

УДК 614.849

otrid@rambler.ru

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ****CONCEPTUAL METHODOLOGY FOR ENSURING FIRE SAFETY  
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

*Королёв Д. С., кандидат технических наук,  
Воронежский государственный  
технический университет, Воронеж*

*Korolev D. S.,  
Voronezh state technical university, Voronezh*

В статье проводится анализ основных налоговых резидентов Российской Федерации. Отмечено, что основной вклад в бюджет страны вносит нефтегазовый сектор (около 50 %). Однако на сырьевую экономику России влияют различные факторы, в том числе санкционные. Поэтому нефтегазодобытчикам необходимо развивать нефтегазовую отрасль путем внедрения инновационных технологий.

Стоит отметить, рассматриваемая отрасль является одной из наиболее взрывопожароопасной, следовательно требует пристального внимания с точки зрения обеспечения пожарной безопасности. Таким образом, автором статьи показана иерархия управления нефтегазовым комплексом, предложена концептуальная методология обеспечения пожарной безопасности путем применения интеллектуального способа прогнозирования пожароопасных свойств веществ продуктов нефтепереработки при помощи молекулярных дескрипторов и искусственных нейронных сетей.

*Ключевые слова:* молекулярные дескрипторы, искусственные нейронные сети, пожарная безопасность, нефтегазовый комплекс, иерархия.

The scientific article analyzes the main tax residents of the Russian Federation. It was noted that the main contribution to the country's budget is made by the oil and gas sector (about 50 %). However, various factors, including sanctions, affect the Russian raw materials economy. Therefore, oil and gas producers need to develop the oil and gas industry through the introduction of innovative technologies.

It is worth noting that the industry in question is one of the most explosive and fire hazardous, and, therefore, requires close attention from the point of view of ensuring fire safety. Thus, the author of the article shows the hierarchy of controlling the oil and gas complex, proposes a conceptual methodology for ensuring fire safety by using an intelligent method for predicting the fire hazard properties of substances in oil products using molecular descriptors and artificial neural networks.

*Keywords:* molecular descriptors, artificial neural networks, fire safety, oil and gas complex, hierarchy.

Основным драйвером экономического развития Российской Федерации является нефтегазовая отрасль. Поэтому неудивительно, что запущенные Западом санкции были направлены на этот сектор экономики. Основная цель – это создание проблем с применением технологий, которые в России в тот момент еще не получили должного развития и без которых российский топливно-энергетический комплекс (далее – ТЭК) должен был потерять лидерство на мировом рынке углеводородов и продуктов их переработки. В частности, санкционные ограничения коснулись освоения труднодоступных ресурсов, залежей сланцевой нефти, а также разра-

ботки глубоководных месторождений в Арктике, то есть тех проектов, с которыми во многом связывается будущее нефтегазовой отрасли страны.

Исследования экономистов подтверждают сохранение высокой степени доминирования нефтегазового сектора в налоговых сборах. Во многом это связано с концентрацией капитала – она такова, что в России почти нет нефтегазового бизнеса, который можно назвать средним или крупным, остались только «супергиганты» («Газпром», «Роснефть», «Лукойл» и др.). На рис. 1 представлено распределение налоговых отчислений компаний из ТОП-50 по секторам экономики.

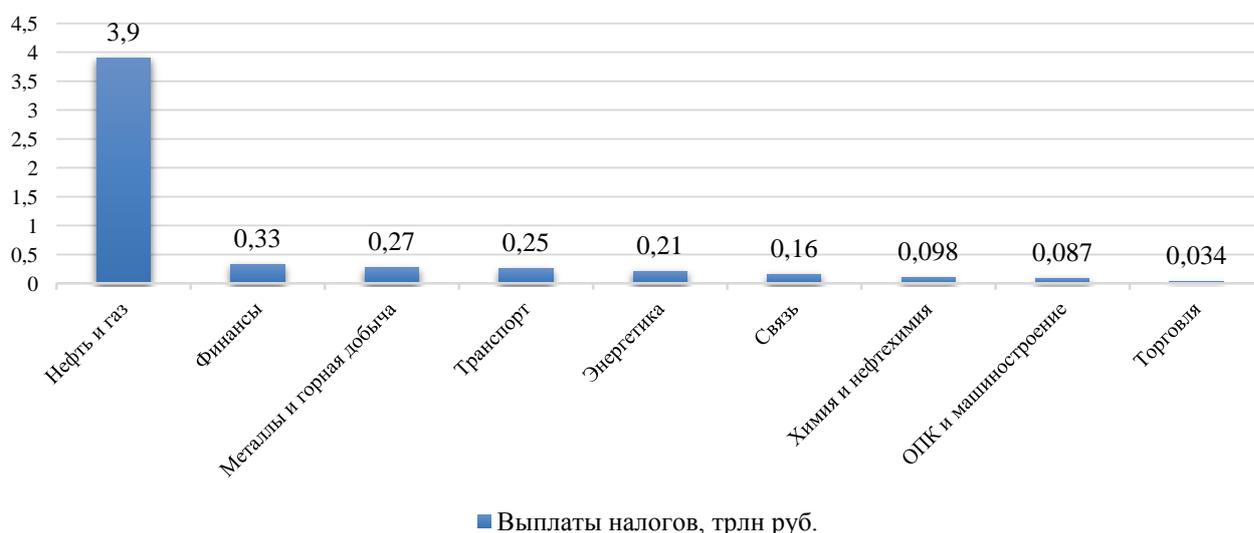


Рисунок 1. Распределение налоговой базы по секторам экономики

Анализируя диаграмму, представленную на рис. 1, можно отметить, что вторым, после нефтегазового сектора, по объему собираемых налогов стал финансовый сектор. Здесь учитывались результаты не только банков, но и не банковских организаций, в частности страховые компании. На третьем месте расположился сектор металлов и горной добычи, крупнейшим налогоплательщиком является «Норникель».

Таким образом, сырьевая экономика России играет большую роль в развитии страны, но сама по себе является за-

висимой от многих факторов: санкций, курса валют и др.

С каждым годом в решении этой проблемы все большую поддержку оказывают отечественные машиностроители, государство, а в соответствии с Указом президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» определены основные цели развития страны, среди которых можно выделить некоторые: ускорение технологического развития Российской Федерации, увели-

чение количества организаций, осуществляющих технологические инновации, внедрение цифровых технологий [1]. Вследствие чего, уже в 2019 году был создан научно-технический базис, позволивший модернизировать нефтегазовую отрасль экономики, технологический прогресс во всей производственной цепочке добычи нефти и газа. Это позволило нефтегазовому ТЭК выдержать удар, а нефтегазодобытчикам удалось сохранить высокие объемы добычи нефти и газа и свое место на мировых рынках этих продуктов.

Стоит отметить, что создание умного нефтегазового комплекса требует нового мышления и технологий. Это связано в первую очередь с тем, чтобы сделать добычу нефтегазовых ресурсов эффектив-

ной, интегрированной и экологически чистой. Причем интеллектуальный нефтегазовый комплекс должен быть ориентирован на существенный рост производительности труда, сокращение трудовых и материальных ресурсов, снижение капитальных и эксплуатационных затрат. Не стоит забывать и о том, что нефтегазовая отрасль является взрывопожароопасной, следовательно, наряду с внедрением инновационных технологий в технологический процесс, необходимо применять интеллектуальные способы обеспечения пожарной безопасности.

На рис. 2 представлена концепция построения иерархической системы управления нефтегазовым комплексом.

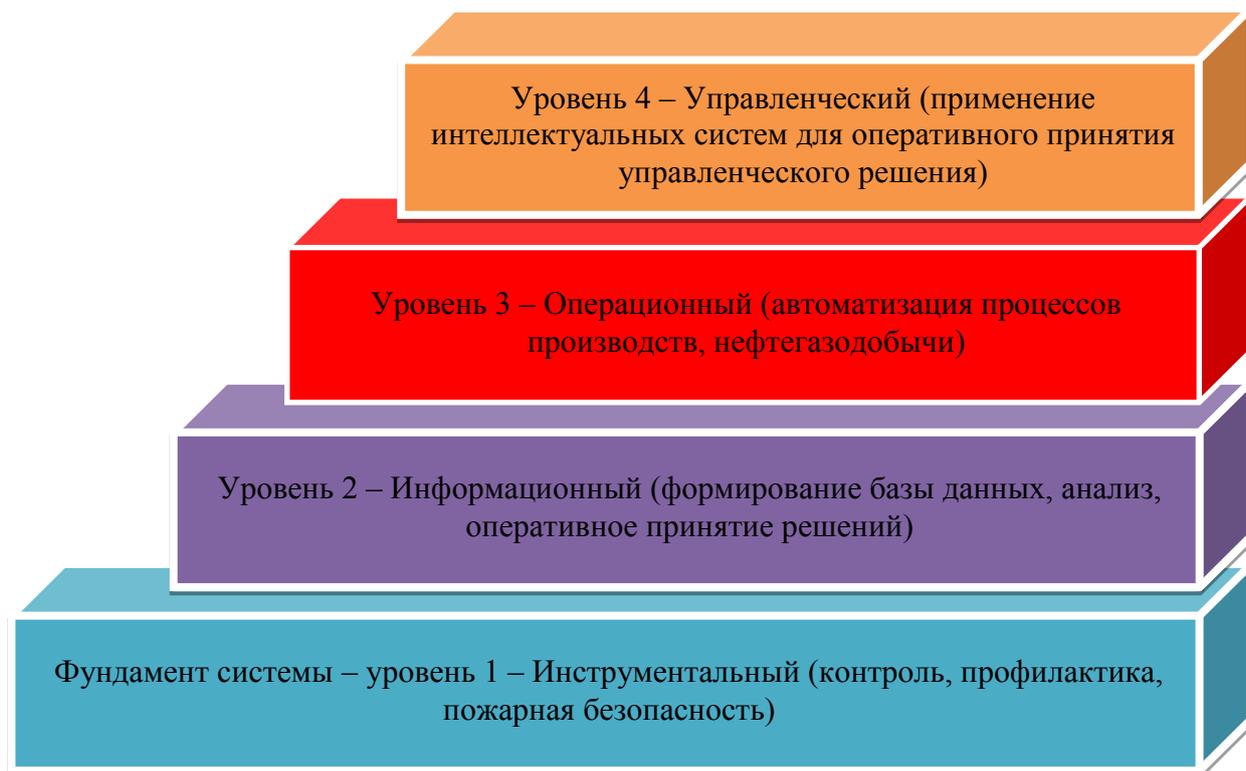


Рисунок 2. Иерархия управления нефтегазовым комплексом

Таким образом, анализируя концепцию управления интеллектуальным нефтегазовым комплексом, заметим, что базой является своевременный контроль и обеспечение пожарной безопасности. Это позволит исключить материальный ущерб

и человеческие жертвы при внедрении и апробации инновационных технологий.

Согласно сведениям государственного реестра Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), на террито-

рии Российской Федерации в период 2015–2019 гг. произошло 329 аварий на объектах нефтегазового комплекса. Результатом чего стало появление целого комплекса экономических, экологических и социальных проблем. Для их деактуализации необходимо принятие оперативных управленческих решений.

В качестве технического решения проблемы выступает разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования, конструкций, зданий и сооружений, чему соответствует современный способ прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки на основе молеку-

лярных дескрипторов и искусственных нейронных сетей [2].

В основу концепции предлагаемого способа прогнозирования заложен принцип компьютерного моделирования пожароопасных свойств веществ при помощи оригинальной компьютерной программы «Нейропакет КДС 2.0» [2, 3].

В основу работы программы заложен модифицированный алгоритм, в котором используется полносвязная нейронная сеть, т. е. сеть, состоящая из нескольких слоев нейронов, причем каждый нейрон слоя  $i$  связан с каждым нейроном слоя  $i+1$ . Такой подход позволяет создать многослойный персептрон, а для обучения искусственной нейронной сети применяется алгоритм обратного обучения ошибки. На рис. 3 представлена схема алгоритма.

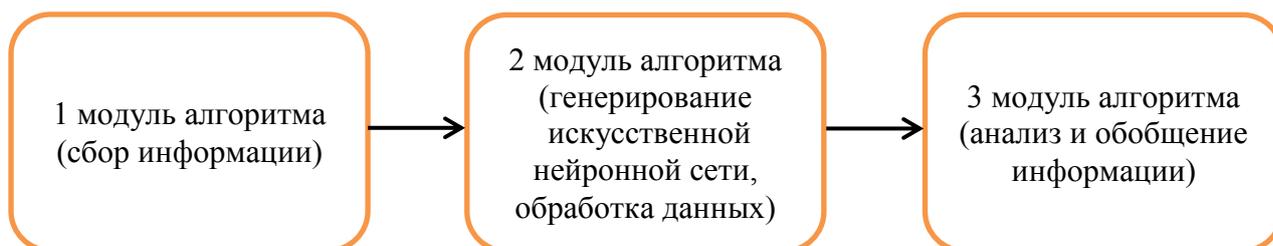


Рисунок 3. Схема трехуровневого алгоритма

*1. Модуль сбора информации.* Для обучения формировали выборку из веществ, содержащихся в базе данных. Совокупность входных данных загружается из файла, создаваемого пользователем по результатам работы. В процессе обучения возможно изменение управляющих параметров алгоритма обучения: выбор способа нормализации, скорости обучения (величина шага при обучении весов), коэффициента инерции и ряда других. После окончания этапа обучения это вещество добавляется в классификационную базу данных программы, и устройство готово к основному режиму работы.

*2. Обработка данных.* Этот модуль предназначен для тестирования эффективности работы искусственной нейронной сети. По результатам оценки эффек-

тивности работы сети программа выдает сообщение, информирующее пользователя об успешном или неудачном обучении нейронной сети. При успешном обучении НС, программа предлагает пользователю поместить результаты обучения в общую базу данных.

*3. Анализ и обобщение информации.* Для проведения анализа органических соединений необходимо установить соответствующие настройки сети, сохраненные после обучения. Результат выполнения программы формируется в виде отчета, содержащего сведения об исследуемом веществе, и на выходе получаем тот пожароопасный показатель, необходимый для разработки систем обеспечения пожарной безопасности.

Это позволяет определить различные пожароопасные показатели органических соединений в режиме реального времени, без проведения сложного технологического процесса (эксперимента), а также возможно определение свойств не синтезированных веществ. Полученные сведения позволят разработать комплекс технических решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности в нефтегазовой отрасли [3].

В качестве примера, осуществим прогнозирование температуры вспышки. Выбор такого пожароопасного показателя обусловлен несколькими факторами. Это наличие широкой базы экспериментальных данных, а также использование его при категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, определении класса зоны помещений.

Объектом исследования выбраны органические кислородсодержащие вещества, содержащие аминогруппу (амины и амиды карбоновых кислот).

Так, амины и амиды применяются в нефтегазовой отрасли в качестве растворителя для очистки бензина от меркапта-

нов, а также при выделении толуола как реагент в борьбе с гидратообразованием и, частично, как реагент для осушки природного газа, а также в качестве ингибитора гидратов, образующихся в газопроводах, высокооктановой добавки к топливу, которая повышает мощность двигателя, резко снижая при этом количество выхлопных газов.

В то же время рассматриваемые вещества являются очень токсичными, а некоторые из них канцерогенными, что создает некоторые трудности при работе с такими соединениями при определении пожароопасных показателей, следовательно невозможна разработка системы обеспечения пожарной безопасности.

Для каждого из исследуемых соединений рассчитан набор дескрипторов, включающий конституциональные и электростатические дескрипторы, топологические и геометрические индексы, дескрипторы частично заряженной площади поверхности, содержащиеся в базе данных [4]. В ходе исследований установлено, что достаточной информативностью обладают следующие дескрипторы (таблица 1).

Таблица 1  
Характеристика молекулярных дескрипторов

Название дескриптора	Обозначение	Характеристика
<i>Индекс Винера</i>	$W$	Описывает только скелет молекулы без учета вида атомов, присутствующих в ней. Учитывает количество и положение ответвлений от основной углеродной цепи
<i>Индекс Рандича</i>	$\chi$	Учитывает количество разветвлений в молекулах и повышается с увеличением их числа и длины углеродной цепи
<i>Гравитационный индекс (все пары)</i>	$G_p$	Определяется только составом вещества и имеет одинаковые значения для всех изомеров
<i>Гравитационный индекс (все связи)</i>	$G_b$	Учитывает виды атомов, входящих в состав соединения, характеризует как строение скелета молекулы, так и положение функциональной группы
<i>Площадь поверхности</i>	$S_M$	Характеризует скелет молекулы, уменьшается при ее разветвлении
<i>Молекулярный объем</i>	$V_M$	Зависит от наличия и количества разветвлений в структуре молекулы
<i>Частично положительно заряженная площадь</i>	$PPSAI$	Объединяет информацию о площади поверхности молекулы и частичных зарядах на атомах

В ходе анализа выявлено, что все приведенные в таблице 1 дескрипторы характеризуются достаточно высокой корреляцией с температурой вспышки, причем только для индекса Винера эта взаимосвязь удовлетворительно описывается степенной функцией, а для остальных дескрипторов носит линейный характер.

Для прогнозирования температуры вспышки необходимо использовать специальный набор описывающих нейросетевые модели статистических характеристик, значения которых, в отличие от значений весовых коэффициентов нейросетей, почти не меняются при перестроении моделей, слабо зависят от числа скрытых нейронов и вполне могут быть использованы для интерпретации нейросетевых моделей. Более того, с их помощью можно анализировать соотношения «структура-свойство» и «структура-активность», которые обычно невозможно извлечь при помощи стандартных статистических подходов и которые могут быть важны для понимания соответствующих физико-химических свойств веществ [5].

Пусть функция  $f$  линейна по переменным  $x$  и  $y$ :

$$f(x, y) = a \cdot x + b \cdot y + c.$$

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  такой функции могут быть найдены по методу множественной линейной регрессии исходя из известных значений  $x$ ,  $y$  и  $f$  для набора описываемых ими объектов (точек). Влияние  $x$  на  $f$  описывается при помощи коэффициента  $a$ , представляющего собой значение частной производной функции  $f$  по отношению к переменной  $x$ , причем оно одинаково для всех объектов.

По аналогии, влияние  $y$  на  $f$  выражается посредством коэффициента  $b$ , равного одинаковым значениям частной производной функции  $f$  по отношению к переменной  $y$  на всех  $N$  объектах выборки.

Таким образом, уравнение линейной регрессии может быть интерпретировано при помощи регрессионных коэффициентов  $a$  и  $b$ , выражающих влияние соответствующих переменных на значение функции. Заметим, что основная идея подхода состоит в использовании статистических характеристик, основанных на коэффициентах в разложении функции по Тэйлору – Маклорену. В таблице 2 представлены аппроксимационные зависимости, которые будут реализованы объектно-ориентированным продуктом, моделирующим работу искусственных нейронных сетей [6].

Таблица 2  
Аппроксимационные уравнения для прогнозирования  $T_{всп}$

Класс соединений	Уравнение для прогнозирования $T_{всп}$ , К	$R^2$
Первичные алифатические амины	$T_{всп} = 189,835 + 0,074G_b + 0,28S_M - 0,118V_M + 0,123PPSA1$	0,9976
Вторичные алифатические амины	$T_{всп} = 172,8 + 0,582S_M$	0,991
Третичные алифатические амины	$T_{всп} = 191,467 + 14,122\chi + 0,753G_b - 0,153G_p + 0,191S_M - 2,471V_M$	0,9943
Первичные бензоламины	$T_{всп} = 291,8 + 0,52V_M$	0,9950
Вторичные бензоламины	$T_{всп} = 303,1 + 0,322S_M$	0,9871
Третичные бензоламины	$T_{всп} = 254,8W^{0,07}$	0,9690

Первичные фенилалкиламины	$T_{всп} = 256,518 - 9,737W^{0,4357} + 0,036G_b + 0,435S_M + 0,251PPSAI$	0,9466
Третичные алифатические амиды	$T_{всп} = 296,255 + 0,716S_M - 0,634V_M + 0,061PPSAI$	0,9993

Проведена корреляция между экспериментальными и спрогнозированными значениями температуры вспышки для алифатических аминов. Прогнозирование температур вспышки соединений осуществлялось при помощи молекулярных де-

скрипторов и искусственных нейронных сетей, реализуемых компьютерной программой. В таблице 3 приведены результаты апробации для гомологического ряда третичных алифатических амидов.

Таблица 3  
Результаты апробации способа прогнозирования  $T_{всп}$

Название соединения	$T_{всп}$ , К		$\Delta T$ , К
	Справочная	Расчетная	
N,N-диэтилметанамид	338,15	339,97	1,8
N,N-диметилэтанамид	336,15	330,18	5,9
N,N-диэтилпропанамид	346,15	350,39	4,2
N,N-диизопропилэтанамид	348,15	351,02	3,9
N,N-дипропилэтанамид	351,15	352,01	0,8
N,N-дипропилметанамид	357,15	353,46	3,6
N,N-дибутилпропанамид	365,65	376,57	10,9
N,N-дибутилэтанамид	380,15	376,39	3,7
N,N-диэтилодеканамид	–	430,12	–
N,N-диэтилоктадеканамид	–	490,77	–
Среднее абсолютное отклонение, К			5,5
Средняя квадратическая погрешность, К			6,4

Из данных таблицы 3 следует, что способ прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки на основе молекулярных дескрипторов и искусственных нейронных сетей позволяет с удовлетворительной точностью оценить температуру вспышки исследуемых соединений, но и другие показатели вещества.

Наибольшее значение средней квадратичной погрешности составляет ~10 К (°С), что ниже погрешности стандартного метода расчета температу-

ры вспышки (ГОСТ 12.1.044–89\*). Среднее абсолютное отклонение не превышает 8 К (°С). Преимуществами предлагаемого метода прогнозирования температуры вспышки являются его простота и удовлетворительная точность, а также отсутствие необходимости использования дополнительных экспериментальных данных [7].

Кроме того, полученные значения позволяют провести категорирование помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, определить классы зон поме-

щений и тем самым разработать комплекс мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности объектов нефтегазовой отрасли.

#### Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473> (01.02.2020).
2. Королев Д. С., Калач А. В., Сорокина Ю. Н. Сравнительный анализ способов прогнозирования физико-химических свойств веществ // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2016. № 1. С. 78–84.
3. ГОСТ 12.1.044–89\*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
4. База данных химических соединений PubChem. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/search> (01.02.2020).
5. Королев Д. С., Калач А. В., Каргашиллов Д. В. Прогнозирование температуры вспышки с помощью нейропакета КДС 1.0 на примере сложных эфиров масляной кислоты // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 3. С. 21–26. DOI:10.18322/PVB.2016.25.03.21-26.
6. Королев Д. С. Выбор температурного класса взрывозащищенного электрооборудования при проектировании производственных помещений с использованием дескрипторов и нейронных сетей // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. № 1 (14). С. 27–31.
7. Королев Д. С., Калач А. В. Прогнозирование пожароопасных свойств веществ: монография. Воронеж, 2018. 100 с. ISBN 978-620-2-07440-7.

#### References

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 No. 204 «On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period until 2024». URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473> (01.02.2020).
2. Korolev D. S., Kalach A. V., Sorokina YU. N. Sravnitel'nyj analiz sposobov prognozirovaniya fiziko-himicheskikh svoystv veshchestv // Vestnik universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. 2016. № 1. P. 78–84.
3. State standard 12.1.044–89\*. System of occupational safety standards. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their definition (in Russ.).
4. Baza dannyh himicheskikh soedinenij PubChem. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/search/> (data obrashcheniya (01.02.2020).
5. Korolev D. S., Kalach A. V., Kargashilov D. V. Prognozirovaniye temperatury vspyshki s pomoshch'yu neyropaketa KDS 1.0 na primere slozhnykh efirov maslyanoy kisloty // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. T. 25. № 3. P. 21–26. DOI:10.18322/PVB.2016.25.03.21-26.
6. Korolev D. S. Vybor temperaturnogo klassa vzryvozashchishchennogo elektrooborudovaniya pri proyektirovaniy proizvodstvennykh pomeshcheniy s ispol'zovaniyem deskriptorov i neyronnykh setey // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2015. № 1 (14). P. 27–31.
7. Korolev D. S., Kalach A. V. Prognozirovaniye pozharoопасnykh svoystv veshchestv: monografiya. Voronezh, 2018. 100 p. ISBN 978-620-2-07440-7.