

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Д. В. Тупиков, А. Ф. Резчиков, В. А. Иващенко,
Алгоритм поддержки принятия решений по устранению пожароопасных ситуаций на промышленных предприятиях, *УБС*, 2014, выпуск 52, 148–163

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.168

24 января 2025 г., 15:48:27



УДК 614.841.29
ББК 81.92

АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УСТРАНЕНИЮ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Тупиков Д. В.¹

*(Саратовский государственный технический
университет им. Ю.А. Гагарина, Саратов)*

Резчиков А. Ф.², Иващенко В. А.³

*(ФГБУН Институт проблем точной механики
и управления РАН, Саратов)*

Предлагается алгоритм поддержки принятия решений по устранению пожароопасных ситуаций на промышленных предприятиях. Данный алгоритм включает в себя прогнозирование значений факторов пожароопасных ситуаций и определение степени пожарной опасности производства на основе использования системы нечёткого вывода, по результатам работы которой оператором принимаются меры по устранению пожароопасной ситуации.

Ключевые слова: пожарная опасность, пожароопасная ситуация, прогнозирование, нейронные сети, система нечёткого вывода, поддержка принятия решений.

1. Введение

На промышленных предприятиях различных отраслей промышленности широко используются взрывопожароопасные материалы и вещества – горючие жидкости (ГЖ), легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) и др., поэтому требуется непрерывный

¹ Дмитрий Владимирович Тупиков, аспирант (tupikovdv@gmail.com).

² Александр Федорович Резчиков, доктор технических наук, директор (iptmiran@sau.ru).

³ Владимир Андреевич Иващенко, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник (iptmiran@sau.ru).

контроль пожарной безопасности (ПБ) их хранения и использования для своевременного обнаружения возможности возникновения пожара.

В настоящее время на промышленных предприятиях эксплуатируется большое количество автоматических систем обеспечения ПБ на базе оборудования отечественных заводов-производителей: НВП «Болид», НПП «Специнформатика-СИ», НПО «Сибирский арсенал», ЗАО «Аргус-спектр», ГК «Рубеж» и др. [1, 7–10]. Эти системы позволяют обнаружить очаги возгорания, сопровождающиеся появлением дыма малой концентрации, повышением температуры и возникновением пламени. Однако ими выполняются действия лишь по устранению уже возникшего пожара, и не обеспечивается своевременное принятие решений по предотвращению пожароопасных ситуаций (ПС), приводящих к нему. Это наносит существенный материальный ущерб предприятиям, представляет угрозу для здоровья и жизни людей.

В связи с этим предлагается система компьютерной поддержки принятия решений, обеспечивающая своевременное обнаружение ПС и устранение возможности возникновения пожара. В основу построения данной системы положен алгоритм поддержки принятия решений по устранению ПС, включающий в себя определение степени пожарной опасности (ПО) на базе использования системы нечёткого вывода (СНВ) и формировании решений, на основе которых оператором принимаются меры по устранению ПС.

2. Факторы и условия возникновения пожароопасных ситуаций

Пожароопасные и взрывоопасные производства – это производства, на которых производятся, хранятся, транспортируются и используются взрывоопасные продукты или продукты, приобретающие при определенных условиях способность к возгоранию или взрыву. Практически все промышленные предприятия включают такие производства [6].

Ввиду того, что на данных производствах имеет место повышенная ПО, то для защиты материальных ценностей, здоровья и жизни людей на них требуется устранить случаи возникновения

пожара путем определения возможных условий его возникновения и факторов, порождающих эти условия.

При этом условия возникновения пожара обусловлены как значениями отдельно взятых факторов, так и их сочетаниями, выявление которых оператором режиме реального времени (РВ) затруднено, а в ряде случаев невозможно, без компьютерной системы поддержки принятия решений (СППР).

Такая поддержка позволяет минимизировать риск возникновения пожара в помещении.

Взаимосвязь основных факторов и условий возникновения ПС приведена на рис. 1.



Рис. 1. Взаимосвязь факторов и условий возникновения пожароопасных ситуаций

3. Структура системы поддержки принятия решений

На основе выделенных факторов возникновения условий пожара в помещении предлагается СППР, положенная в основу автоматизированного поиска причин возникновения ПС и их устранения в режиме РВ (рис. 2) [2, 11].

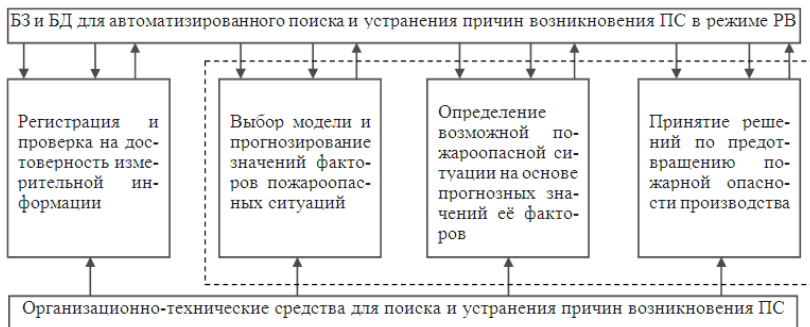


Рис. 2. Структура системы автоматизированного поиска и устранения причин возникновения пожароопасных ситуаций

Системообразующими компонентами СППР являются базы знаний (БЗ) и данных (БД), реализованные на основе инструментальных программных средств Matlab и СУБД MS SQL Server [4, 5]. Доступ к ним осуществляется с АРМ оператора. В качестве платформы реализации системы могут быть использованы стандартные операционные системы Windows различных версий.

4. Алгоритм поддержки принятия решений

Блок-схема алгоритма поддержки принятия решений по предотвращению пожара приведена на рис. 3.

Численные значения указанных в алгоритме факторов получены на основе обобщения результатов анализа причин возникновения ПС в ряде производственных помещений ОАО «Саратовское электроагрегатное производственное объединение», ОАО «Саратовстройстекло», а также на складе лакокрасочных материалов Саратовского вагонного депо.

Алгоритм включает в себя блоки: 1 – «Инициализация работы алгоритма»; 2 – «Измерительная информация»; 3 – «Прогнозирование значений факторов ПС»; 4 – «Определение ПО помещения»; 5 – «Анализ значений факторов ПС и решения по устранению ПС»; 6 – «Передача управления инициализирующей программе».

Ниже рассмотрено содержательное наполнение блоков предложенного алгоритма.

Блок 1. Передача управления от супервизора программе, реализующей предложенный алгоритм.

Блок 2. Для регистрации измерительной информации через заданные интервалы времени осуществляется опрос датчиков и передача их показаний в БД. Эффективность решений по устранению ПС во многом определяется надежностью и качеством информации, поступающей с измерительных приборов. Поэтому отдельную задачу составляет обеспечение достоверности измерительной информации – обнаружение ошибочных (аномальных) измерений контролируемых величин.

Эта задача является неотъемлемой частью любой системы контроля и управления, так как не устраненные грубые ошибки в измерениях определяют достоверность информации, используемой для принятия решений.

Блок 3. Для обеспечения времени, необходимого оператору для устранения причины возникновения ПС, осуществляется прогнозирование значений факторов ПС на основе искусственной нейронной сети (ИНС) [3].

Общая схема прогнозирования значений факторов ПС представлена на рис. 4.

В качестве ИНС выбран трехслойный персептрон с архитектурой, представленной на рис. 5.

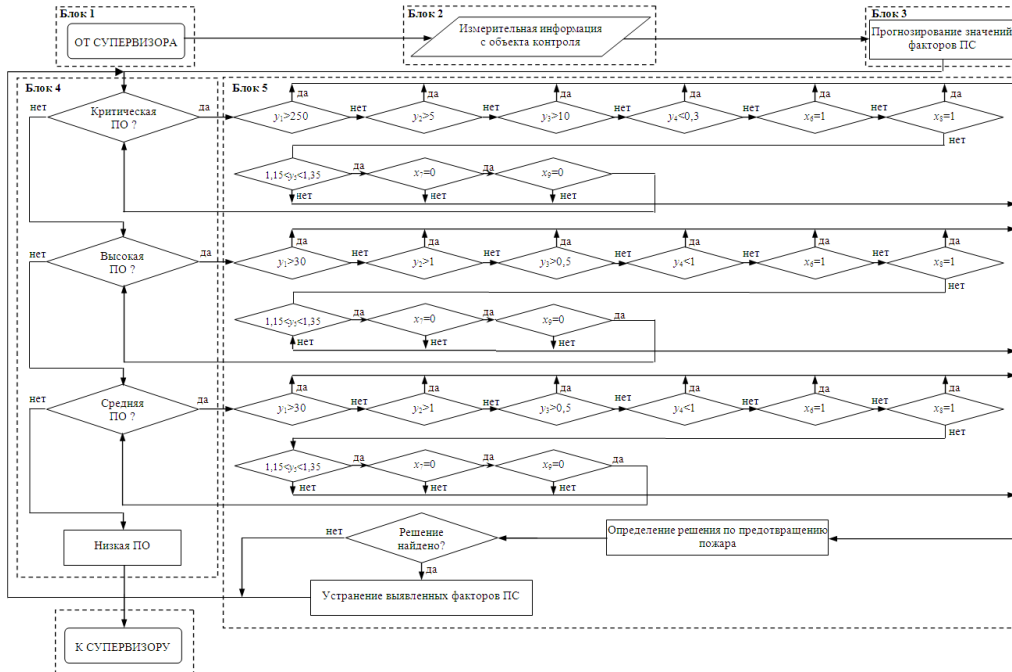


Рис. 3. Блок-схема алгоритм поддержки принятия решений по устранению пожароопасных ситуаций

На рис. 5 приняты следующие обозначения:

$$x_{kl}^{\text{норм.}} = (x_{kl} - \min x_{kl}) / (\max x_{kl} - \min x_{kl})$$

– нормированные значения факторов, обуславливающих возникновение ПС; $k = 1, \dots, 5$ – номер фактора; $l = 1, \dots, 5$ – номер момента времени, соответствующий значению k -го фактора, измеряемого с дискретностью $\Delta t = 4$ мин.; x_{kl} , $\max x_{kl}$, $\min x_{kl}$ – соответственно текущие, максимальные и минимальные значения факторов; $w_{ij}^{(n)}$ – весовой коэффициент синаптической связи, соединяющей i -й нейрон слоя n с j -м нейроном слоя $n + 1$; f – активационная функция, в качестве которой принята сигмоидальная функция; y_k – прогнозные значения факторов.

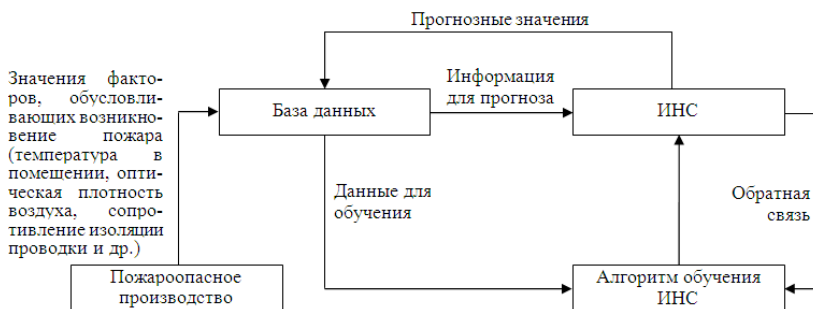


Рис. 4. Общая схема прогнозирования значений факторов пожароопасных ситуаций

На входы персептрона подаётся по 5 ретроспективных нормированных значений по каждому фактору (входных переменных), поэтому его входной слой содержит 25 нейронов. С выходов персептрона снимаются 5 прогнозных значений y_i , $i = 1, \dots, 5$, по этим факторам (выходных переменных), т.е. выходной слой включает 5 нейронов.

Обучение проводилось по комбинированному алгоритму, построенному на основе алгоритма обратного распространения ошибки и алгоритма Коши. Коррекция весов нейронов выполнялась по соотношению

$$w_{ij}^{(n)}(m) = w_{ij}^{(n)}(m-1) + \eta \Delta w_{ij}^{(n)}(m) + (1 - \eta) x_c,$$

где m – номер шага итеративного процесса обучения; $w_{ij}^{(n)}(m) -$

значение весового коэффициента синаптической связи, соединяющей i -й нейрон слоя n с j -м нейроном слоя $n + 1$ на t -м шаге обучения; $w_{ij}^{(n)}(t-1)$ – значение весового коэффициента на предыдущем $(t-1)$ -м шаге обучения; $\Delta w_{ij}^{(n)}(t)$ – коррекция весового коэффициента, вычисленная по алгоритму обратного распространения ошибки; x_c – величина случайного изменения веса нейрона, определяемая в соответствии с распределением Коши; η , $0 < \eta < 1$ – коэффициент скорости обучения персептрона, значение которого в процессе обучения уменьшается по линейному закону от 1 до 0.

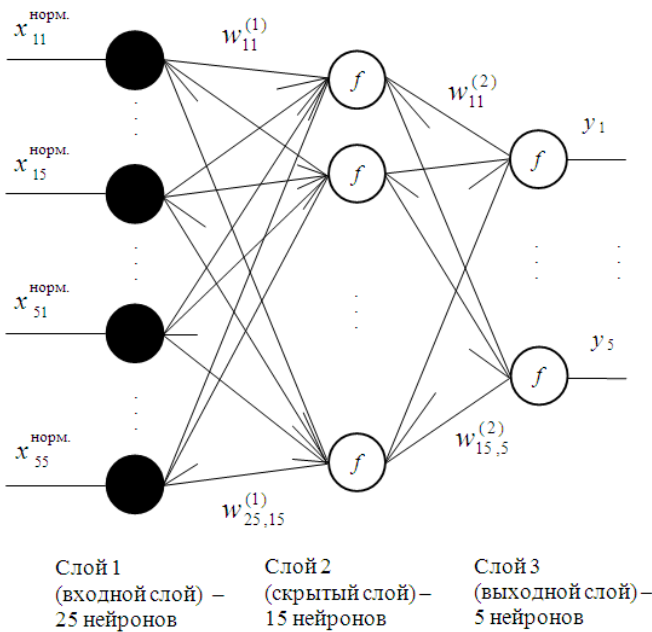


Рис. 5. Архитектура персептрона для прогнозирования значений факторов пожароопасных ситуаций

Для обучения персептрона использована обучающая последовательность из 360 элементов. Результаты проведенных машинных экспериментов показали, что использование для обучения предложенного алгоритма позволяет осуществлять обучение в режиме РВ. Так, тестовое прогнозирование значений факторов

ПС для склада лакокрасочных материалов Саратовского вагонного депо показало, что при 300 итерациях время обучения составило менее 20 с (процессор AMD Ahtlon X2 6000+).

Интервал прогнозирования значений факторов ПС составляет 20 мин., что достаточно для принятия и реализации оператором мероприятий по устранению ПС.

Блок 4. На основе полученной информации из БЗ и прогнозных значений определяется степень ПО помещения. Ввиду того, что формирование БЗ основывается на факторах, точная оценка которых затруднена, то для принятия решений по устранению ПС используется система нечёткого вывода (СНВ).

В качестве термов входных переменных при этом выступают: «Низкий уровень», «Средний уровень», «Высокий уровень».

В качестве выходных переменных выступают степени ПО помещений:

– «Критическая ПО» – максимальные отклонения значений факторов, приводящие к условиям возникновения пожара «Наличие горючего вещества» и «Наличие источника зажигания».

– «Высокая ПО» – отклонения значений факторов, приводящие к условиям возникновения пожара «Наличие горючего вещества» и «Наличие источника зажигания».

– «Средняя ПО» – отклонения значений факторов, обуславливающие одно из условий возникновения пожара.

– «Низкая ПО» – все значения опасных факторов, обуславливающие возникновение пожара, находятся в пределах установленных ограничений.

За номинальные принимаются значения факторов, соответствующие нормативным материалам, а при их отсутствии – мнениям экспертов, компетентных в данной области.

На основании нормативных материалов и мнений экспертов определяются функции принадлежности нечетких переменных. Вид этих функций выбирается исходя из простоты их представления и вычисления при условии обеспечения адекватности соответствующей лингвистической переменной, характеризующей исследуемый процесс. В настоящее время наибольшее распространение получили треугольная и трапецеидальная функции принадлежности (рис. 6).

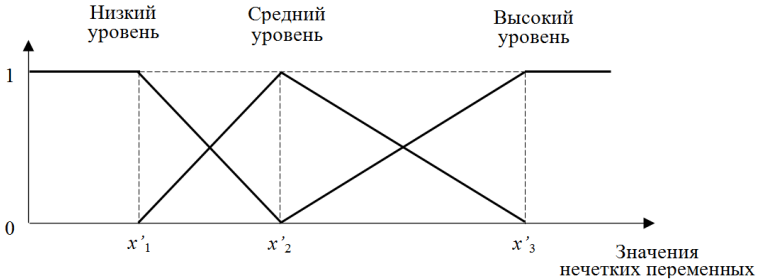


Рис. 6. Функции принадлежности нечетких переменных

Таблица 1. Значения параметров нечетких переменных

Нечеткая переменная	Значения параметров нечеткой переменной		
	x'_1	x'_2	x'_3
Температура в помещении, °С	30	100	250
Оптическая плотность воздуха	1	2	5
Сопротивление проводки, кОм	0,5	1	10
Сопротивление изоляции, МОм	0,3	0,5	1
Плотность воздуха, кг/л	1,15	1,25	1,35

Факторы «Наличие искры», «Горючая нагрузка», «Грозовые разряды» и «Утечка ЛВЖ и ГЖ» описываются логическими переменными, принимающими значения: 0 – «Низкий уровень», 1 – «Высокий уровень».

Пожарная опасность определяется на основе полной БЗ, содержащей 3888 правил:

1. Если температура в помещении – «Низкий уровень», оптическая плотность воздуха – «Низкий уровень», сопротивление изоляции – «Высокий уровень», сопротивление проводки – «Низкий уровень», плотность воздуха – «Средний уровень», наличие искры – «Низкий уровень», горючая нагрузка – «Низкий уровень», грозовые разряды – «Низкий уровень», утечка ЛВЖ и ГЖ – «Низкий уровень», то «Низкая ПО».

....

1900. Если температура в помещении – «Высокий уровень», оптическая плотность воздуха – «Высокий уровень», сопротивление изоляции – «Средний уровень», сопротивление проводки – «Средний уровень», плотность воздуха – «Средний уровень», наличие искры – «Низкий уровень», горючая нагрузка – «Низкий уровень», грозовые разряды – «Низкий уровень», утечка ЛВЖ и ГЖ – «Низкий уровень», то «Высокая ПО».

....

3888. Если температура в помещении – «Высокий уровень», оптическая плотность воздуха – «Высокий уровень», сопротивление изоляции – «Низкий уровень», сопротивление проводки – «Высокий уровень», плотность воздуха – «Высокий уровень», наличие искры – «Высокий уровень», горючая нагрузка – «Высокий уровень», грозовые разряды – «Высокий уровень», утечка ЛВЖ и ГЖ – «Высокий уровень», то «Критическая ПО».

Генерация множества правил БЗ, исходя из всевозможных сочетаний нечетких высказываний в их предпосылках и заключениях, и согласованные мнения экспертов обеспечивают непротиворечивость базы правил и гарантируют получение результата для всевозможных сочетаний факторов, определяющих возникновение пожара.

Далее на основе использования базы правил СНВ выполняется поиск решений, обеспечивающих предотвращение ПС. В качестве инструментальной среды реализации СНВ использован пакет программ Fuzzy Logic Toolbox Matlab 7.11.0.584 (R2010b).

Блок 5. Исходя из характеристик степени ПО, с помощью алгоритма поддержки принятия решений определяются решения по предотвращению пожара.

В таблице 2. приведены решения по предотвращению пожара для склада лакокрасочных материалов Саратовского вагонного депо.

Таблица 2. Решения по предотвращению пожара

Степень ПО помещения	Характеристика степени ПО	Решения по предотвращению пожара
Критическая ПО	$(y_1 > 250 \vee y_2 > 5 \vee y_3 > 10 \vee y_4 < 0,3 \vee x_6 = 1 \vee x_8 = 1) \wedge (y_5 < 1,15 \vee y_5 > 1,35 \vee x_7 = 1 \vee x_9 = 1)$	<p>Решения по предотвращению пожара</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Если $y_1 > 250$, то необходимо принять меры к ликвидации пожара, сообщить о пожаре в городскую и местную пожарную охрану, поставить в известность администрацию предприятия. 2. Если $y_2 > 5$, то необходимо осмотреть помещение на наличие задымлённости, определить источник дыма и устранить его. 3. Если $y_3 > 10 \vee y_4 < 0,3 \vee x_6 = 1$, то необходимо отключить электроснабжение помещения до устранения дефектов электрической проводки. 4. Если $y_5 < 1,15 \vee y_5 > 1,35 \vee x_9 = 1$, то необходимо убедиться, что устранен источник зажигания, и исключить утечку ЛВЖ/ГЖ в помещении – удалить тары с ЛВЖ/ГЖ из опасной зоны. 5. Если $x_7 = 1$, то необходимо убедиться, что устранен источник зажигания в помещении, и удалить тары с ЛВЖ/ГЖ из опасной зоны. 6. Если $x_8 = 1$, то необходимо защитить помещение от «молнии» – отключить все электроприборы и производственное оборудование, а при возможности электроснабжение помещения.
Высокая ПО	$(y_1 > 30 \vee y_2 > 1 \vee y_3 > 0,5 \vee y_4 < 1 \vee x_6 = 1 \vee x_8 = 1) \vee (y_5 < 1,15 \vee y_5 > 1,35 \vee x_7 = 1 \vee x_9 = 1)$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Если $30 < y_1 < 100$, то необходимо включить кондиционер для исключения самовоспламенения горючих материалов, а если $y_1 > 100$ – то в случае пожара сообщить в городскую и местную пожарную охрану, поставить в известность администрацию предприятия. 2. Если $y_2 > 1$, то необходимо осмотреть помещение на наличие задымлённости, определить источник дыма и устранить его. 3. Если $0,5 < y_3 < 10 \vee 0,3 < y_4 < 1$, то необходимо отключить электроснабжение помеще-

Степень ПО помещения	Характеристика степени ПО	Решения по предотвращению пожара
		<p>ния до устранения факторов ПС и в дальнейшем устранить дефекты электрической проводки помещения, а если $y_3 > 10 \vee y_4 < 0,3$ – то отключить электроснабжение помещения до устранения дефектов проводки.</p> <p>4. Если $y_5 < 1,15 \vee y_5 > 1,35 \vee x_9 = 1$, то необходимо убедиться в отсутствии источника зажигания, и устранить утечку ЛВЖ/ГЖ в помещении – удалить тары с ЛВЖ/ГЖ из опасной зоны.</p> <p>5. Если $x_6 = 1$, то необходимо отключить все электроприборы и производственное оборудование в помещении.</p> <p>6. Если $x_7 = 1$, то необходимо убедиться в отсутствии источника зажигания и удалить тары с ЛВЖ/ГЖ из опасной зоны.</p> <p>7. Если $x_8 = 1$, то необходимо защитить помещение от «молнии» – отключить все электроприборы и производственное оборудование и, при возможности, электроснабжение помещения.</p>
Средняя ПО	$(y_1 > 30 \vee y_2 > 1 \vee y_3 > 0,5 \vee y_4 < 1 \vee x_6 = 1 \vee x_8 = 1 \vee y_5 < 1,15 \vee y_5 > 1,35 \vee x_7 = 1 \vee x_9 = 1)$	<p>1. Если $30 < y_1 < 100$, то необходимо включить кондиционер, чтобы избежать самовоспламенения горючих материалов, а если $y_1 > 100$ – то в случае пожара сообщить в городскую и местную пожарную охрану, поставить в известность администрацию предприятия.</p> <p>2. Если $y_2 > 1$, то необходимо осмотреть помещение на наличие задымлённости, определить источник дыма и устранить его.</p> <p>3. Если $y_3 > 10 \vee y_4 < 0,3$, то необходимо отключить электроснабжение помещения до устранения дефектов электрической проводки, а если $0,5 < y_3 < 10 \vee 0,3 < y_4 < 1$ – то в дальнейшем заменить проводку в помещении.</p> <p>4. Если $y_5 < 1,15 \vee y_5 > 1,35 \vee x_9 = 1$, то необходимо устранить утечку ЛВЖ/ГЖ в помещении – удалить тары с ЛВЖ/ГЖ из опасной</p>

Степень ПО помещения	Характеристика степени ПО	Решения по предотвращению пожара
		зоны. 5. Если $x_6 = 1$, то необходимо отключить все электроприборы и производственное оборудование в помещении. 6. Если $x_7 = 1$, то необходимо удалить тары с ЛВЖ/ГЖ из опасной зоны. 7. Если $x_8 = 1$, то необходимо защитить помещение от «молнии» – отключить все электроприборы и производственное оборудование и, при возможности, электроснабжение помещения.

Данная таблица положена в основу построения пользовательского интерфейса, позволяющего оператору по визуальной информации оценивать возможность возникновения пожара и принимать в режиме РВ решения по его предотвращению.

Блок 6. Передача управления супервизору.

5. Заключение

Доминирующей причиной возникновения пожаров на промышленных предприятиях является человеческий фактор – невнимательность человека, сложность оперативного анализа им факторов и условий возникновения пожароопасных ситуаций, дефицит времени на принятие решений по предотвращению пожара и др.

В связи с этим предложен алгоритм поддержки принятия решений по устранению пожароопасных ситуаций на промышленных предприятиях, который позволяет осуществлять прогнозирование значений факторов пожароопасных ситуаций, устанавливать степень пожарной опасности в помещениях предприятия и на основе этого в режиме реального времени принимать обоснованные решения по предотвращению пожара.

Этот алгоритм является эффективным средством решения задачи по обеспечению пожарной безопасности в процессе функционирования промышленных предприятий. При расширении перечня факторов возникновения пожароопасных ситуаций он

может быть использован для специфичных взрывопожароопасных производств (предприятия химической, газовой, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, лакокрасочной промышленности; деревообрабатывающие предприятия; предприятия электро- и теплоэнергетики и др.).

Литература

1. *Альянс компаний «Рубеж»* [Электронный ресурс]. – URL: <http://rubezh.ru> (дата обращения: 29.09.2014).
2. АХМЕТЗЯНОВ А.В., БАХТАДЗЕ Н.Н., ВЛАСОВ С.А. и др. *Поддержка принятия управленческих решений на основе интеллектуальной обработки и анализа данных мониторинга деятельности компании ОАО «РЖД»* // Управление большими системами. – 2012. – №38. – С. 36–50.
3. ВАСИЛЬЕВ Д.А., КОЛОКОЛОВ М.В., ИВАЩЕНКО В.А. *Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий* // Управление большими системами. – 2011. – №34. – С. 254–266.
4. ДОМНИЧ В.С., ИВАЩЕНКО В.А. *Построение базы знаний для поиска причин аварийных ситуаций при формовании листового стекла* // Управление большими системами. – 2011. – №33. – С. 218–232.
5. ДОМНИЧ В.С., ИВАЩЕНКО В.А., ПЕТРОВ Д.Ю. *Автоматизация поиска причин аварийных ситуаций при формовании листового стекла* // Проблемы управления. – 2011. – №5. – С. 52–58.
6. КОРОЛЬЧЕНКО А.Я. *Процессы горения и взрыва*. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с.
7. *НВП Бolid – Системы безопасности* [Электронный ресурс]. – URL: <http://bolid.ru> (дата обращения: 29.09.2014).
8. *Новости: Аргус-Спектр* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.argus-spectr.ru/index.php?path=ru/node/8> (дата обращения: 29.09.2014).
9. *Системы безопасности, средства охраны, сигнализации | НПО Сибирский Арсенал* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.arsenal-sib.ru> (дата обращения: 29.09.2014).
10. *Специнформатика-СИ* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.specinfo.ru> (дата обращения: 29.09.2014).

11. ТУПИКОВ Д.В., ИВАЩЕНКО В.А. *Разработка базы знаний для оперативного управления взрыво- и пожароопасным производством* // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – №3(72). – С. 133–137.

DECISION SUPPORT ALGORITHM FOR FIRE-RISK SITUATIONS ELIMINATION IN INDUSTRY

Dmitry Tupikov, Saratov State Technical University n.a. Yuri Gagarin, postgraduate student (tupikovdv@gmail.com).

Aleksandr Rezhikov, Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, director, dr.sci.tech. (iptmuran@san.ru).

Vladimir Ivaschenko, Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Leading Researcher, dr.sci.tech. (iptmuran@san.ru).

Abstract: We suggest a decision support algorithm for fire-risk situations elimination at industrial enterprises. This algorithm includes predicting values of factors of fire-risk situation and defining degree of fire-risk of production units based on a fuzzy inference system. An operator then uses an adviser system to choose actions to eliminate the fire-risk situation.

Keywords: fire-risk, fire-risk situation, prediction, neural networks, fuzzy inference system, decision support.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Н.Н. Бахтадзе*

*Поступила в редакцию 26.05.2014.
Опубликована 30.11.2014.*