

УДК 621.515

**ФОРМИРОВАНИЕ СОВОКУПНОСТИ ПАРАМЕТРОВ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ  
ОПАСНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА**

**FORMING OF TECHNOLOGICAL FLOWS PARAMETERS LIST  
DETERMINED THE FIRE RISK**

**Китаев С.В., Байков И.Р., Смородова О.В., Сергеева К.В.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация**

**S.V. Kitaev, I.R. Baikov, O.V. Smorodova, K.V. Sergeeva**

**Ufa State Petroleum Technological University,  
Ufa, Russian Federation**

**e-mail: olga\_smorodova@mail.ru**

**Аннотация.** Нефтеперерабатывающее производство представляет собой весьма вероятный источник техногенной угрозы для человека и окружающей среды. Для исключения возникновения аварийных инцидентов необходимо целевое инвестирование перерабатывающих установок и прочих производств на нужды промышленной безопасности. При составлении планов финансирования мероприятий необходимо выявление наиболее опасных узких мест в технологической цепочке завода с точки зрения опасности пожара или взрыва. Идентификация наиболее критичных звеньев технологического процесса возможна ранжированием установок по параметрам опасных веществ, обращающихся в оборудовании и трубопроводах.

Показано, что процесс развития горения опасного вещества претерпевает несколько стадий: возникновение пожара, развитие и

распространение горения, идентификация последствий и их ликвидация. На разных стадиях пожара или взрыва критериями опасности служат различные показатели. Статья посвящена формированию банка параметров, определяющих стадию возникновения пожара или взрыва. Предложенный метод – принятие решений методом Саати качественным попарным сравнением параметров – реализован на примере одного из нефтеперерабатывающих заводов Республики Башкортостан. В процессе нефтепереработки на заводе обращаются около 20 видов опасных веществ общим количеством около 366 тыс. т.

На основе Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ сформулирован перечень параметров из 16 наименований, определяющих пожарную опасность технологических потоков в жидком и газообразном агрегатном состоянии. Полученный перечень оптимизирован для стадии возникновения пожара или взрыва. С помощью корреляционного анализа исключены параметры, находящиеся в парной однозначной связи уровня значимости 95 %.

Сформированная выборка из 4-ех независимых параметров опасных веществ ранжирована методом парных сравнений и линейной свертки. Установлены коэффициенты важности каждого независимого параметра.

**Abstract.** Oil refineries are a very likely source of man-made threats to humans and the environment. To avoid occurrence of emergency incidents, it is necessary to invest in the processing plants and other industries for industrial safety. When drawing up financing action plans, it is necessary to identify the most dangerous bottlenecks in the plant's technological chain in terms of the risk of fire or explosion. Identification of the most critical parts of the technological process is possible by ranking the facilities according to the parameters of hazardous substances circulating in equipment and pipelines.

It is shown that the process of burning of a hazardous substance undergoes several stages – the occurrence of a fire, the development and spread of

combustion, the identification of consequences and their elimination. At different stages of a fire or explosion, various indicators serve as hazard criteria. The article is devoted to the formation of a bank of parameters that determine the stage of a fire or explosion. The proposed method - decision making by the Saati method with a qualitative pairwise comparison of the parameters was realized using the example of one of the oil refineries in the Republic of Bashkortostan. In the process of refining the plant, about 20 types of hazardous substances are circulating with a total of about 366 thousand tons.

On the basis of the Federal Law «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» dated 22.07.2008 No 123-FZ, a list of parameters from 16 items defining the fire hazard of technological flows in the liquid and gaseous aggregate state was formulated. The list obtained is optimized for the stage of a fire or explosion. With the help of the correlation analysis, the parameters in the single-valued pair relationship of significance level 95 % are excluded.

The generated sample of four independent parameters of hazardous substances is ranked by the method of paired comparisons and linear convolution. The importance of each independent parameter is established.

**Ключевые слова:** оценка безопасности, опасные вещества, нефтепереработка, метод иерархий, принятие решений, процедура Саати

**Keywords:** safety evaluation, hazardous substances, oil refining, hierarchy method, decision making, Saati procedure

Нефтеперерабатывающая промышленность является весомой отраслью и играет важную роль в экономическом развитии страны [1]. Необходимость обеспечения положительного тренда в развитии объемов переработки нефти требует направленных действий в снижении опасности аварийных ситуаций. Такой подход к организации технологических процессов на предприятиях нефтепереработки позволит повысить качество

жизни населения страны и укрепить внешнеэкономические позиции в мировом пространстве.

Предприятия нефтепереработки относятся к опасным производственным объектам (ОПО) и носят в себе высокую вероятность угрозы техногенного характера наивысшей категории сложности [2]. Большая часть аварий на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) – это взрывы и пожары, которые зачастую являются следствием друг друга.

Для разработки краткосрочных и перспективных планов целевого инвестирования на нужды повышения безопасности работы оборудования НПЗ необходимы результаты ранжирования технологических установок по опасности пожара или взрыва. Критериями ранжирования может служить широкий круг параметров в зависимости от стадии развития аварийной ситуации (рисунок 1).



Рисунок 1. Основные параметры, определяющие опасность пожара или взрыва на всех этапах развития инцидента

Безусловно, для каждой стадии развития аварийной ситуации с учетом ее специфики должны быть предусмотрены меры и мероприятия по минимизации последствий пожара или взрыва [3]. Тем не менее, определяющей по степени важности авторам представляется именно первая стадия – непосредственно возникновение возгорания. Минимизация вероятности возникновения пожара посредством разработки

и реализации превентивных мер вплоть до абсолютного его исключения и является *важнейшей целью решения задач в области промышленной безопасности.*

В работах [4-6] показано, что возникновение пожара определяется физическими свойствами опасных веществ, связанных с горючестью, и текущими параметрами технологического процесса.

В Федеральном законе «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 №123-ФЗ представлен Перечень показателей, необходимых для оценки пожарной опасности веществ и материалов в зависимости от их агрегатного состояния. Для жидких и газообразных веществ в Перечне приведены 16 параметров: плотность, характеристические температуры, скорость выгорания, удельная теплота пожара, концентрационные пределы распространения пламени, давление взрыва, энергия зажигания, скорость распространения пламени и др., играющих определенную роль на разных стадиях по мере развития пожароопасной ситуации.

В статье рассмотрен способ ранжирования параметров опасных веществ, обращающихся в технологических установках НПЗ на примере ПАО АНК «Башнефть» (дочернее общество ПАО «НК «Роснефть»).

*Целью ранжирования является формирование перечня критериев, имеющих значимую корреляционную взаимосвязь.*

По результатам анализа причинно-следственных связей в аварийных ситуациях были отобраны 8 параметров, играющих особую роль именно на стадии возникновения пожара: плотность, теплота сгорания, температура вспышки, температура воспламенения, температура самовоспламенения, нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени и размах концентрационного предела распространения пламени.

Для качественного сравнения предложенных показателей предлагается использовать аналитическую иерархическую процедуру Саати – «Analitic

hierarchy process» (АНР) [7-10]. Основное преимущество этого метода – возможность учета не только количественных, но и качественных критериев для принятия решения при выборе альтернативы. Это позволяет определить интегральные веса критериев выбора с помощью парных сравнений и последующей линейной свертки. Полученные веса критериев с учетом иерархической структуры многоуровневого дерева критериев позволяют обоснованно дифференцировать параметры технологических потоков по уровню опасности возникновения техногенной угрозы.

Трехуровневое дерево иерархий поставленной задачи имеет следующий вид.

**Уровень 0:** Цель – ранжирование параметров технологических потоков установок НПЗ, определяющих возникновение пожара (таблица 1).

**Уровень 1:** Критерии – масса опасных веществ:

- бензин;
- метанол;
- водород с PSA;
- газовый конденсат стабильный;
- гудрон;
- нефть;
- фенол;
- мазут;
- сера;
- сероводород;
- ацетон;
- газойль вакуумный;
- лёгкий газойль;
- остаток висбрекинга;
- дизельное топливо;
- вакуумный соляр;

- моноэтаноламин;
- топливный газ.

**Уровень 2:** Критерии – параметры опасных веществ:

- плотность;
- теплота сгорания;
- температура вспышки;
- температура воспламенения;
- температура самовоспламенения;
- нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПРП);
- верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПРП);
- размах концентрационного предела распространения пламени (РКПРП).

Для оптимизации набора параметров исключением взаимосвязанных показателей проведен корреляционный анализ полученной выборки по значениям коэффициентов взаимной корреляции:

$$r_{k_m, k_n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(k_{mi} - \bar{k}_m) \times (k_{ni} - \bar{k}_n)}{\sigma_{k_m} \times \sigma_{k_n}}, \quad (1)$$

где  $N=18$  – количество наблюдений;

$k_i$  – значение параметров в  $i$ -ой строке;

$m, n \in (1; 8)$  – количество сравниваемых параметров (таблица 2).

Для принятия адекватного решения о силе корреляционной связи в парах сравниваемых параметров была выполнена проверка уровня значимости полученных коэффициентов по идентификации нулевой или альтернативной гипотезы сравнением критериев Стьюдента.

Таблица 1. Значения основных параметров опасных веществ, определяющих опасность возникновения пожара

№ п/п	Наименование опасного вещества	Плотность, $\rho$	Теплота сгорания, $Q$	Температура вспышки, $T_{всп}$	Температура воспламенения, $T_{в}$	Температура самовоспламенения, $T_c$	НКПРП, $K_n$	ВКПРП, $K_b$	Размах КПРП, $K_p$
		кг/м <sup>3</sup>	МДж/кг	°С	°С	°С	об.%	об.%	об.%
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1	Бензин	710	41,87	-20	313	300	1,08	5,40	4,32
2	Метанол	792	22,70	7	13	440	6,98	35,50	28,52
3	Водород с PSA	0,0894	140,00	430	574	510	4,10	62,60	58,50
4	Газовый конденсат	750	37,00	-30	380	380	1,40	8,00	6,60
5	Гудрон	994	36,00	130	123	250	1,40	8,00	6,60
6	Нефть	885	42,60	43	580	475	0,90	5,36	4,46
7	Фенол	1070	32,24	75	66	595	1,52	8,76	7,24
8	Мазут	970	39,70	150	123	350	1,40	8,00	6,60
9	Сера	2210	9,21	160	248	232	35	1400	1365
10	Сероводород	1,539	24,36	12	260	363	4,30	45,50	41,20
11	Ацетон	791	31,49	-18	-26	540	2,20	13,00	10,80
12	Газойль вакуумный	975	40,20	187	29	260	1,30	6,00	4,70
13	Лёгкий газойль	825	40,20	56	29	395	1,30	6,00	4,70
14	Остаток висбрекинга	990	40,00	154	28	260	1,40	8,00	6,60
15	Дизельное топливо	850	42,60	62	81	340	1,30	6,00	4,70
16	Вакуумный соляр	928	43,12	60	28	800	1,40	8,00	6,60
17	Моноэтаноламин	1040	53,90	93	410	450	4,00	11,00	7,00
18	Топливный газ	1911	34,50	436	467	700	3,54	12,10	8,56

Таблица 2. Корреляционная матрица параметров опасных веществ

	$\rho$	$Q$	$T_{всп}$	$T_{в}$	$T_c$	$K_n$	$K_p$	$K_b$
$\rho$	<b>1,0</b>	-0,518	0,242	-0,051	0,015	0,574	0,595	0,595
$Q$	-0,518	<b>1,0</b>	0,539	0,467	0,188	-0,277	-0,281	-0,281
$T_{всп}$	0,242	0,539	<b>1,0</b>	0,395	0,220	0,122	0,104	0,105
$T_{в}$	-0,051	0,467	0,395	<b>1,0</b>	0,127	0,079	0,065	0,066
$T_c$	0,015	0,188	0,220	0,127	<b>1,0</b>	-0,260	-0,299	-0,298
$K_n$	0,574	-0,277	0,122	0,079	-0,260	<b>1,0</b>	0,984	0,985
$K_p$	0,595	-0,281	0,104	0,065	-0,299	0,984	<b>1,0</b>	0,999
$K_b$	0,595	-0,281	0,105	0,066	-0,298	0,985	0,999	<b>1,0</b>

При уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и количестве наблюдений  $n = 18$  табличное значение коэффициента Стьюдента составляет  $t_{кр} = 2,101$  [11].

При значении эмпирического критерия  $|T_{эмп}| > t_{кр}$  нулевую гипотезу  $H_0 = \{r = 0\}$  отвергают, и параметры  $k_m$  и  $k_n$  коррелированы, т.е. связаны



однозначной зависимостью. Если  $|T_{\text{эмп}}| \leq t_{\text{кр}}$ , то отвергают альтернативную гипотезу  $H_1 = \{r_s \neq 0\}$ , и сравниваемые параметры невязимосвязаны.

Эмпирический коэффициент Стьюдента определен по соотношению:

$$T_{\text{эмп}} = r_b \cdot \frac{\sqrt{N-2}}{1-r_b^2}, \quad (2)$$

где  $r_b$  – эмпирическое значение коэффициента взаимной корреляции,

$N$  – число наблюдений.

В таблице 3 приведены значимые пары сравнения параметров, удовлетворяющие условию  $|T_{\text{эмп}}| > t_{\text{кр}}$ .

Таблица 3. Значимые пары сравнения параметров по уровню значимости коэффициента корреляции

№п/п	Параметры сравнения	Значение коэффициента Стьюдента
1	Q и $\rho$	2,421
2	$T_{\text{всп}}$ и Q	2,563
3	$T_b$ и Q	2,115
4	$K_n$ и $\rho$	2,805
5	$K_p$ и $\rho$	2,960
6	$K_b$ и $\rho$	2,957
7	$K_p$ и $K_n$	22,067
8	$K_b$ и $K_n$	22,620
9	$K_b$ и $K_p$	931,222

По результатам исключения одного из взаимосвязанных параметров опасных веществ сформирован перечень независимых друг от друга характеристик технологических потоков, непосредственно влияющих на возникновение пожара:

- температура вспышки  $T_{\text{всп}}$ ;
- температура воспламенения  $T_b$ ;
- температура самовоспламенения  $T_c$ ;
- нижний концентрационный предел распространения пламени  $K_n$ .

При уровне значимости 0,05 вероятность правильности решения составляет 95 %.

В соответствии с алгоритмом процедуры Саати [7] лицом, принимающим решение (ЛПР), проведено сравнение критериев по степени их важности. При сравнении использована 9-балльная шкала Саати:

- 1 – равноценность;
- 3 – умеренное превосходство;
- 5 – сильное превосходство;
- 7 – очень сильное превосходство;
- 9 – высшее (крайнее) превосходство.

Результаты попарного сравнения параметров опасных веществ приведены в таблице 4.

Таблица 4. Парное сравнение показателей по степени важности

Показатель	$T_{всп}$	$T_{в}$	$T_{с}$	$K_{н}$
$T_{всп}$	1	2/1	1/2	1/2
$T_{в}$	1/2	1	1/2	3/1
$T_{с}$	2/1	2/1	1	3/1
$K_{н}$	2/1	1/3	1/3	1

При формировании таблицы использованы утверждения качественного попарного сравнения. Например, утверждение «температура вспышки  $T_{в}$  в три раза сильнее влияет на зарождение пожара, чем нижний концентрационный предел распространения пламени  $K_{н}$ » записано в виде дроби 3/1. Преобразование результатов сравнения методом линейной свертки показано в таблице 5.

Таблица 5. Определение абсолютных и относительных весов критериев пожарной опасности линейной сверткой

Наименование критерия	$T_{всп}$	$T_{в}$	$T_{с}$	$K_{р}$	Вес критериев	
					абс.	отн.
$T_{всп}$	1,00	2,00	0,50	0,50	4,00	0,195
$T_{в}$	0,40	1,00	0,50	3,00	4,90	0,238
$T_{с}$	2,00	2,00	1,00	3,00	8,00	0,389
$K_{н}$	2,00	0,33	0,33	1,00	3,66	0,178

Результатом сравнения критериев является их ранжирование по значению обобщенного приоритета или коэффициенту важности (рисунок 2).

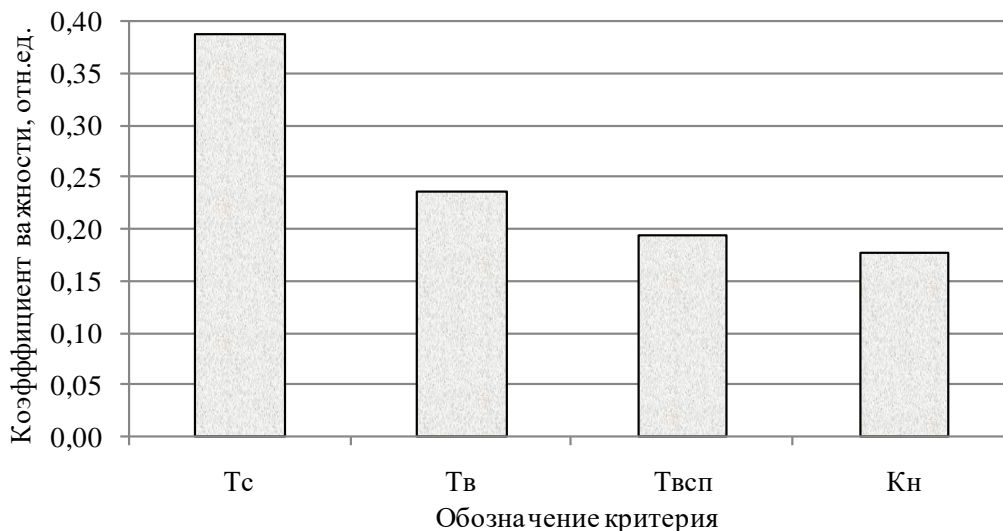


Рисунок 2. Ранжирование значимых параметров опасных веществ, определяющих опасность возникновения пожара

В результате реализации процедуры качественного сравнения параметров Саати установлено, что максимальное влияние на возникновение пожара оказывает температура самовоспламенения опасных технологических потоков. Степень важности остальных независимых параметров: температуры воспламенения, вспышки и нижнего концентрационного предела распространения пламени практически в 2 раза ниже.

## Выводы

1. Предложен способ количественной оптимизации группы параметров, характеризующих свойства опасных веществ в жидком и газообразном агрегатных состояниях, позволяющий ранжировать установки НПЗ по уровню опасности возникновения пожара или взрыва. Способ позволяет принимать превентивные меры по снижению рисков пожаров и взрывов на установках с наибольшим уровнем опасности.

2. Установлено, что из 4-х независимых параметров технологических потоков опасных веществ температура самовоспламенения наиболее существенно влияет на вероятность возгорания опасных жидкостей и паров.

3. Предлагаемые в статье рекомендации могут быть использованы для повышения промышленной безопасности при эксплуатации технологических установок НПЗ.

### **Список используемой литературы**

1. Шавалеев Д.А., Абдрахманов Н.Х. Управление промышленной безопасностью объектов топливно-энергетического комплекса на основе анализа и мониторинга рисков // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 6. С. 435-441. URL: [http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf) (дата обращения: 20.07.2017).

2. Китаев С.В., Смородова О.В., Кузнецова Е.В. Восстановление зависимостей взаимосвязи параметров внешней газовой среды предприятий нефтепереработки // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2016. № 6. С. 121-137. URL: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2016/ogbus\\_6\\_2016\\_p121-137\\_KitaevSV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p121-137_KitaevSV_ru.pdf) (дата обращения: 20.07.2017).

3. Смородова О.В., Китаев С.В., Сергеева К.В. Повышение взрывопожарной безопасности применением огнепреградителей насадочного типа // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2016. № 5. С. 193-206. URL: [http://ogbus.ru/issues/5\\_2016/ogbus\\_5\\_2016\\_p193-206\\_SmorodovaOV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/5_2016/ogbus_5_2016_p193-206_SmorodovaOV_ru.pdf) (дата обращения: 20.07.2017).

4. Байков И.Р., Смородова О.В., Сергеева К.В. Оценка обобщенных показателей промышленной безопасности технологических установок нефтеперерабатывающего завода // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2016. № 6. С. 138-150. URL: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2016/ogbus\\_6\\_2016\\_p138-150\\_BaikovIR\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p138-150_BaikovIR_ru.pdf) (дата обращения: 20.07.2017).

5. Смородова О.В., Сергеева К.В. Факторы рабочей среды предприятий нефтегазовой отрасли // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2017. № 2. С. 130-143. URL: [http://ogbus.ru/issues/2\\_2017/ogbus\\_2\\_2017\\_p130-143\\_SmorodovaOV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/2_2017/ogbus_2_2017_p130-143_SmorodovaOV_ru.pdf) (дата обращения: 20.07.2017).

6. Подиновский В.В. Количественная важность критериев // Автоматика и телемеханика. 2000. № 5. С. 110-123.

7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

8. Saaty T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process // Int. J. Services Sciences. 2008. Vol. 1. No. 1. P. 83-98.

9. Figueira J., Greco S., Ehrgott M. Multiple Criteria Decision Analysis // State of the Art Surveys. New York, 2016. P. 27-38.

10. Китаев С.В., Фарухшина Р.Р., Смородова О.В. Выбор схем компоновки газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях методом анализа иерархий // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 1. С. 128-132.

11. Боровков А.А. Математическая статистика: оценка параметров, проверка гипотез. М.: Физматлит, 1984. 472 с.

## References

1. Shavaleyev D.A., Abdrakhmanov N.KH. Upravleniye promyshlennoy bezopasnost'yu ob"yektov toplivno-energeticheskogo kompleksa na osnove analiza i monitoring riskov [Management of Industrial Safety of Objects of Fuel and Energy Complex on the Basis of the Analysis and the Monitoring of Risks]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2012, No. 6, pp. 435-441. Available at: [http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf) (accessed 20.06.2017). [in Russian].
2. Kitayev S.V., Smorodova O.V., Kuznetsova Ye.V. Vosstanovleniye zavisimostey vzaimosvyazi parametrov vneshney gazovozdushnoy sredy predpriyatiy neftepererabotki [The Correlation Restoration between Explosive Atmosphere Parameters of Oil Refining Enterprise]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2016, No. 6, pp. 121-137. Available at: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2016/ogbus\\_6\\_2016\\_p121-137\\_KitayevSV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p121-137_KitayevSV_ru.pdf) (accessed 20.07.2017) [in Russian].
3. Smorodova O.V., Kitayev S.V., Sergeyeva K.V. Povysheniye vzryvopozharnoy bezopasnosti primeneniye ognepregraditeley nasadochnogo tipa [The Explosion Security Improving by Packed Type Flame Arresters]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2016, No. 5, pp. 193-206. Available at: [http://ogbus.ru/issues/5\\_2016/ogbus\\_5\\_2016\\_p193-206\\_SmorodovaOV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/5_2016/ogbus_5_2016_p193-206_SmorodovaOV_ru.pdf) (accessed 20.06.2017) [in Russian].

4. Baykov I.R., Smorodova O.V., Sergeyeva K.V. Otsenka obobshchennykh pokazateley promyshlennoy bezopasnosti tekhnologicheskikh ustanovok neftepererabatyvayushchego zavoda [Industrial Security Generalized Indicators Evaluation of Oil Refinery Technology Systems Assessment of Generalized Indices of Industrial Safety of Oil Refinery Plants]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2016, No. 6, pp. 138-150. Available at: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2016/ogbus\\_6\\_2016\\_p138-150\\_BaikovIR\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p138-150_BaikovIR_ru.pdf) (accessed 20.06.2017) [in Russian].

5. Smorodova O.V., Sergeyeva K.V. Faktory rabochey sredy predpriyatiy neftegazovoy otrasli [The Working Environment Factors of Oil and Gas Industry]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2017, No. 2, pp. 130-143 [in Russian]. Available at: [http://ogbus.ru/issues/2\\_2017/ogbus\\_2\\_2017\\_p130-143\\_SmorodovaOV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/2_2017/ogbus_2_2017_p130-143_SmorodovaOV_ru.pdf) (accessed 20.06.2017) [in Russian].

6. Podinovskiy V.V. Kolichestvennaya vazhnost' kriteriyev [Quantitative Importance of Criteria]. Avtomatika i telemekhanika – Automation and Telemechanics, 2000, No. 5, pp. 110-123 [in Russian].

7. Saati T. Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy [Decision Making. Method for Analyzing Hierarchies]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1993. 320 p. [in Russian].

8. Saaty T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. Int. J. Services Sciences, 2008, Vol. 1, No. 1, pp.83-98.

9. Figueira J., Greco S., Ehrgott M. Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys. New York, 2016, pp. 27-38.

10. Kitayev S.V., Farukhshina R.R., Smorodova O.V. Vybora skhem komponovki gazoperekachivayushchikh agregatov na kompressornykh stantsiyakh metodom analiza iyerarkhiy [The Choice Layouts of Gas Pumping Units at Compressor Stations Method of Analysis of Hierarchies]. Neftegazovoye delo – Petroleum Engineering, 2017, Vol. 15, No. 1, pp. 128-132 [in Russian].

11. Borovkov A.A. Matematicheskaya statistika: otsenka parametrov, proverka gipotez [Mathematical Statistics: Estimation of Parameters, Hypothesis Testing]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1984. 472 p. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Китаев С.В., д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

S.V. Kitaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Transport and Storage of Oil and Gas Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Байков И.Р., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

I.R. Baikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Industrial Heat Powering Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Смородова О.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

O.V. Smorodova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Industrial Heat Powering Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: [olga\\_smorodova@mail.ru](mailto:olga_smorodova@mail.ru)

Сергеева К.В., магистрант кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

K.V. Sergeeva, Undergraduate Student of Industrial Heat Powering Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation