

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКОВ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

О.М. Проталинский, Д.В. Немчинов

(Астраханский государственный технический университет)

*Для повышения безопасности промышленных объектов разработана система поддержки принятия решений на основе продукционных баз знаний с применением многофакторного анализа влияния количественных и качественных параметров промышленного объекта и деятельности персонала на уровень риска аварийных ситуаций.*

*Ключевые слова: аварийная ситуация, риск, система поддержки принятия решений.*

Снижение риска аварийных ситуаций напрямую связано с обеспечением безопасности персонала, населения и окружающей среды и влияет на общую эффективность функционирования промышленных объектов. Кроме того, большая часть основных фондов опасных производственных объектов введена в эксплуатацию 40...50 лет назад. При этом реконструкция производств и объектов происходит низкими темпами, в связи с чем на опасных производственных объектах эксплуатируются около 70 % технических устройств, отработавших установленный ресурс безопасной эксплуатации, что повышает риск возникновения аварийных ситуаций. Определение риска аварийных ситуаций позволяет специалисту оценить возможные последствия нарушения работоспособности элементов сложной технической системы, будь то установка, агрегат, процесс или даже человек, под воздействием различных факторов и принять обоснованные технические решения о выводе в ремонт, реконструкции или замены оборудования. При этом информационный механизм играет важную роль в обеспечении промышленной безопасности. От полноты информации зависит то, насколько правильно будет оценен риск аварии и возможные затраты на уменьшение риска. Аварийные ситуации на промышленных объектах обусловлены множеством факторов: координаты объекта, показатели, связанные с оценкой состояния оборудования и производственных условий, а также человеческий фактор. Для описания данных факторов используется не только количественная информация, но, в большей степени, качественная информация, что не позволяет объединить различные по природе факторы в одну структуру и описать традиционными математическими методами: аналитическими, регрессионными и другими формальными моделями.

Основной задачей по снижению аварийности на промышленных объектах является принятие управленческих решений с учетом знаний о рисках аварийных ситуаций, количественной и качественной информации о производственном объекте и деятельности персонала.

Сложившуюся проблемную ситуацию может разрешить рассматриваемая ниже система поддержки при-

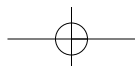
нятия управленческих решений (СППР), которая позволит формировать решения в виде набора мероприятий по снижению рисков аварийных ситуаций на промышленном объекте. Использование в основе СППР продукционных баз знаний дает приближенные, но в то же время обладающие достаточной степенью эффективности способы описания слабоформализуемых систем, а также позволяет одновременно учитывать десятки разрозненных входных параметров.

Определено два основных направления по снижению уровня риска аварийной ситуации: формирование оперативных действий по снижению риска при возникновении аварийной ситуации на объекте и формирование управленческих решений по снижению риска аварийной ситуации на производственном объекте на основе полученных данных об уровне риска. Управленческие решения основываются на использовании двух альтернативных задач снижения риска [1]: при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта или обеспечить снижение риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

Для определения приоритетности выполнения решений по уменьшению риска в условиях заданных средств или ограниченности ресурсов устанавливается набор мер, которые могут быть реализованы при заданных объемах финансирования, и производится ранжирование по показателю "эффективность – затраты".

Первоначально для производственного объекта формируется база данных множества мероприятий  $M = \{m_i\}$  по снижению риска аварийной ситуации. Каждому мероприятию присваивается две характеристики:  $G$ -затраты на внедрение и  $\Phi = \{\varphi_n\}$  – ожидаемое воздействие на оценки факторов опасности. Принятие решения представляет собой выбор подмножества мероприятий  $MP_j$  из множества мероприятий  $M$ . При этом эффективность снижения риска при внедрении определенного количества мероприятий не является суммой эффективности от внедрения каждого отдельного мероприятия.

При определении мероприятий по первой задаче при фиксированных средствах  $G_{зад}$  определяется такой



набор мер  $MP_j = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ , внедрение которого максимально снижает риск возникновения аварии  $R$ .

$$\begin{cases} \Delta R \rightarrow \max \\ \sum_i G_i \leq G_{зад} \end{cases} \quad (1)$$

При определении мероприятий по второй задаче определяется такой набор мер  $MP_j$ , внедрение которого снижает риск  $R$  до заданного уровня  $R_{зад}$  при минимальных затратах  $G_j$ .

$$\begin{cases} \sum_i G_i \rightarrow \min \\ R - \Delta R \leq R_{зад} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\Delta R = R - R_{MP}$ ,  $R$  — показатель уровня риска объекта до внедрения мероприятий,  $R_{MP}$  — показатель уровня риска объекта после внедрения мероприятий.

Для реализации мероприятий по снижению риска применяется либо первая, либо вторая задача в зависимости от конкретного сценария возникновения аварийной ситуации и выделения средств на повышение промышленной безопасности технического объекта.

На рис. 1. представлена схема СППР, позволяющая формировать управленческие решения в виде набора мероприятий по снижению риска аварийных ситуаций на объекте.

Для формирования базы знаний мероприятий по снижению риска используется блок расчета эффективности мероприятия. С помощью этого же блока можно определить эффективность внедрения мероприятий, предложенных СППР.

С целью недопущения развития аварии при аварийной ситуации на объекте предложена продукционная модель базы знаний для формализованного описания управляющих решений за счет включения системы противоаварийной защиты. Такое состояние на объекте характеризуется аварийными значениями контролируемых и регулируемых технологических параметров процесса. Это состояние в системе формализованного представления знаний в СППР названо "Аварийное". Задача оперативного принятия решений по управлению безопасностью заключается в том, чтобы для состояния объекта, характеризующегося значением "Аварийное", определить управляющие решения, направленные на включение системы противоаварийной защиты на объекте. При срабатывании автоматической системы противоаварийной защиты в ней оп-

ределен перечень всех управляющих переменных, которые надо сильно увеличить или уменьшить, переключить, регулировать в заданном диапазоне.

Результатом принятия управленческих решений в предаварийном состоянии является совокупность мероприятий по снижению уровня риска, удовлетворяющих заданным критериям (1) или (2). Конечный пользователь системы получает  $N$  наиболее эффективных вариантов улучшения безопасности, причем каждый вариант может включать одно или более мероприятий. Первоначально для получения решений по снижению риска необходимо сформировать базу данных множества мероприятий  $M = \{m_j\}$  по улучшению состояния технологического процесса. Для определения эффективности мероприятий необходимо знать стоимость внедрения конкретного мероприятия и его влияние на снижение уровня риска. На основе продукционной базы знаний формируется комплекс мероприятий по снижению показателя уровня риска:

ЕСЛИ качество материалов трубопроводов "низкое", техническое состояние трубопровода "среднее", ...

ТО "мероприятие 1 = провести диагностику трубопровода" с весом  $\varphi_1$ ,

ЕСЛИ техническое состояние трубопровода "очень низкое", ...

ТО "мероприятие 2 = замена трубопровода" с весом  $\varphi_2$ ,

ЕСЛИ техническое состояние трубопровода "низкое", ...

ТО "мероприятие 3 = провести диагностику" с весом  $\varphi_3$ .

В результате получим набор мероприятий  $MP_j = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$  по снижению риска аварийной ситуации. Вес мероприятия  $\varphi$  в базе знаний представляет собой воздействие данного мероприятия на снижение уровня риска и определяет эффективность данного мероприятия. Определить вес мероприятия можно с использованием знаний о текущем уровне риска объекта и уровне риска после внедрения мероприятия  $m_j$ .

Для определения уровня риска проведен многофакторный анализ влияния параметров объекта на возникновение аварии. На основании анализа причин возникновения аварий введена следующая классификация факторов влияния на аварийные ситуации: параметрические, технологические, технические, аппаратные, субъективные. По используемым данным факторы влияния делятся на два вида: непосредственно параметры состояния объекта, измеряемые традиционным способом в реальном времени, и параметры, которые не поддаются непосредственному измерению, представленные в виде текстового описания, таблиц, диаграмм и экспертных оценок. Кроме того, факторы непосредственно разделены на факторы, генерируемые технической системой (параметрические, технологические, технические, аппаратные), и на факторы влияния человека на технологический процесс (субъективные). Уровень влияния каждого фактора на аварийную ситуацию определяем на основе введенных показателей состояния объекта: параметрический показатель  $S_j$ ; технологический показатель

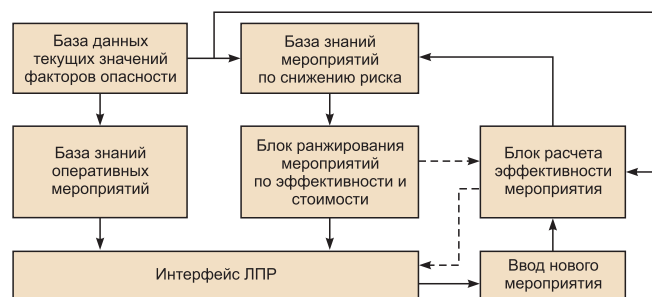


Рис. 1. СППР по снижению рисков аварийных ситуаций

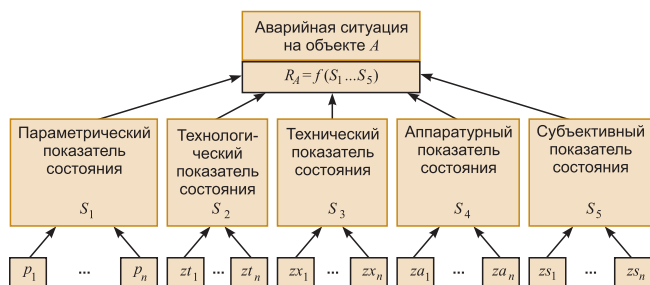
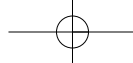


Рис. 2. "Дерево" определения уровня риска аварийной ситуации

$S_2$ ; технический показатель  $S_3$ ; аппаратный показатель  $S_4$ ; субъективный показатель  $S_5$ . Для определения риска объекта введен показатель  $R_A$  (рис. 2).

На показатели состояния объекта накладываются следующие требования: показатели должны быть безразмерными величинами, изменяющимися в диапазоне (0-1); показатели должны учитывать влияния всех параметров, входящих в соответствующие факторы; значения показателей равно нулю, если все параметры факторов опасности находятся в зоне нормальных значений; значение показателей состояния по факторам опасности равно единице, если хотя бы один параметр соответствующих факторов находится в предельно допустимой зоне; значение показателя уровня риска объекта равно единице, если хотя бы один показатель состояния равен единице.

Значение показателя уровня риска объекта по всем факторам определяется по принципу логико-вероятностной оценки:

$$R_A = S_1 + S_2 Q_1 + S_3 Q_1 Q_2 + S_4 Q_1 Q_2 Q_3 + S_5 Q_1 Q_2 Q_3 Q_4,$$

где  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  – показатели состояния объекта;  $Q_1 = 1 - S_1, Q_2 = 1 - S_2, Q_3 = 1 - S_3, Q_4 = 1 - S_4$ .  $R_A$  всегда находится в пределах  $[0, 1]$  при любых значениях  $S$  и учитывает влияние всех факторов.

Уровень риска аварийной ситуации на всей установке определяется с использованием метода "дерева отказов" (ГОСТ Р 51901-2002. "Управление надежностью. Анализ риска технологических схем").

Параметрический показатель, зависящий от параметров технологического процесса, измеряемых традиционным способом, определяется для нормального, предаварийного и аварийного состояний объекта. Неоднородность единиц измерения приводит к невозможности обоснованного выражения значения параметрического показателя. Чтобы устранить неоднородность измерения исходных данных, все их значения предварительно нормируются:

$$q_i = \frac{p_i - p_i^h}{p_i^{hh} - p_i^h} \text{ или } q_i = \frac{p_i^l - p_i}{p_i^l - p_i^{ll}}.$$

Здесь:  $p_i$  – текущее значение параметра;  $p_i^l, p_i^h$  – предупредительные значения параметра;  $p_i^{ll}, p_i^{hh}$  – предельно допустимые значения параметра.

Значение параметрического показателя для  $n$  параметров определяется:

*Разумный риск - самая похвальная ступо́ня человеческого благо́разумия.*

Д. Галифакс

$$S_1 = q_1 + \sum_{i=2}^n \left[ q_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - q_j) \right]. \quad (3)$$

Для обозначения влияния отдельного параметра на параметрический показатель используются весовые коэффициенты ( $r$ ), которые определяются методом экспертных оценок. Весовой коэффициент должен представлять собой целое число, отражающее значимость одного параметра по сравнению с другими. Можно переписать значение параметра  $q$  в зависимости от его веса:

$$q_r = q \left[ 1 + \sum_{i=1}^{r-1} (1 - q)^i \right], \quad (4)$$

где  $r$  – вес параметра  $q$ ,  $q_r$  – значение параметра с учетом его веса.

Используя формулу (4), определяем значение параметрического показателя  $S_1$  с учетом веса каждого параметра  $q$ , входящего в выражение (3).

Определение технологических, технических и аппаратных показателей технического состояния объекта производится с представлением знаний в форме нечетких продукций.

Формальное описание множества факторов опасности, учитываемых при оценке технологического, технического, аппаратного и субъективного показателей состояния объекта, представлено видом:

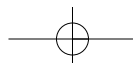
$$Z = \{z_i(F, w)\}, i = 1, n,$$

где  $z_i$  –  $i$ -й фактор опасности,  $F$  – оценка фактора опасности,  $w$  – степень влияния на формирование аварийной ситуации.

Влияющие факторы рассматриваются как лингвистические переменные, заданные на соответствующих универсальных множествах при помощи лингвистического терм-множества. Для определения показателя состояния объекта  $S$  по влиянию факторов опасности  $Z(z_1, \dots, z_n)$  используется продукционная база знаний, включающая в себя базу данных и базу правил с использованием логических правил типа ЕСЛИ – ТО. Базы данных по факторам  $Z$  формируются на основе экспертных оценок параметров  $z_1, \dots, z_n$  и на основании результатов диагностики оборудования.

Введена лингвистическая переменная "Состояние объекта по фактору"  $G$ . Терм-множество представлено двумя элементами: "нормальное"  $g_1$ , "близкое к аварийному"  $g_2$ . При этом нечеткие множества "нормальное" и "близкое к аварийному" подразумеваются как дополнения друг к другу, и функция принадлежности принимает вид  $\mu_{g_1} = 1 - \mu_{g_2}$  [2].

База правил формируется на основании данных, полученных от экспертов. В зависимости от сложности описания технической системы базу правил можно формировать как для состояния "нормальное", так и для состояния "близкое к аварийному". Учитывая, что в тех-



Таблица

Показатель риска аварии до внедрения мероприятий	0,4398
Показатель риска аварии при внедрении мероприятий ЭПБ	0,1134
Показатель риска аварии при внедрении мероприятий СППР	0,012
Эффективность внедрения мероприятий ЭПБ	0,3264
Эффективность внедрения мероприятий СППР	0,4278

нологических регламентах, правилах, инструкциях по эксплуатации оборудования диапазон изменения параметров объекта и требования к обслуживанию оборудования указаны для нормальной и безопасной эксплуатации оборудования, предлагается формировать базу правил для состояния "нормальное", например, так:

ЕСЛИ качество материалов трубопроводов "выше среднего", техническое состояние трубопровода "хорошее", ...

ТО состояние трубопровода "нормальное",

ИНАЧЕ состояние трубопровода "близкое к аварийному".

Если в системе определено  $n$  факторов  $z_i$  и определено множество  $G$ , причем  $z_i$  описывается лингвистическими переменными  $z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ik}$ , а  $G$  переменными  $g_1, g_2$ , то набор правил будет иметь следующий вид:

ЕСЛИ ( $z_{11} \cdot z_{21} \cdot \dots \cdot z_{i1}$ )

или ЕСЛИ (...)

...

или ЕСЛИ (...) ТО  $g_1$

ИНАЧЕ  $g_2$ .

Принадлежность текущего состояния объекта по фактору  $Z$  к нормальному состоянию определяется функцией принадлежности, рассчитываемой по алгоритму Мамдани [3].

Функция принадлежности текущего состояния к заданному по параметру  $z_i$ :

$$\mu_{z_{i\max}}^{z_i} = \sum_{j=1}^{J_{z_i}} \left( \mu_j^{z_i} \times \mu_j^{z_{i\max}} \right),$$

где  $J_{z_i}$  – число элементов нечеткого множества, описывающего  $z_i$ -й параметр в правиле  $f$ .

При определении показателя состояния  $S$  вместо логических операций в алгоритме Мамдани применяются алгебраические произведения и суммы. Для одного правила показатель состояния  $S$  представлен:

$$S^1 = \prod_{k=1}^N \mu_{z_{k\max}}^{z_{k1}},$$

где  $N$  – число параметров в правиле.

Для  $f$  правил, определяющих "нормальное" состояние объекта  $S$ , имеем

$$S^{\text{норм}} = S^1 + \sum_{i=2}^f \left[ S^i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - S^j) \right].$$

**Проталинский Олег Мирославович** – д-р. техн. наук, проф., проректор по информатизации, **Немчинов Денис Валерьевич** – старший преподаватель кафедры

"Вычислительная техника и электроника" Астраханского государственного технического университета.

Контактный телефон (8512) 61-44-49. E-mail: prot@astu.org / nem29@mail.ru

Так как состояния "нормальное" и "близкое к аварийному" являются дополнениями друг к другу, то показатель состояния по фактору  $Z$  к состоянию "близкое к аварийному" определен как  $S_{\text{авар}} = 1 - S_{\text{норм}}$ .

Используя предложенный метод определения уровня риска, можно рассчитать уровень риска без внедрения мероприятия  $m_i$  и с внедрением мероприятия  $m_i$ , предварительно изменив оценки параметров. Соответственно вес мероприятия  $m_i$  определяется как

$$\phi_{mi} = R_A - R_{miA},$$

где  $R_A$  – показатель уровня риска объекта до внедрения мероприятия,  $R_{miA}$  – показатель уровня риска объекта после внедрения мероприятия.

СППР по снижению рисков аварийных ситуации применена на химически опасном производственном объекте – установке хлорирования воды. Сформирована база знаний по оперативным мероприятиям ликвидации аварийной ситуации для установки хлорирования воды на основе нормативных технических документов по эксплуатации установки. В базе представлены 18 оперативных мероприятий, которые подразделены по каждому объекту установки хлорирования. Синтезирована база знаний СППР, включающая 123 правила по снижению риска аварийной ситуации.

Проведен сравнительный анализ уровней риска установки хлорирования по отдельным техническим устройствам и в целом по объекту до внедрения мероприятий, после внедрения мероприятий по результатам экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) технических устройств, выполненной специализированной организацией, после возможного внедрения мероприятий определенных СППР (таблица). Снижение показателя риска по отношению к начальному уровню составил 97% при внедрении мероприятий СППР и на 22% по отношению к уровню риска при внедрении мероприятий по заключению экспертизы промышленной безопасности.

В результате можно сделать вывод об эффективности СППР по управлению рисками аварийных ситуаций. Предложенную систему можно использовать для формирования рекомендаций по снижению риска аварий на различных промышленных объектах повышенной опасности.

#### Список литературы

1. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Госгортехнадзор России, 2001 // Безопасность труда в промышленности. 2001. № 10.
2. Беллман Р., Задэ Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Сборник переводов. М.: Мир. 1976.
3. Mamdani E.H., Assilian S.A. Fuzzy Logic Controller For Dynamic Plant. // International Journal of Man-Machine Study. 1975. Vol. 7.