

УДК 621.515

**ОЦЕНКА ОБОБЩЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
УСТАНОВОК НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА**

**INDUSTRIAL SECURITY GENERALIZED INDICATORS  
EVALUATION OF OIL REFINERY TECHNOLOGY SYSTEMS**

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

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

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

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

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

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы оценки уровня промышленной безопасности нефтеперерабатывающего завода. Текущий мониторинг технических и технологических параметров установок завода позволяет решать вопросы диагностики каждого конкретного оборудования. Кроме того, непрерывный контроль параметров безопасности обеспечивает возможность прогнозировать аварийную ситуацию на единичной установке. Однако подобный подход не позволяет решить вопрос о состоянии промышленной безопасности на предприятии в целом как на едином объекте. Поэтому задача интегральной оценки совокупности технологического оборудования в пределах одного предприятия представляется актуальной.

В работе показан способ оценки обобщенного показателя безопасности установок нефтеперерабатывающего завода с помощью кривой Лоренца. В

качестве параметра, определяющего степень промышленной опасности установок, принят комплексный ранг опасности. Его вычисление выполнено с учетом частных рангов оборудования каждой установки по количеству обращающегося опасного вещества, его давлению и температуре. Расчеты выполнены для всех установок технологической цепочки переработки нефти в количестве 17 установок.

Количественным критерием такой обобщенной оценки принят коэффициент Джини. Результаты построения кривой Лоренца позволили определить коэффициент Джини по каждой технологической установке завода. Результаты расчетов идентифицировали значение коэффициента в пределах от 0,10 до 0,45.

В работе сделаны выводы о распределении комплексного показателя промышленной опасности по установкам завода. Определены интегральные критерии промышленной безопасности для нефтеперерабатывающего завода как единого целого объекта. Показано, что интегральный коэффициент Джини составляет 0,377, что свидетельствует о неравномерном распределении опасности возникновения пожара или взрыва по технологическим объектам предприятия.

**Abstract.** The paper deals with evaluation of refinery industrial safety. Ongoing monitoring of technical and technological parameters of the plant facilities allows us to solve problems in the each specific equipment diagnosis. In addition, continuous monitoring of security provides the prediction ability of the emergency installation unit. However, this approach does not resolve the question of the industrial safety state in the enterprise as a whole single object. Therefore, the task of integral evaluation of aggregate processing equipment within one company seems relevant.

The paper considers a method of estimating the generalized indicator of the safety of facilities refinery by the Lorenz curve. As a degree of danger of industrial plants parameter, a comprehensive hazard rank is adopted. Its

calculation is made in consideration of each particular installation equipment ranks by the amount of circulating dangerous substance, its pressure and temperature. The calculations are performed for all installations of the technological chain of oil refining in the amount of 17 units.

The Gini coefficient was started as a quantitative criterion of generalized assessment. The results of the Lorenz curve construction do it possible to determine the Gini index for each plant process unit. The calculation results has identified value of the coefficient in the range of 0,10 to 0,45.

The conclusions on the distribution of comprehensive index of industrial installations for the dangers of the plant are done. The integrated industrial safety criteria for the refinery as a whole object are defined. It is shown the integral Gini index is of 0,377, and it has indicated the uneven distribution of the risk of fire or explosion in the plant technological facilities.

**Ключевые слова:** технологическая установка, кривая Лоренца, коэффициент Джини, промышленная безопасность, ранжирование, бензин, сырая нефть, дизельное топливо, гудрон, рефлюкс, гидрогенизат, водородсодержащий и углеводородный газы.

**Key words:** process installation, Lorenz curve, Gini index, industrial security, ranging, gasoline, crude oil, diesel fuel, tar, reflux, hydrogenated feed is separated, hydrogen and hydrocarbon gases.

Предприятия нефтеперерабатывающей промышленности, играющие важную роль в экономике страны, представляют один из главных источников пожаро- и взрывоопасности, а также напряженной техногенной и экологической обстановки. Повышение безопасности объектов нефтеперерабатывающих производств является основным способом предотвращения угроз техногенного характера [1].

Риск возникновения катастроф и аварий и масштабы их последствий напрямую зависят от интенсификации производства, роста энергетической

мощности единичных производственных объектов, своевременности обновления технологий и оборудования. Все эти факторы и тенденции, объективно определяющие состояние безопасности промышленных производств, следует рассматривать как важнейшие предпосылки негативного влияния техносферы на окружающую среду и человека [2].

Наиболее масштабные аварии на нефтеперерабатывающих объектах в большинстве случаев происходят из-за возникновения источника утечки горючей среды при разгерметизации трубопроводов и/или оборудования (рисунок 1). Взрывоопасные смеси возникают либо в ходе технологических процессов, либо являются основным или побочным продуктом самого производства. Помимо этого, многие вещества, будучи взрыво- и огнеопасными, являются также токсичными и могут вызывать отравление человека в концентрации значительно меньшей, чем взрывоопасная [3].

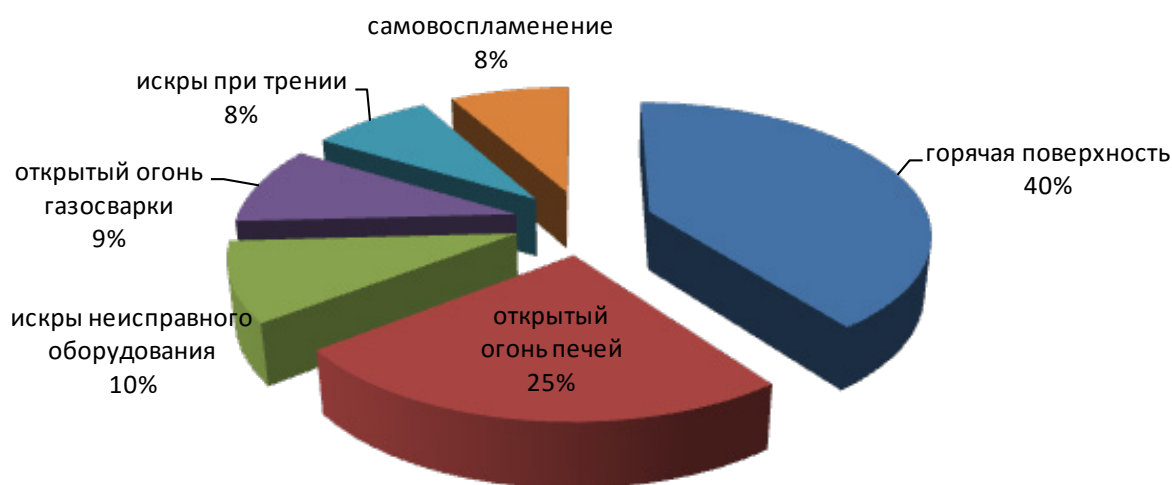


Рисунок 1. Структура аварий по источникам утечки

В целях обеспечения безопасной эксплуатации технологического оборудования нефтепереработки на законодательном уровне закреплена организация мониторинга технических и технологических параметров установок заводов. Такой подход к обеспечению должного уровня промышленной безопасности позволяет решать вопросы диагностики каждого конкретного оборудования. Кроме того, непрерывный контроль

параметров безопасности обеспечивает возможность прогнозирования аварийных ситуаций на единичной установке. Однако постоянное наблюдение за параметрами работы нефтеперерабатывающего оборудования не позволяет решить вопрос о состоянии промышленной безопасности на предприятии в целом как на едином объекте. Поэтому задача интегральной оценки совокупности технологического оборудования в пределах одного предприятия представляется актуальной.

Поставленная задача решается на примере одного из нефтеперерабатывающих заводов России. В технологическом цикле нефтепереработки участвуют 17 установок и производств с общим количеством оборудования около 1200 единиц. Всего в оборудовании предприятия обращается более 48 000 т опасных веществ: бензин, сырая нефть, дизельное топливо, гудрон, рефлюкс, гидрогенизат, водородсодержащий и углеводородный газы и пр. (рисунок 2).

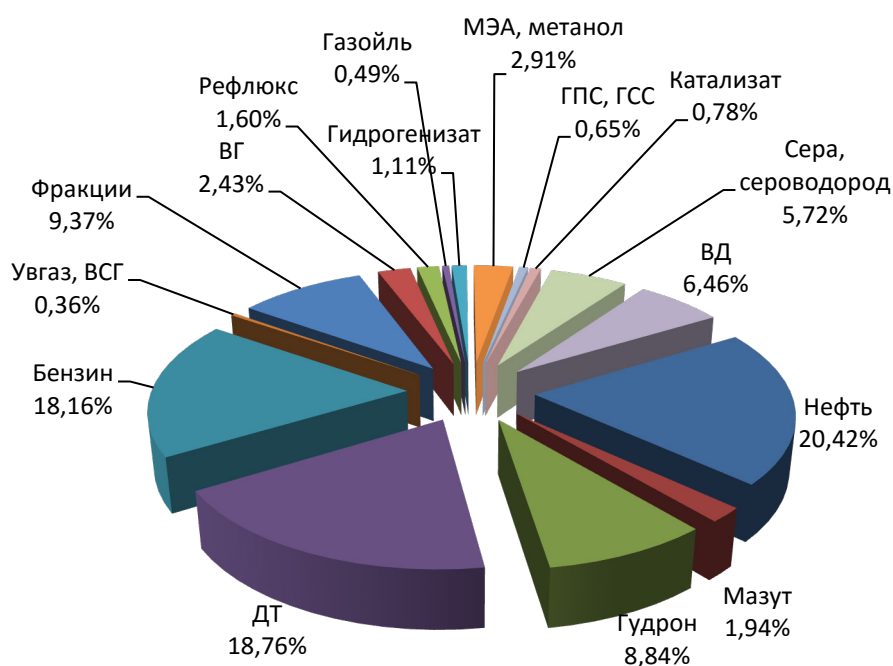


Рисунок 2. Структура опасных веществ по количеству

Структура опасных веществ показала, что более половины всего количества, обращающегося в технологических установках до поступления в резервуарный парк, составляют нефть, бензин и дизельное топливо. В

качестве критериев для ранжирования по уровню опасности установок, блоков и непосредственно оборудования каждой установки рассмотрены количество обращающегося опасного вещества, его давление и температура. Именно эти параметры определяют масштабы аварии и ее технико-экономические последствия. Структура установок одного из заводов по количеству обращающихся в них опасных веществ приведена на рисунке 3.

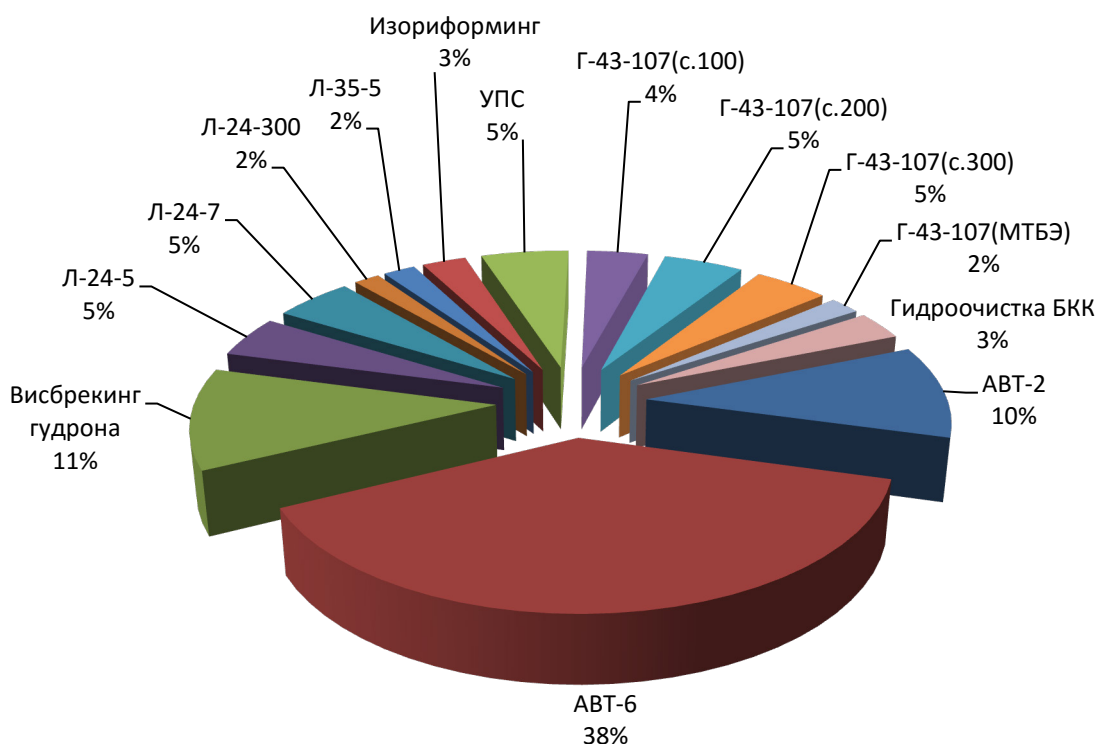


Рисунок 3. Распределение опасных веществ по установкам предприятия

Выявление максимально опасных узлов в технологическом процессе завода было реализовано ранжированием оборудования каждой установки: емкости, печи, реакторы, колонны, теплообменники, холодильники и пр.

Для оценки энергоемкости оборудования каждого вида было выполнено сравнение их единичной вместимости и технологических параметров. Наибольшей вместимостью обладают емкости резервуарного парка – 3443 т, максимальное давление – в теплообменниках установки «Изориформинг» - достигает значения 17 МПа, наибольшая температура – 1200 °С – в

энерготехнологическом котле-утилизаторе блока №3 установки производства серы.

Для оценки опасности оборудования по совокупности показателей был определен комплексный ранг, учитывающий одновременно и количество обращающегося вещества в единице оборудования и эксплуатационные параметры – давление и температуру [4].

$$R=R_1 \times g_1 + R_2 \times g_2 + R_3 \times g_3,$$

где  $R_1, R_2, R_3$  – частный относительный ранг оборудования по количеству, давлению и температуре опасного вещества соответственно;

$g_1 \div g_3$  – весовые коэффициенты частных рангов по количеству, давлению и температуре опасного вещества соответственно приняты на основе статистических данных эксплуатации оборудования нефтепереработки.

Значение комплексного ранга  $R$  может изменяться в диапазоне от 0 до 1. Величина  $R = 1$  соответствует максимально опасному оборудованию со всех точек зрения – и по количеству, и по давлению, и по температуре опасного вещества.

Методы оценки безопасности эксплуатации каждой единицы оборудования установок предприятия позволяют строить некоторую шкалу оценок промбезопасности каждого оборудования. Однако подобная информация недостаточна для определения уровня промышленной безопасности каждой установки в целом, рассматриваемой как единый объект.

Построение комплексного показателя какой-либо совокупности основано на построении кривой Лоренца и использовании коэффициента Джини [5]. Коэффициент Джини  $K_d$  используется для описания степени неравномерности распределения какого либо интегрального показателя по его составляющим. При полном равенстве вклада каждого компонента

$K_d = 0$ , если же совокупность резко дифференцирована по доле каждого компонента, то  $K_d$  приближается к 1.

Подобные свойства позволяют оценить вклад единичных составляющих в результат всей системы. Для поставленной задачи об оценке уровня промышленной безопасности комплекса технологического оборудования вклад каждой единицы оборудования – комплексный показатель безопасности R.

Методика, изложенная авторами [6], реализована для оценки уровня промышленной безопасности 17 объектов нефтеперерабатывающего завода (рисунок 4, таблица 1) и всего предприятия в целом.

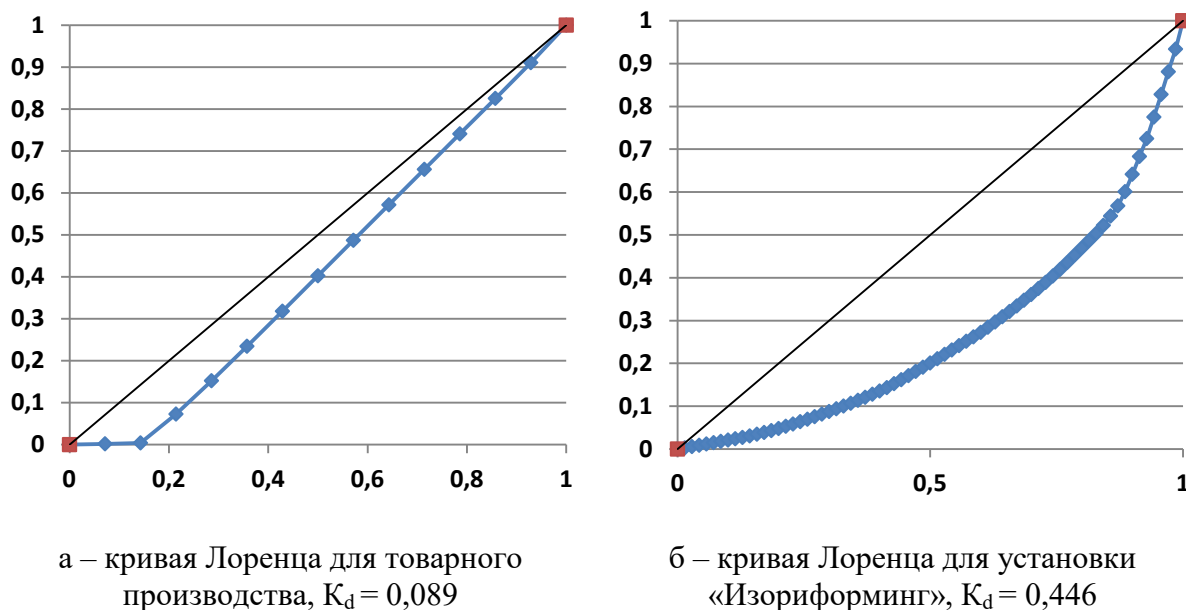


Рисунок 4. Кривая Лоренца наиболее оптимистичного (а) и наиболее пессимистичного (б) распределения безопасности по оборудованию объекта

Расчеты показали, что коэффициент Джини для установок предприятия составил значения в диапазоне от 0,088 до 0,456, для завода в целом – 0,377. Повышенные значения вычисленного показателя указывают на наличие неравномерности в условиях работы оборудования, приводящих к повышенной промышленной опасности.



Таблица 1. Коэффициент Джини объектов предприятия

№ п/п	Наименование объекта	Значение $K_d$
1	АВТ-2	0,2457
2	АВТ-6	0,1816
3	Висбрекинг гудрона	0,1434
4	Установка гидроочистки дизельного топлива Л-24-5	0,3105
5	Установка гидроочистки дизельного топлива Л-24-7	0,3044
6	Установка гидроочистки бензинов Л-24-300	0,2012
7	Установка каталитического риформинга Л-35-5	0,3069
8	Изориформинг	0,4457
9	Установка производства серы	0,3350
10	Г-43-107М/16 (секция 100)	0,2496
11	Г-43-107М/1 (секция 200)	0,3708
12	Г-43-107М/1 (секция 300)	0,1570
13	Г-43-107М/1 (блок МТБЭ)	0,1720
14	Парк сжиженных углеводородных газов	0,1346
15	Факел и склад метанола	0,1804
16	Товарное производство	0,0889
17	Гидроочистка бензина каталитического крекинга	0,2574

Пространственная привязка показателей безопасности установок к координатам территории предприятия показала (рисунок 5), что оборудование с максимальным уровнем промышленной опасности расположено в северо-восточной части завода. Именно в этом секторе сосредоточена практически вся технологическая часть по переработке нефти, происходящей при максимальных давлениях и температурах.

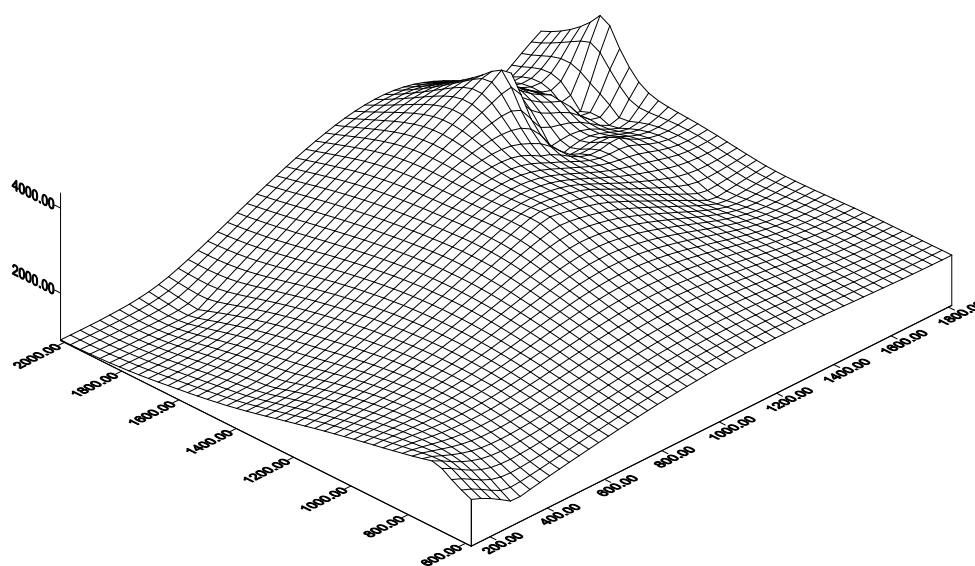


Рисунок 5. Трехмерная визуализация показателей безопасности объектов предприятия

В северо-западной части территории значительную площадь занимает резервуарный парк готовой продукции. Несмотря на большое количество обращающихся опасных веществ по сравнению с технологическими установками, хранение в резервуарах проходит практически под атмосферным давлением и при низкой температуре – не более 40 °С. Это приводит к невысоким показателям суммарного ранга по промышленной опасности.

Представленный метод позволяет определять коэффициент Джини и на разных этапах жизненного цикла установки, и в пределах групп оборудования, обладающего однотипными характеристиками. Преимущества такого подхода состоят в том, что независимо от множества конкретных условий и особенностей установки ее эффективность характеризуется всего лишь с помощью одной величины – обобщенного коэффициента. Тем самым обеспечивается универсальность данного параметра и возможность сравнения показателей промышленной безопасности различных технологических установок.

Значение коэффициента Джини определяется многими факторами – температурным режимом работы оборудования, уровнем давления в емкостях и трубопроводах, количеством обращающегося в оборудовании опасного вещества и пр. При оценке уровня промышленной безопасности установки, объекта или завода в целом с помощью коэффициента Джини обеспечивается одновременный учет влияния всех технологических параметров.

## **Выводы**

1. Для нефтеперерабатывающего завода проведена дифференциация технологических установок по уровню промышленной безопасности с учетом количества, давления и температуры обращающихся в процессе опасных веществ. Показано, что максимальное количество опасных

веществ сосредоточено в товарном производстве, максимальное давление и температура – в технологических установках переработки нефти.

2. Выполнено ранжирование оборудования объектов завода по величине комплексного ранга  $R$ . Оценка равномерности распределения опасности возникновения пожара или взрыва по объектам реализована построением кривой Лоренца. Количественная оценка распределения уровня безопасности дана по значению коэффициента Джини  $K_d$ . Показано, что повышенные значения  $K_d$  свидетельствуют о различии в условиях эксплуатации оборудования и снижении уровня промышленной безопасности.

3. Пространственное представление коэффициента Джини в привязке к относительной системе координат позволило идентифицировать участки территории предприятия с пониженным уровнем промышленной безопасности.

### Список используемых источников

1 Шавалеев Д.А., Абдрахманов Н.Х. Управление промышленной безопасностью объектов топливно-энергетического комплекса на основе анализа и мониторинга рисков// Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 2012. №6. С.435-441.

2 Киреев И.Р., Закирова З.А., Латыпова Э.А. Методы устранения опасности возникновения взрывов и пожаров на ООО РН-Юганскнефтегаз//Безопасность жизнедеятельности. 2015. №10(178). С.37-39.

3 Смородова О.В., Китаев С.В., Сергеева К.В. Повышение взрывопожарной безопасности применением огнепреградителей насадочного типа// Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 2016. №5. С.193-206.

4 Смородова О.В., Хафизов Р.В. Способ ранжирования газоаналитических систем//Символ науки. 2016. № 8-2. С. 84-88.

5 Смородов Е.А., Деев В.Г., Исмаков Р.А. Методы экспресс-оценки качества фонда нефтедобывающих скважин//Известия ВУЗов. Нефть и газ. 2001. №1. С.40-44.

6 Байков И.Р., Смородов Е.А., Ахмадуллин К.Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. 275 с.

## References

1 Shavaleev D.A., Abdrahmanov N.H. Upravlenie promishlennoi bezopasnost' u ob'ektov toplivno-energeticheskogo kompleksa na osnove analiza I monitoringa riskov// Neftegazovoe delo: electron.nauch.jurn./UGNTU, 2012. №6. S.435-441. [in Russian].

2 Kireev I.R., Zakirova Z.A., Latipova E.A. Metodi ustraneniya opasnosti vzniknoveniya vzhivov I pojarov na ООО RN-Uganskneftegas//Bezopasnost jiznedeyatel'nosti. 2015. №10(178). S.37-39. [in Russian].

3 Smorodova O.V., Kitaev S.V., Sergeeva K.V. Povishenie vzhivopojarnoi bezopasnosti primeneniem ognepregraditelei nasadochnogo tipa// Neftegazovoe delo: electron.nauch.jurn./UGNTU, 2016. №5. S.193-206. [in Russian].

4 Smorodova O.V., Hafizov R.V. Sposob ranjirovaniya gazoanaliticheskikh system//Simvol nauki. 2016. №8-2. S.84 – 88. [in Russian].

5 Smorodov E.A., Deev V.G., Ismakov R.A. Metodi ekspress-ocenki kachestva fonda neftedobivaushih skvajin//Izvestiya VUZov. Neft I gaz. 2001. №1. S.40-44. [in Russian].

6 Baikov I.R., Smorodov E.A., Ahmadullin K.R. Metodi analiza nadejnosti I effektivnosti system dobichi I transportas uglevodorodnogo sirya. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». 2003. 275 s. [in Russian].

## Сведения об авторах

### About the authors

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

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

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

K.V. Segreeva, Master of Science of МБП01-16-01 Group, FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation