

А. С. Смирнов, С. П. Сущев

**МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПРОТИВОПОЖАРНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

*Предложена методика построения моделей объектов нефтегазового комплекса и оценивания уровня противопожарного состояния отдельных структурных подразделений и объекта в целом на основе использования математического аппарата размытых классификаторов.*

**E-mail:** smirnov@igps.ru; direktor@esrc.ru

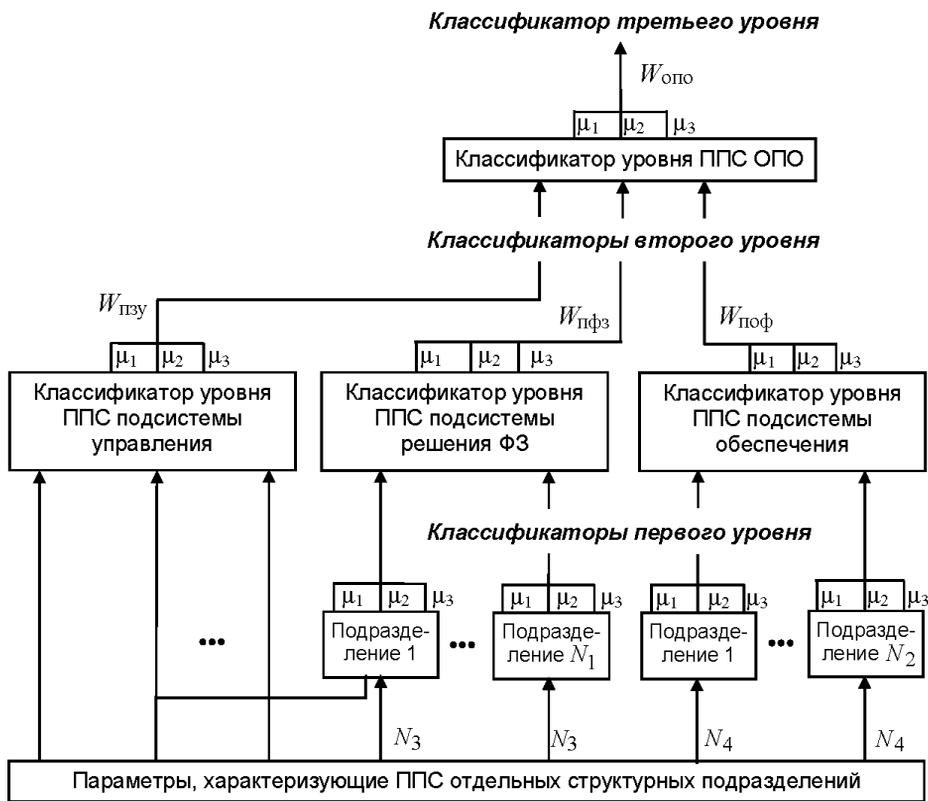
**Ключевые слова:** опасный производственный объект, противопожарное состояние, многомерный размытый классификатор, обучающая выборка, автоматизированная система диагностики и прогнозирования, база данных.

Функционирование сложных опасных производственных объектов (ОПО) нефтегазового комплекса (НГК) в условиях динамичного изменения параметров социальной среды и техносферы требует систематического измерения и анализа уровня их противопожарного состояния (ППС) для своевременного формирования соответствующих управляющих воздействий [1, 2].

Структурно-функциональный и системный анализ процесса функционирования ОПО НГК показал, что их ППС определяется не только уровнем ППС основных подсистем и структурных подразделений, входящих в состав объекта, но и условиями их взаимодействия. Связь между ППС ОПО в целом и отдельных его подсистем и структурных подразделений имеет сложный, нелинейный характер [3]. Очевидно, что в этом случае для описания образа возможных ситуаций модель ППС ОПО НГК должна быть представлена в виде иерархической совокупности однородных структур, характеризующих ППС отдельных подсистем и структурных подразделений, а также уровень влияния техносферы на пожарную безопасность ОПО НГК.

Разработанная на основе предложенной в работе [1] методики модель содержит три уровня иерархически взаимосвязанных многомерных размытых классификаторов (рис. 1).

Классификаторы первого уровня предназначены для решения задач распознавания образов ситуаций, характеризующих уровень ППС функциональных структурных подразделений  $W_{\Phi ni}$  ( $i = \overline{1, N_1}$ , где  $N_1$  — число подразделений, решающих функциональные задачи (ФЗ)) и обеспечивающих  $W_{\text{он}j}$  ( $j = \overline{1, N_2}$ , где  $N_2$  — число подразделений, решающих задачи обеспечения целевого функционирования объекта) структурных подразделений. Их число определяется номенклатурой указанных подразделений в составе объекта.



**Рис. 1. Модель для диагностики и прогнозирования ППС ОПО НГК**

Входными данными для классификаторов первого уровня служат совокупности исходных параметров  $r = \overline{1, N_3}$  и  $l = \overline{1, N_4}$  (здесь  $N_3, N_4$  — число показателей, входящих в обучающую выборку, на различных уровнях иерархии), характеризующие уровень ППС соответствующих структурных подразделений. Значения этих параметров определяются на основе требований действующих руководящих документов, регламентирующих ППС в соответствующей отрасли [2].

В результате классификации данных групп показателей определяются нечеткие оценки степеней принадлежности уровня ППС структурных подразделений  $\mu_k(W)$  ( $k = \overline{1, 3}$ ) к каждому из классов:

- класс 1 — уровень ППС высокий;
- класс 2 — уровень ППС удовлетворительный;
- класс 3 — уровень ППС неудовлетворительный.

В формализованном виде образ уровня ППС подразделений, предназначенных для решения Ф3, может быть описан следующим выражением:

$$W_{\text{фз}i} = \{ \langle W_{\text{пс}i,r} \rangle : i = \overline{1, N_1}; r = \overline{1, N_3} \},$$

где  $W_{\text{пс}i,r}$  — параметры, характеризующие ППС  $i$ -го структурного подразделения.

В этом случае оценка ППС  $i$ -го подразделения может быть представлена в виде вектора степеней принадлежности к введенным классам:

$$\mu(W_{\text{фзи}}) = \{ \langle \mu_k(W_{\text{фзи}}) \rangle : k = \overline{1, 3} \}.$$

Для структурных подразделений обеспечения целевого функционирования ОПО НГК аналогичные выражения примут вид

$$W_{\text{офj}} = \{ \langle W_{\text{псj,l}} \rangle : j = \overline{1, N_2}; l = \overline{1, N_4} \};$$

$$\mu(W_{\text{офj}}) = \{ \langle \mu_k(W_{\text{офj}}) \rangle : k = \overline{1, 3} \}.$$

Классификаторы второго уровня предназначены для оценивания уровня ППС подсистемы решения задач управления  $W_{\text{пзу}}$ , подсистемы решения ФЗ  $W_{\text{пфз}}$  и подсистемы обеспечения целевого функционирования  $W_{\text{поф}}$ .

Входными данными для классификаторов второго уровня служат векторы нечетких оценок степеней принадлежности, характеризующие уровни ППС структурных подразделений соответствующих подсистем:

$$W_{\text{пфз}} = \{ \langle \mu_i(W_{\text{фзи}}) \rangle : i = \overline{1, N_1} \};$$

$$W_{\text{поф}} = \{ \langle \mu_j(W_{\text{офj}}) \rangle : j = \overline{1, N_2} \}.$$

В результате обработки указанных данных на выходе классификаторов формируются векторы нечетких оценок степеней принадлежности уровня ППС соответствующих подсистем к каждому из перечисленных классов:

$$\mu(W_{\text{пфз}}) = \{ \langle \mu_k(W_{\text{пфз}}) \rangle : k = \overline{1, 3} \};$$

$$\mu(W_{\text{поф}}) = \{ \langle \mu_k(W_{\text{поф}}) \rangle : k = \overline{1, 3} \}.$$

Классификатор третьей ступени осуществляет окончательное решение задачи определения степеней принадлежности уровня ППС ОПО НГК к классам 1–3.

На вход данного классификатора подаются все значения степеней принадлежности к заданным классам, сформированные на выходах классификаторов второго уровня:

$$W_{\text{опо}} = \{ \langle \mu_k(W_{\text{пзу}}), \mu_k(W_{\text{пфз}}), \mu_k(W_{\text{поф}}) \rangle : k = \overline{1, 3} \},$$

а выходной вектор нечетких оценок степеней принадлежности уровня ППС ОПО НГК к соответствующему классу имеет вид

$$\mu(W_{\text{опо}}) = \{ \langle \mu_k(W_{\text{опо}}) \rangle : k = \overline{1, 3} \}.$$

В соответствии с алгоритмом многомерной размытой классификации [1] для обеспечения функционирования разработанной модели каждый многомерный классификатор, входящий в ее состав, должен

быть наполнен априорными данными об исследуемом объекте, репрезентативно и представительно отражающими множество принимаемых решений о его состоянии на данном этапе обработки информации. Априорные данные представляют собой обучающую выборку (ОВ), описываемую кортежем вида:

$$W = \{ \langle \bar{X}_i, \mu_k(\bar{X}_i) \rangle : i = \overline{1, N}; k = \overline{1, 3} \},$$

где  $\bar{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ig}, \dots, x_{iG})$  ( $g = \overline{1, G}$ ) — вектор параметров (в общем виде количественно-качественных), описывающих  $i$ -й объект в ОВ; ( $G$  — число параметров, используемых для описания объектов);  $\mu_k(\bar{X}_i)$  — степень принадлежности  $i$ -го объекта к  $k$ -му классу, определенная на множестве принимаемых решений об уровне ППС объекта;  $N$  — число объектов в обучающей выборке.

В общем случае обучающая выборка может быть представлена в виде табл. 1.

Таблица 1

**Обучающая выборка классификатора**

Номер объекта ОВ	Нормированные значения параметров объектов ОВ						Степени принадлежности объектов к классам		
	$x_1$	$x_2$	...	$x_g$	...	$x_G$	$\mu_1(X_i)$	$\mu_2(X_i)$	$\mu_3(X_i)$
1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1g}$	...	$x_{1G}$	$\mu_1(X_1)$	$\mu_2(X_1)$	$\mu_3(X_1)$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2g}$	...	$x_{2G}$	$\mu_1(X_2)$	$\mu_2(X_2)$	$\mu_3(X_2)$
3	$x_{31}$	$x_{32}$	...	$x_{3g}$	...	$x_{3G}$	$\mu_1(X_3)$	$\mu_2(X_3)$	$\mu_3(X_3)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$N$	$x_{N1}$	$x_{N2}$	...	$x_{Ng}$	...	$x_{NG}$	$\mu_1(X_i)$	$\mu_2(X_i)$	$\mu_3(X_i)$

Работа информационной модели осуществляется в два этапа. На первом этапе определяются параметры аппроксимирующей поверхности. Они могут быть представлены в виде кортежа

$$V = \{ \langle \lambda, V_{k\alpha} \rangle : k = \overline{1, 3}; \alpha \in [0, 1] \},$$

где  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_g, \dots, \lambda_G)$  ( $g = \overline{1, G}$ ) — вектор весовых коэффициентов расстояний между одноименными параметрами  $x \in X$  классифицируемого объекта и объекта, определенного на основе алгоритма безразмерного шкалирования во множестве объектов ОВ в качестве базового;  $V_\alpha = (v_{1\alpha}, v_{2\alpha}, v_{3\alpha})$  — вектор центров классов;  $\alpha$  — уровень четкости представления знаний, изменяющийся дискретно в интервале  $[0, 1]$ .

В общем виде результаты первого этапа работы информационной модели могут быть представлены в табл. 2.

Практическая реализация этапов функционирования разработанной информационной модели невозможна вне концепции автоматиза-

**Расчетные значения центров классов и весовых коэффициентов для различного уровня представления знаний**

Уровень четкости представления знаний		Расчетные значения центров классов			Расчетные значения весовых коэффициентов			
		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	...	$\lambda_G$
$\alpha_1$	0,1	$V_1\alpha_1$	$V_2\alpha_1$	$V_3\alpha_1$	$\lambda_1\alpha_1$	$\lambda_2\alpha_1$	...	$\lambda_G\alpha_1$
$\alpha_2$	0,2	$V_1\alpha_2$	$V_2\alpha_2$	$V_3\alpha_2$	$\lambda_1\alpha_2$	$\lambda_2\alpha_2$	...	$\lambda_G\alpha_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\alpha_9$	0,9	$V_1\alpha_9$	$V_2\alpha_9$	$V_3\alpha_9$	$\lambda_1\alpha_9$	$\lambda_2\alpha_9$	...	$\lambda_G\alpha_9$

ции данного процесса. Поэтому оценивание ППС ОПО НГК на основе предложенной информационной модели целесообразно осуществлять в рамках специализированной автоматизированной системы, способной решать следующие основные задачи.

1. Синтез структур иерархически связанных между собой многомерных размытых классификаторов, отражающих иерархию процессов отдельных подразделений и подсистем исследуемой ОПО НГК.

2. Формирование ОВ для всех классификаторов иерархии, в совокупности образующих базу знаний системы.

3. Расчет параметров шкал классификации для всех классификаторов иерархии.

4. Оценивание достоверности данных в ОВ классификаторов.

5. Распознавание входной информации и классификация образа уровня ППС исследуемого ОПО НГК.

Проведенный анализ научно-технической и специальной литературы по проблемам автоматизации выработки решения о принадлежности исследуемых объектов к какому-либо классу с использованием интеллектуальных систем показал, что единого подхода к разработке таких систем пока не существует, а традиционные методы распознавания и классификации объектов и реализованные на их основе известные автоматизированные системы имеют ряд недостатков:

— отсутствует учет неопределенности обрабатываемой информации об исследуемых объектах и воздействующих дестабилизирующих факторах;

— не учитываются особенности многоцелевого характера принимаемых решений о классификации объекта;

— большинство подходов к разработке интеллектуальных систем базируется на частных моделях контроля компонентов исследуемых объектов;

— сложность процесса коррекции параметров алгоритмов классификации объектов при изменении условий классификации, что требует

постоянного участия разработчиков программного обеспечения автоматизированных систем.

В определенной мере последний недостаток отсутствует у производственных экспертных систем из-за простоты и наглядности процедуры модификации производственных правил, а также благодаря использованию коэффициента доверия.

Вместе с тем использование производственных экспертных систем для решения задач распознавания имеет существенные ограничения вследствие невозможности классификации объектов с иерархической структурой, характеризующихся нечеткими признаками и представляемых в форме целостных образов.

Следовательно, для решения задачи оценивания ППС ОПО НГК использование в полной мере существующих автоматизированных систем без существенной их доработки не представляется возможным.

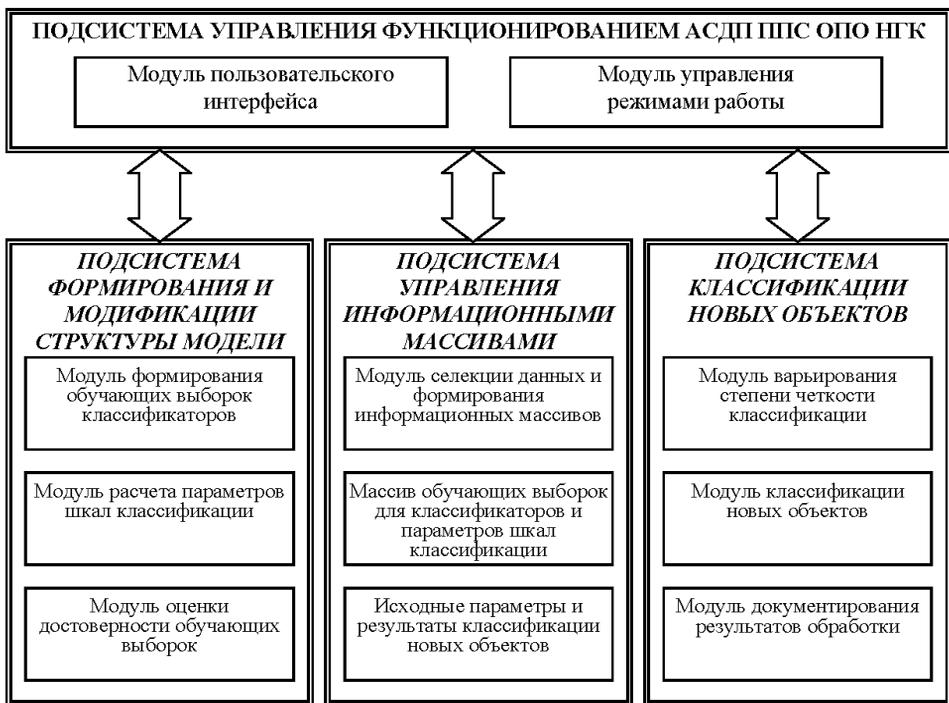
Поэтому весьма актуальна задача разработки структуры и программно-алгоритмического обеспечения автоматизированной системы, обеспечивающей в полном объеме реализацию всех этапов функционирования разработанной информационной модели.

В ходе проведенных исследований была синтезирована структурно-функциональная схема автоматизированной системы диагностики и прогнозирования (АСДП) уровня ППС ОПО НГК и программно реализованы основные ее компоненты. Анализ функционирования разработанной системы и контрольные расчеты, выполненные на ее основе, показали, что предлагаемая система способна корректно решать стоящие перед ней задачи и полностью отвечает предъявляемым к ней требованиям.

Структурно-функциональная схема АСДП ППС ОПО НГК представлена на рис. 2. Она имеет открытую модульную структуру, позволяющую достаточно легко и оперативно вносить в нее необходимые изменения путем добавления новых модулей или корректировки имеющихся. Функционально законченные процедуры обработки данных в АСДП ППС ОПО НГК реализуются совокупностями модулей, объединенных в соответствующие подсистемы.

Проанализируем состав подсистем и их функциональное назначение. В соответствии со структурно-функциональной схемой и алгоритмом функционирования разработанной модели в АСДП ППС ОПО НГК можно выделить следующие подсистемы.

**Подсистема управления функционированием АСДП ППС ОПО НГК** содержит модули пользовательского интерфейса и управления режимами работы. Она предназначена для организации в удобной для восприятия форме информационного обмена между исследователем и всеми элементами системы, а также по командам пользователя обеспечивает конфигурирование системы для работы в подготовительном режиме (обработка априорной информации из ОВ классификаторов) или



**Рис. 2. Структурная схема АСДП ППС ОПО НГК**

в режиме классификации новых объектов (оценивание уровня ППС исследуемого ОПО НГК).

**Подсистема формирования и модификации иерархической структуры модели** содержит модули управления подсистемой и взаимодействия с базой данных (БД), формирования априорного алфавита классов и словаря признаков исследуемого объекта, формирования ОВ, расчета параметров шкал классификации и оценки достоверности ОВ. Такая подсистема является основной в подготовительном режиме функционирования АСДП ППС ОПО НГК и позволяет путем обработки априорных данных из ОВ рассчитать параметры информационной модели, необходимые для классификации новых объектов.

**Подсистема расчета и анализа расстояний между образами объектов и эталоном** является вспомогательной. Она содержит модули распознавания формы представления данных и оценки расстояний. Подсистема используется в подготовительном режиме функционирования АСДП ППС ОПО НГК и позволяет оценивать расстояние между образами объектов, представленными в цифровой, нечеткой цифровой формах, последовательностями чисел, бинарными множествами, нечеткими множествами, распределенными параметрами с вероятностным или нечетким распределением, строковыми образами, предложениями естественного языка, четкими и нечеткими логическими конструкциями.

**Подсистема классификации новых объектов** содержит модуль управления подсистемой и взаимодействия с распределенной БД, модуль варьирования степени четкости классификации, модуль классификации новых объектов (расчета степеней принадлежности исследуемого объекта к заданным классам), модуль документирования результатов классификации. Данная подсистема является основной при функционировании АСДП ППС ОПО НГК в режиме классификации. Она позволяет определять степени принадлежности уровня ППС ОПО НГК к заданным классам.

**База данных** представляет собой совокупность массивов данных, содержащих ОВ для всех классификаторов информационной модели, массивов описания классов и параметров, характеризующих объекты исследования, параметры базовых объектов в ОВ, параметры шкал классификации, исходные признаки и результаты классификации уровня ППС исследуемого ОПО НГК.

**Подсистема управления БД** включает в себя модули селекции данных и управления поиском и формированием информационных массивов. Данная подсистема используется во всех режимах функционирования АСДП ППС ОПО НГК и выполняет сервисные функции.

**Выводы.** Разработанная структура автоматизированной системы и реализованная на ее основе многоуровневая иерархическая модель позволяют проводить анализ степени влияния внутренних и внешних факторов, представленных в нечеткой расплывчатой форме, на уровень ППС сложных ОПО НГК в условиях динамического изменения параметров среды их функционирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов В. С., Смирнов А. С., Сметанин Ю. В., Буль А. В. Математическое моделирование потенциально опасных систем // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС РФ. – 2006. – № 15. – С. 160–162.
2. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: Нормативный Документ Госгортехнадзора РФ РД 03-418-01 от 10.07.01 № 30. – Введен 01.10.2001.

Статья поступила в редакцию 28.10.2011

Алексей Сергеевич Смирнов родился в 1975 г., в 1998 г. окончил Санкт-Петербургский институт пожарной безопасности МВД России. Канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС РФ по информационным технологиям и информационной безопасности. Автор 40 научных работ в области пожарной безопасности объектов.

A.S. Smirnov (b. 1975) graduated from the St. Petersburg Institute for Fire Safety of the RF Ministry for Home Affairs in 1998. Ph. D. (Eng.), assoc. professor. Deputy head of the St. Petersburg University for Information Technologies and Data Security of the RF Ministry for Emergency Situations. Author of 40 publications in the field of fire safety of objects.



Сергей Петрович Сушев родился в 1958 г., окончил в 1976 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, профессор, директор Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций НОЦ ИЭС МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

S.P. Sushchev (b. 1958) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1976. D. Sc. (Eng.), professor. Director of the Scientific and Educational Center of Extremal Situation Study of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of theory of risks, mechanics of destruction, industrial safety and exploitation of dangerous industrial objects.

