейших этапов нечеткого вывода, что обуславливает высокую значимость субъективного фактора. В таблице 1 представлена матрица правил является основой системы нечеткого логического вывода при решении задач превентивного управления в обеспечении КБ ОПО.

Таблица 1. Матрица правил для оценки уровня опасности эксплуатации ОПО

Состояние технических и производственно-технологических подсистем ОПО	Уровень социотехнического риска		
	Низкий	Средний	Высокий
Отличное	Низкий уровень опасности эксплуатации	Низкий уровень опасности эксплуатации	Средний уровень опасности эксплуатации
Допустимое	Низкий уровень опасности эксплуатации	Средний уровень опасности эксплуатации	Высокий уровень опасности эксплуатации
Недопустимое	Средний уровень опасности эксплуатации	Высокий уровень опасности эксплуатации	Высокий уровень опасности эксплуатации

При формировании базы правил нечеткого вывода при оценке опасности эксплуатации ОПО используется алгоритм, включающий четыре этапа.

На первом этапе генерируются множество правил исходя из всех возможных сочетаний входных и выходных переменных. При этом разработанная база нечетких правил соответствует структуре MISO (Multiple Input – Single Output), в которой двум входным переменным соответствует одна выходная.

На втором этапе каждому правилу присваивается свой весовой коэффициент, позволяющий ранжировать правила по степени важности. При первоначальном составлении правил значения весовых коэффициентов принимается равными единице. В дальнейшем, при необходимости оптимизации базы правил нечеткого вывода, значения весовых коэффициентов уточняются.

На третьем этапе проводится исключение противоречащих друг другу правил, в которых одинаковые предпосылки приводят к разным заключениям. Правила нечеткого вывода должны удовлетворять требованию слабой согласованности, которое предполагает, что произвольные малые приращения входных параметров не должны приводить к скачкообразному изменению выходного параметра.

На четвертом этапе для нахождения функции принадлежности для выходных лингвистических переменных используется процедура аккумуляции.

Происходит аккумуляция всех степеней истинности заключений. Для нахождения числовых значений для выходных переменных нечетких множеств используется процедура дефаззификации (процедура приведения к четкости). Данный этап позволяет на основе значений входных переменных различной природы получить результат в виде четкого количественного значения. Например, установлено, что если входная лингвистическая переменная «Техническое и производственно-технологическое состояние ОПО» принимает значение 0,23, а входная лингвистическая переменная «Риск развития проблемной социотехнической ситуации» – 0,33, то выходная лингвистическая переменная принимает значение 0,71, что соответствует высокому уровню опасности аварии при эксплуатации ОПО.

Нечетко-логическая модель прогнозирования комплексной безопасности производственного объекта. При создании прогностической модели оценки текущего развития отдельных проблемных социотехнических ситуаций при эксплуатации ОПО целесообразно использовать входные качественные и количественные параметры, измеряемые по условной балльной шкале оценок от «0» до «100» баллов. Фактически, такая модель содержит в себе девять моделей зависимости КБ ОПО от:

- 1 профессионально-квалификационных характеристик административно-управленческого и оперативного персонала;
- 2 образовательно-интеллектуального потенциала;
- 3 инвестиционно-экономического состояния производства;
- 4 состояния характеристик состояния внешних и внутренних информационных ресурсов, обеспечивающих хозяйственно-экономическую деятельность предприятия;
- 5 уровня развития производственно-технологического потенциала;
- 6 структурного и функционального состояния сетевой инфраструктуры;
- 7 уровня компьютерно-телекоммуникационного развития предприятия;
- 8 модели и факторов управленческих воздействий;
- 9 ресурсного потенциала производства.

Для обеспечения КБ ОПО предложены качественные характеристики, такие как:

- профессионально-квалификационных характеристик персонала (ПКХП);
- образовательного развития персонала (ОРП);
- развития человеческого капитала (РЧК);
- инвестиционно-экономического развития предприятия (ИЭРП);
- информационных ресурсов предприятия (ИРП);
- производственно-технологического потенциала (ПТП);
- базовой сетевой инфраструктуры (БСИС);
- компьютерно-телекоммуникационной инфраструктуры (КТИС) предприятия;

- потенциала ресурсного обеспечения производства (ПРОП);
- модели управления процессами (МУП).

Предложены следующие обозначения: критический (К), опасный (О), пониженный (П), средний (С), высокий (В): d1 – катастрофический уровень КБ (К, 0–20%); d2 – опасный уровень КБ (О, 20–37%); d3 – низкий уровень КБ (Н, 37–63%); d4 – средний уровень КБ (С, 63–80%); d5 – уровень КБ высокий (В, 80–100%).

Входные переменные при формировании правил системы нечеткого вывода связаны функцией конъюнкции (нечеткое логическое И). При этом t – уровень периода прогнозирования динамики состояния системы КБ ОПО:

- 1П – краткосрочный (от 1 до 7 суток),
- 2П – среднесрочный (от 1 до 4 недель),
- 3П – долгосрочный (от 1 до 3 месяцев).

На основе когнитивно-вероятностного и численного моделирования были разработаны правила нечеткого вывода для характеристики состояния КБ ОПО, которые представлены в таблице 2. Данные правила базируются на термах, используемых для лингвистической оценки диапазонов этих переменных. Для характеристики значений обобщенных исходных параметров {ПКХП, ОРП, РЧК, ИЭРП, ИПР, ПТП, БСИС, КТИС, ПРОП, МУП} целесообразно использовать шкалу оценок от «0» до «100» баллов. Были определены характерные уровни изменения главного исходящего параметра прогнозирования – КБ ОПО.

Таблица 2. Правила нечеткого вывода о состоянии комплексной безопасности производственных объектов

№ п/п		ПКХП	ОРП	РЧК	ИЭРП	ИПР	ПТП	БСИС	КТИС	ПРОП	МУП	t		d
1	Если	К	К	К	К	О	Н	К	О	О	К	2Д	то	d1
2	Если	О	О	О	О	Н	С	О	Н	Н	О	3Д	то	d1
3	Если	Н	Н	Н	Н	С	К	П	К	К	П	1Д	то	d1
4	Если	С	С	С	С	В	С	С	С	С	С	3Д	то	d2
5	Если	В	В	Н	О	Н	О	В	С	Н	В	2Д	то	d2
6	Если	С	В	В	О	В	С	В	С	С	С	1Д	то	d2
7	Если	С	Н	К	С	О	Н	С	С	Н	Н	1Д	то	d3
8	Если	В	О	В	С	С	С	С	В	С	В	3Д	то	d3
9	Если	Н	В	С	Н	В	В	О	В	О	К	2Д	то	d3
10	Если	В	С	В	С	С	В	С	С	С	В	1Д	то	d4
11	Если	В	В	К	С	В	С	О	В	В	В	2Д	то	d4
12	Если	В	Н	С	В	С	С	К	К	С	В	3Д	то	d4
13	Если	В	В	В	С	В	В	С	В	В	С	1Д	то	d5
14	Если	В	С	С	В	В	С	Н	С	В	В	3Д	то	d5
15	Если	В	В	В	С	С	В	В	С	С	В	2Д	то	d5

При выборе функций принадлежности используются косвенные и прямые

методы. При отсутствии или невозможности количественной оценки исследуемых параметров используются косвенные методы построения функций принадлежности (например, метод парных сравнений), в противном случае используются прямые методы (методы относительных частот, параметрический, интервальный и др.).

Разработанная модель-матрица позволяет дискретно прогнозировать уровень СТР в состоянии производственной безопасности на основе известных статистических и экспертных оценок входных параметров. Модель прогнозирования может быть адаптирована к различным отраслям промышленности. При накоплении базы знаний, т.е. зависимости выходных характеристик от входных переменных, модель может функционировать в режиме реального времени, постоянно «самообучаться» и совершенствоваться в направлении повышения достоверности прогнозов. При лингвистической оценке могут быть использованы количественные и качественные данные. Ранее подобные подходы были успешно использованы при разработке методологии превентивного управления рисками в экономических системах [6, 7].

Заключение. На основе обобщения результатов системного анализа информационных ресурсов о проблемных социотехнических ситуациях, возникающих при эксплуатации ОПО, предложена методология информационного обеспечения превентивного управления комплексной безопасностью производственных объектов. Эта методология включает:

- системный анализ состояния исследуемого производственного объекта, его инфраструктуры, процессов и ресурсного потенциала;
- предварительное описание потенциально возможных и реально существующих проблемных социотехнических ситуаций, преимущественно на качественном уровне с использованием отдельных количественных характеристик и показателей;
- определение направления поиска источников информации для анализа проблемных ситуаций с помощью технологий Big Data и Data Mining;
- системный анализ и описание источников информации, характеризующих проблемные ситуации и сопряженные с ними социотехнические риски, возникающие при эксплуатации ОПО;
- уточнение описания и конкретизация потенциально возможных или реально существующих проблемных социотехнических ситуаций в эксплуатации ОПО;
- определение расширенного круга показателей, необходимых и достаточных для количественного описания проблемных социотехнических ситуаций и сопряженных с ними СТР;
- сбор данных, позволяющих определить и уточнить факторы, влияющие на выявленные проблемные социотехнические ситуации и сопряженные с ними СТР;
- определение причин и факторов возникновения проблемных

социотехнических ситуаций и сопряженных с ними СТР;

– выделение показателей, характеризующих проблемных социотехнических ситуаций и сопряженных с ними СТР;

– прогнозирование возможных негативных последствий проблемных социотехнических ситуаций и сопряженных с ними СТР;

– разработка сценариев и методов информационного обеспечения превентивного управления проблемными социотехническими ситуациями в эксплуатации ОПО;

– прогнозирование возможных результатов реализации сценариев превентивного управления проблемными социотехническими ситуациями при эксплуатации ОПО;

– оптимизация сценариев информационного обеспечения превентивного управления проблемными социотехническими ситуациями при эксплуатации ОПО.

Предлагаемый комплекс мероприятий не является универсальным, поэтому допускает вариативность, а также и дальнейшее научно-методологическое и технологическое развитие.

Литература

[1]. Острейковский, В.А. Анализ моделей распределения характеристик техногенного риска по статистическим данным аварий и катастроф сложных критически важных объектов / В.А. Острейковский, Е.Н. Шевченко // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 3-12.

[2]. Козлитин, А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин / – Саратов: СГТУ, 2002. – 178 с.

[3]. Александров, А.А. Единая методология диализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера / А.А. Александров, В.И. Ларионов, С.П. Сушев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». – 2015. – № 1. – С. 113–131.

[4]. Ильин, М.Ю. Интеллектуализация моделирования и прогнозирования безопасности химически опасных объектов техносферы на основе базовых сценариев возникновения чрезвычайных ситуаций: монография / М.Ю. Ильин. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. – 132 с.

[5]. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

[6]. Губернаторов, А.М. Исследование процесса управления инновационным развитием в экономике: монография / А.М. Губернаторов, Л.К. Корецкая. – М.: Издательство «Русайнс», 2015. – 272 с.

[7]. Кунин, В.А. Превентивное управление предпринимательскими рисками промышленных предприятий / В.А. Кунин. – СПб.: Издательство СПбАУЭ, 2009. – 192с.