

УДК 331.45

**ОЦЕНКА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ПРИНЯТИЕМ РЕШЕНИЯ
ПО ОТНОСИТЕЛЬНОМУ ПРЕВОСХОДСТВУ КРИТЕРИЕВ**

**INDUSTRIAL SAFETY EVALUATION OF OIL AND GAS OBJECTS
BY RELATIVE EXCELLENCE OF CRITERIA DECISION**

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

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

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

Ufa State Petroleum Technological University,

Ufa, Russian Federation

e-mail: olga_smorodova@mail.ru

Аннотация. Предприятия нефтегазового комплекса представляют собой источники техногенной угрозы окружающей среде и оборудованию предприятия. В условиях современного острого экологического состояния окружающей среды вопросы поддержки безаварийной работы предприятий особенно актуальны.

Аварийность оборудования распределена по установкам неравномерно. Основной причиной аварий является конструктивная неисправность элементов установок. Интенсивность развития аварии непосредственно связана с режимными параметрами работы оборудования. Наличие нескольких влияющих на развитие сценария параметров приводит к постановке многокритериальной задачи выявления наиболее опасных звеньев технологического процесса.

В работе рассмотрены установки технологического процесса одного из нефтеперерабатывающих заводов Республики Башкортостан, реализован итеративно-фрагментарный подход к формированию модели многокритериальных предпочтений. Идентификация наиболее опасных установок выполнена посредством анализа четырехуровневой иерархической структуры производства.

Установки сгруппированы в категории по опасности производства. Преобладающим из четырех влияющих критериев как наиболее значимый в смысле интерпретации уровня промышленной опасности установлен коэффициент Джини.

Решение многокритериальной задачи принятия решения о наиболее опасном звене реализовано на основе информации о предпочтениях. Итоговый показатель относительного приоритета определен с помощью линейной свертки. Метод обладает неоспоримым достоинством – многократное парное сравнение критериев на всем поле их изменения статистически приближает принятое решение к оптимальному.

Реализация метода иерархического структурирования оборудования нефтеперерабатывающего завода рекомендуется для ранжирования установок по опасности возникновения пожара или взрыва. Показано, что на обследованном заводе установка Висбрекинг гудрона и секция 300 установки Г-43-107 являются наиболее опасными по совокупности физических свойств опасных веществ и режимных параметров работы оборудования.

Abstract. Oil and gas complex enterprises are sources of man-caused environmental threats and enterprise equipment. In the modern acute environmental state conditions, the issues of supporting the enterprises accident-free operation are particularly relevant.

Equipment failure is distributed unevenly. The failure main cause is a plant elements structural malfunction. The accident intensity is directly related to the equipment operation regime parameters. The several parameters presence

influencing the development of the scenario leads to a multicriteria task of identifying the technological process most dangerous parts.

In the paper, the main process of one oil refineries in the Republic of Bashkortostan is considered. An iteratively-fragmentary approach to the multicriteria preferences model is realized. The most dangerous installations identification is carried out by means of the production four-level hierarchical structure analysis.

The plants are grouped into categories in production hazards terms. The predominant of the four influencing criteria as the most significant in terms of interpretation of industrial hazard level is the Gini coefficient.

The multicriteria task decision of deciding the most dangerous link in the plant is realized on the basis of information on preferences. The method has an indisputable advantage - multiple pair comparison of the criteria on the entire field of their change statistically approximates the decision made to the optimal one.

Implementation of the method of hierarchical refinery equipment structuring is recommended for installations ranking for the fire or explosion risk. It is shown that the Visbreaking tar plant and section 300 of the G-43-107 installation are the most dangerous at the surveyed plant in total physical properties terms of hazardous substances and equipment operating parameters.

Ключевые слова: метод принятия решений, абсолютные веса критериев, альтернатива, предпочтение, относительное превосходство.

Keywords: method of decision making, absolute criteria weight, alternative, preference, relative superiority.

Предприятия нефтегазового комплекса представляют собой источники техногенной угрозы здоровью и жизни человека и обитателей окружающей природной среды [1]. В условиях современного осложняющегося экологического состояния селитебного пространства актуальность

вопросов поддержки безаварийной работы нефтегазового оборудования трудно переоценить [2].

В аппаратах технологических установок происходят высокотемпературные химические реакционные превращения жидких и газообразных нефтепродуктов [3]. По данным исследований Академии государственной противопожарной службы МЧС России за период с 2007 г. по 2016 г. 46,2 % аварийных событий на предприятиях нефтегазовой отрасли приходится на технологические трубопроводы и емкостные аппараты [4].

По статистическим данным, аварийные ситуации на технологических установках сопровождаются пожаром, взрывом и выбросом опасных веществ (рисунок 1, а).

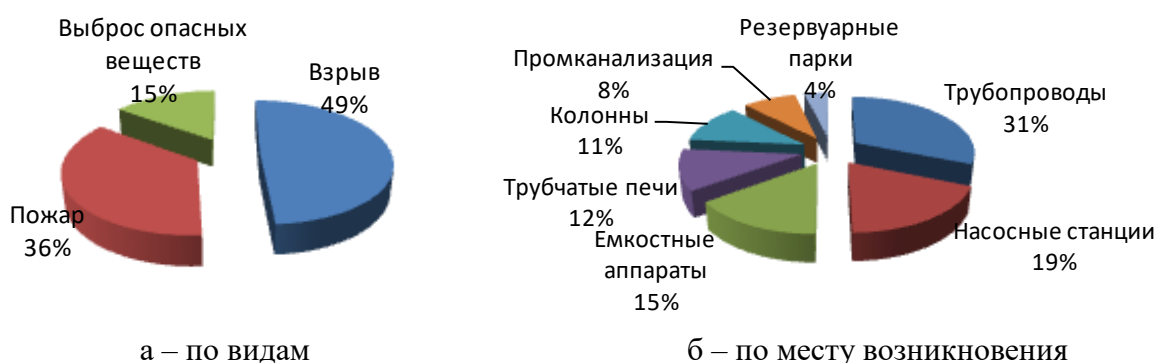


Рисунок 1. Структура аварийных ситуаций

Анализ аварийности технологических комплексов показал (рисунок 1, б), что основная доля взрывов и пожаров происходит в трубопроводах (31 %), что связано с большим количеством соединительных элементов – зон потенциальной разгерметизации. Относительно аварийности непосредственно оборудования следует отметить, что она распределена по установкам неравномерно. Обобщенные показатели промышленной безопасности установок нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) были ранее авторами определены в работе [5].

В процессе анализа условий возникновения аварий было установлено, что основной причиной, как правило, является конструктивная

неисправность элементов установок, приводящая к выбросу опасного вещества и его возгоранию. Интенсивность выброса связана с повышенным давлением в аппарате или трубопроводе, готовность к воспламенению – с температурой, а масштаб последствий – с количеством опасного вещества. Наличие нескольких влияющих на развитие сценария параметров приводит к постановке многокритериальной задачи выявления наиболее опасных звеньев технологического процесса [6].

В работе [6] рассмотрены 12 основных установок основного технологического процесса одного из нефтеперерабатывающих заводов Республики Башкортостан с суммарным количеством опасных веществ около 7000 т (рисунок 2).

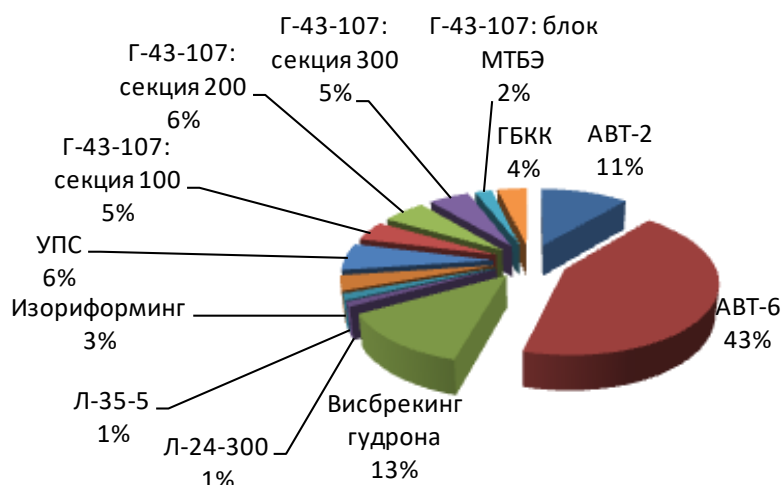


Рисунок 2. Основные показатели загрузки технологических установок

В работе реализован один из перспективных подходов к формированию модели многокритериальных предпочтений – итеративно-фрагментарный [6]. При реализации итеративного метода процесс принятия решения представляется в виде ряда шагов: от предварительного формирования информации о предпочтениях через ее корректировку для устранения противоречивости до окончательного решения.

При многокритериальном моделировании предпочтений нередко оказывается накопленной разнородная и неполная информация для принятия решения. В этом случае ее можно представить в виде

совокупности информационных фрагментов, моделирование на основе которых определяет смысловую суть фрагментарного подхода [7].

Идентификация наиболее опасных установок в технологической системе НПЗ выполнена посредством анализа иерархической структуры производства. Четырехуровневое дерево иерархий поставленной задачи выглядит следующим образом [8].

Уровень 0: Цель – ранжирование установок НПЗ по уровню опасности возникновения пожара или взрыва.

Уровень 1: Объекты – технологические установки НПЗ (таблица 1):

- АВТ-2;
- АВТ-6;
- висбрекинг гудрона;
- Л-24-300 (гидроочистка бензина);
- Л-35-5 (каталитический риформинг);
- изориформинг;
- УПС (установка производства серы);
- Г-43-107(секция 100, секция 200, секция 300, блок МТБЭ);
- ГБКК (гидроочистка бензина каталитического крекинга).

Уровень 2: Критерии формирования категорий установок:

- количество веществ в аппаратах и трубопроводах;
- класс опасности веществ;
- коэффициент Джини.

Уровень 3: Критерии ранжирования категорий установок:

- температура вспышки веществ;
- температура самовоспламенения веществ;
- нижний концентрационный предел распространения пламени;
- обобщенный показатель безопасности режима эксплуатации.

Таблица 1. Технологические установки и их критерии [5]
 (уровень 1 иерархической модели)

№	Наименование установки	Количество опасных веществ, тн		Средневзвешенный класс опасности	Коэффициент Джини
		аппараты	трубопроводы		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	АВТ-2	748,280	37,415	4,00	0,2457
2	АВТ-6	2867,628	143,803	4,00	0,1816
3	Висбрекинг гудрона	847,824	42,392	4,00	0,1434
4	Л-24-300	74,506	3,328	4,00	0,2012
5	Л-35-5	92,185	4,685	4,00	0,3069
6	Изориформинг	225,534	8,279	4,00	0,4457
7	УПС	403,382	20,169	2,00	0,3350
8	Г-43-107: секция 100	284,401	28,334	4,00	0,2496
8.1	секция 200	371,713	18,585	4,00	0,3708
8.2	секция 300	344,583	17,229	4,00	0,1570
8.3	блок МТБЭ	141,752	7,088	3,56	0,1720
9	ГБКК	233,512	31,680	3,99	0,2574
	ВСЕГО	6635,300	362,987		
	ИТОГО	6998,287			

В соответствии с Федеральным законом от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» все опасные производственные объекты (ОПО) в зависимости от степени опасности для людей и окружающей среды рекомендуется ранжировать. Подобный подход позволяет адресно направить усилия – надзорные и финансовые – в целях укрепления промышленной безопасности.

В соответствии с требованиями законодательства сформулирована задача второго уровня иерархической модели – группировка установок по опасности производства. Для выбора преобладающего из четырех влияющих критериев в определении опасности возникновения аварии использован способ попарного сравнения (таблица 2). Коэффициент качественного сравнения в парах критериев назначен с учетом экспертных оценок и практического опыта эксплуатации технологического оборудования на НПЗ.

Таблица 2. Парное сравнение влияющих критериев

Параметры	Кол-во в аппаратах	Кол-во в трубопроводах	Класс опасности	Коэффициент Джини
Кол-во в аппаратах	1	2/1	1/2	1/3
Кол-во в трубопроводах	1/2	1	1/3	1/6
Класс опасности	2/1	3/1	1	1/2
Коэффициент Джини	3/1	6/1	2/1	1

Оценка предпочтения одного влияющего параметра другому проведена с учетом шкалы, предложенной авторами [9].

Результаты расчета абсолютных и относительных весов влияющих критериев показали (рисунок 3), что наибольшую значимость в смысле интерпретации уровня промышленной опасности имеет коэффициент Джини. Таким образом, ранжирование установок обоснованно было выполнено именно по его значению (таблица 3).

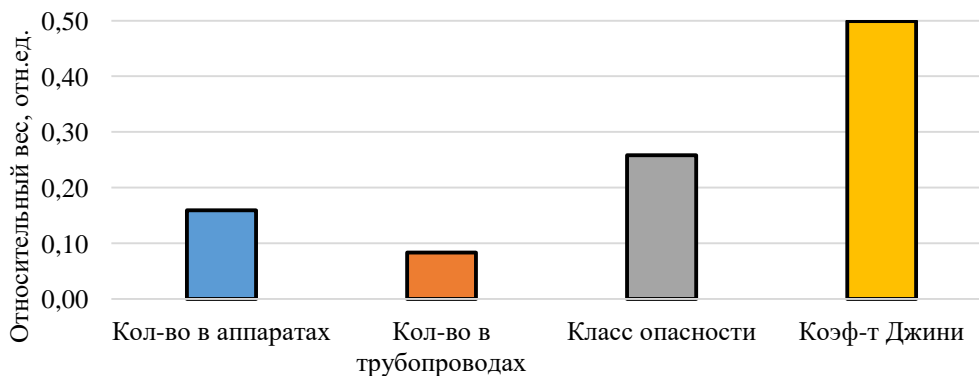


Рисунок 3. Значимость критериев 2 уровня иерархической модели

Ранее авторами было установлено, что среди 18 параметров, характеризующих физические свойства опасных веществ, многие связаны между собой корреляционной связью значимого уровня. В качестве взаимно независимых параметров, однозначно характеризующих физические взрывоопасные свойства опасных веществ (таблица 3), идентифицированы температура самовоспламенения T_c , температура вспышки $T_{всп}$ и нижний концентрационный предел распространения

пламени K_n . Режимные параметры работы установок характеризует коэффициент Джини K_d .

Таблица 3. Категории технологических установок по совокупности эксплуатационных параметров и средние значения физических свойств опасных веществ

№ категории	Установка 1	Установка 2	T_c	$T_{всп}$	K_n	K_d
			°С		%	отн.ед.
1	Изориформинг	Секция 200	247,5	-61,50	1,10	0,4083
2	УПС	Л-35-5	246,0	-12,78	1,28	0,3210
3	ГБКК	Секция 100	250,5	-76,50	0,76	0,2535
4	АВТ-2	Л-24-300	250,5	-61,50	0,78	0,2235
5	АВТ-6	Блок МТБЭ	344,5	-61,50	1,08	0,1768
6	Секция 300	Висбрекинг гудрона	255,0	-76,50	0,76	0,1502

На основе использования шкалы попарного сравнения [9] были оцифрованы качественные предпочтения влияющих параметров (таблица 4).

Таблица 4. Присвоение относительных весов критериям выбора

Критерии принятия решения	T_c	$T_{всп}$	K_n	K_d
Температура самовоспламенения, T_c	1	3/1	2/1	1/1
Температура вспышки, $T_{всп}$	1/3	1	2/1	1/2
Нижний концентрационный предел распространения пламени, K_n	1/2	1/2	1	2/1
Коэффициент Джини, K_d	1/1	3/1	1/2	1

В большинстве методов многокритериальной оптимизации принятие решения формируется с использованием числовых значений коэффициентов важности критериев α_i (таблица 5).

Таблица 5. Результаты вычисления коэффициентов важности критериев

Критерии	T_c	$T_{всп}$	K_n	K_d	T_c	$T_{всп}$	K_n	K_d	Коэффициент ы важности критериев, α_i
	Абсолютные				Относительные				
T_c	1,00	3,0	2,0	1,0	0,353	0,400	0,364	0,222	0,346
$T_{всп}$	0,33	1,0	2,0	0,5	0,117	0,133	0,364	0,111	0,187
K_n	0,50	0,5	1,0	2,0	0,177	0,067	0,182	0,444	0,225
K_d	1,00	3,0	0,5	1,0	0,353	0,400	0,091	0,222	0,242
Сумма	2,83	7,5	5,5	4,5					

Каждый из m критериев определен на основе попарного сравнения категорий установок по каждому влияющему показателю K_i (таблица 6). В расчетах учтено, что повышение опасности вызывается уменьшением температурных критериев: T_c , $T_{всп}$, K_H и увеличением коэффициента Джини K_d .

Таблица 6. Матрица коэффициентов установок по параметрам влияния K^i (T_c , $T_{всп}$, K_H , K_d)

$K^i, i=\overline{1, 4}$	1 категория	2 категория	3 категория	4 категория	5 категория	6 категория
1 категория	K_{11}^i	K_{12}^i	K_{13}^i	K_{14}^i	K_{15}^i	K_{16}^i
2 категория	K_{21}^i	K_{22}^i	K_{23}^i	K_{24}^i	K_{25}^i	K_{26}^i
3 категория	K_{31}^i	K_{32}^i	K_{33}^i	K_{34}^i	K_{35}^i	K_{36}^i
4 категория	K_{41}^i	K_{42}^i	K_{43}^i	K_{44}^i	K_{45}^i	K_{46}^i
5 категория	K_{51}^i	K_{52}^i	K_{53}^i	K_{54}^i	K_{55}^i	K_{56}^i
6 категория	K_{61}^i	K_{62}^i	K_{63}^i	K_{64}^i	K_{65}^i	K_{66}^i

Самым распространенным в теории обоснования принятия решения является метод «обобщенного критерия», который состоит в «свертывании» набора m критериев в один интегральный показатель – в единое числовое значение.

Успешность этой процедуры определяет оптимальность выбора функции свертки $\Phi = \varphi(\alpha_1, K_1, \dots, \alpha_m, K_m)$. На практике среди прочих способов широко используется свертка на основе средней взвешенной степенной, а именно одна из ее реализаций – линейная свертка (таблица 7):

$$\Phi_L = \left(\sum_{i=1}^m \alpha_i K_i \right).$$

Таблица 7. Результат определения итогового приоритета категорий технологических установок (рисунок 4)

Категория установок	Установки в составе категории	Tc	Tвсп	Kn	Kd	Итоговый относительный приоритет
	<i>Абсолютный вес критерия</i>	0,346	0,187	0,225	0,242	
1 категория	Изориформинг, секция 200	0,164	0,164	0,200	0,266	0,142
2 категория	УПС, Л-35-5	0,163	0,045	0,220	0,209	0,170
3 категория	ГБКК, секция 100	0,166	0,269	0,130	0,165	0,159
4 категория	АВТ-2, Л-24-300	0,167	0,161	0,134	0,146	0,183
5 категория	АВТ-6, блок МТБЭ	0,229	0,161	0,185	0,115	0,157
6 категория	Секция 300, висбрекинг	0,169	0,200	0,130	0,098	0,188

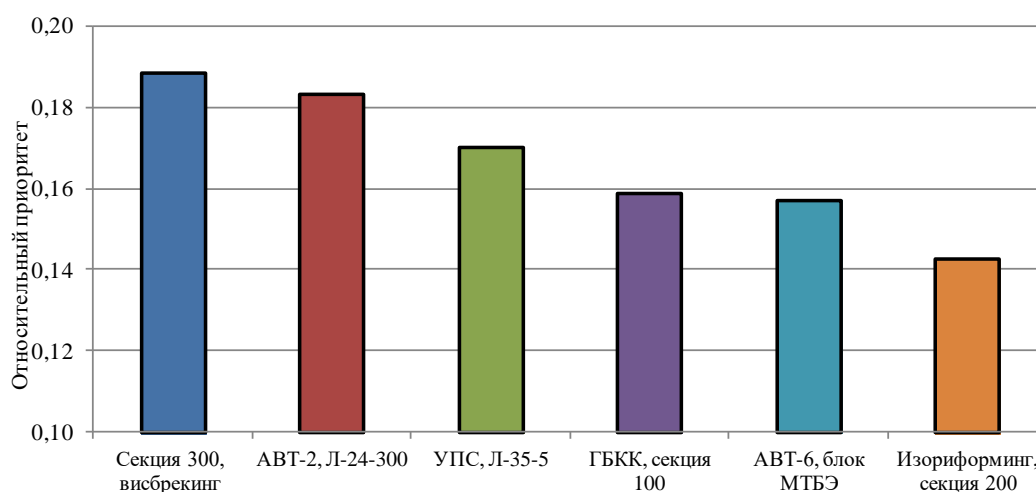


Рисунок 4. Ранжирование технологических установок по опасности возникновения пожара или взрыва

Вывод

Решение многокритериальных задач проводится на основе информации о предпочтениях лица, принимающего решения, и уже потому результат априори не является абсолютной истиной. Тем не менее, метод обладает неоспоримым достоинством – многократное парное сравнение критериев на всем поле их изменения статистически приближает принятое решение к оптимальному.

Реализация метода иерархического структурирования оборудования НПЗ рекомендуется для ранжирования установок по опасности возникновения пожара или взрыва. Показано, что на обследованном заводе установки Висбрекинг гудрона и секция 300 установки Г-43-107 являются

наиболее опасными по совокупности физических свойств опасных веществ и режимных параметров работы оборудования.

Список используемых источников

1. Овчаров С.В. О некоторых методах оценки частоты аварий на магистральных трубопроводах при расчете пожарного риска // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 2. С. 61-69. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15591111_80752999.pdf (дата обращения: 20.02.2018).

2. 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 (дата обращения: 20.07.2017).

3. 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. (дата обращения: 20.06.2017).

4. Баширов М.Г., Павлова З.Х., Закирничная М.М., Хафизов А.М. Совершенствование систем автоматического управления и противоаварийной защиты трубчатых печей на основе мониторинга параметров процесса коксообразования // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2018. № 1. С.120-144. URL: http://ogbus.ru/issues/1_2018/ogbus_1_2018_p120-144_BashirovMG_ru.pdf (дата обращения: 20.03.2018).

5. Смородова О.В., Китаев С.В., Сергеева К.В. Ранжирование технологических установок нефтепереработки по обобщенному критерию промышленной безопасности // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2017. № 4. С. 165-179. URL: http://ogbus.ru/issues/4_2017/ogbus_4_2017_p165-179_SmorodovaOV_ru.pdf (дата обращения: 20.02.2018).

6. Подиновский В.В. Анализ задач многокритериального выбора методами теории важности критериев при помощи компьютерных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 2. С. 64-68.

7. Гафт М.Г., Подиновский В.В. О построении решающих правил в задачах принятия решений // Автоматика и телемеханика. 1981. № 6. С. 128-136. URL: http://www.mathnet.ru/links/0eba9785f6d3d97a3e4e039f0a_3478d9/at5835.pdf (дата обращения: 03.03.2018).

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

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

References

1. Ovcharov S.V. O nekotorykh metodakh otsenki chastoty avariyy na magistral'nykh truboprovodakh pri raschete pozharnogo riska [On Some Methods for Estimating the Frequency of Accidents on Trunk Pipelines in the Calculation of Fire Risk]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Safety in Industry, 2011, No. 2, pp. 61-69. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_15591111_80752999.pdf. (accessed 20.02.2018). [in Russian].

2. 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 Fuel and Energy Complex Facilities on the Basis of Risk Analysis and Monitoring]. 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 (accessed 20.07.2017). [in Russian].

3. Baykov I.R., Smorodova O.V., Sergeyeva K.V. Otsenka obobshchennykh pokazateley promyshlennoy bezopasnosti tekhnologicheskikh ustanovok neftepererabatyvayushchego zavoda [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 (accessed 20.06.2017). [in Russian].

4. Bashirov M.G., Pavlova Z.Kh., Zakirnichnaya M.M., Khafizov A.M. Sovershenstvovaniye sistem avtomaticheskogo upravleniya i protivopavariynoy zashchity trubchatykh pechey na osnove monitoringa parametrov protsessa koksoobrazovaniya [Improvement of Automatic Control Systems and Emergency Protection of Tube Furnaces on the Basis of Monitoring Parameters of the Process of Coke Formation]. Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» – Online Edition «Oil and Gas Business», 2018, No. 1, pp. 120-144. Available at: http://ogbus.ru/issues/1_2018/ogbus_1_2018_p120-144_BashirovMG_ru.pdf (accessed 20.03.2018). [in Russian].

5. Smorodova O.V., Kitayev S.V., Sergeyeva K.V. Ranzhированиye tekhnologicheskikh ustanovok neftepererabotki po obobshchennomu kriteriyu promyshlennoy bezopasnosti [Ranking of Technological Installations of Oil Refining on the Generalized Criterion of Industrial Safety]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2017, No. 4, pp. 165-179. Available at: http://ogbus.ru/issues/4_2017/ogbus_4_2017_p165-179_SmorodovaOV_ru.pdf (accessed 20.02.2018). [in Russian].

6. Podinovskiy V.V. Analiz zadach mnogokriterial'nogo vybora metodami teorii vazhnosti kriteriyev pri pomoshchi komp'yuternykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Analysis of Multicriteria Selection Problems using Methods of Critical Importance Theory with the Help of Computer Decision Support Systems]. Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems, 2008, No. 2, pp. 64-68 [in Russian].

7. Gaft M.G., Podinovskiy V.V. O postroyenii reshayushchikh pravil v zadachakh prinyatiya resheniy [On the Construction of Decision Rules in Decision-Making Problems]. Avtomatika i telemekhanika – Automation and telemechanics, 1981, No. 6, pp. 128-136 Available at: <http://www.mathnet.ru/links/0eba9785f6d3d97a3e4e039f0a3478d9/at5835.pdf> (accessed 03.03.2018). [in Russian].

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

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

Сведения об авторах

About the authors

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

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

e-mail: olga_smorodova@mail.ru

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 Industrial Heat Powering Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

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

Сергеева К.В., магистрант МБП01-16-01, ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

K.V. Segreeva, Undergraduate Student of МБП01-16-01 Group, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation