

УДК 621.515

**РАНЖИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ ПО ОБОБЩЕННОМУ КРИТЕРИЮ
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**THE TECHNOLOGICAL OIL REFINING UNITS RANGING
ON THE BASE OF INDUSTRIAL SAFETY GENERALIZED CRITERIA**

Смородова О. В., Китаев С. В., Сергеева К. В.

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

O. V. Smorodova, S. V. Kitaev, K. V. Sergeeva

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

e-mail: olga_smorodova@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена оценке уровня промышленной безопасности одного из нефтеперерабатывающих заводов ПАО АНК «Башнефть». Каждая из установок на производстве переработки нефти относится к опасным объектам и требует особого внимания. Это связано с тем, что в оборудовании обращается большое количество опасных веществ, относящихся к разным классам опасности. К опасным веществам относятся не только основные компоненты переработки, но и вспомогательные и промежуточные продукты технологической цепочки. Оценка промышленной безопасности является важной частью производства и позволяет избежать возникновения пожара или взрыва, а в случае наступления аварийной ситуации - минимизировать негативные последствия.

Для оценки уровня промышленной безопасности предлагается рассматривать всё оборудование технологических установок в совокупности как единое целое. В статье использована интегральная оценка установок и производств нефтеперерабатывающего завода с точки зрения опасности возникновения пожара или взрыва. Рассмотрены показатели всех установок и производств в целом, установлены доли резервуарного парка и непосредственно технологических установок процесса переработки нефти.

В работе применен способ оценки обобщенного показателя безопасности нефтеперерабатывающего завода с помощью кривой Лоренца. В качестве критерия промышленной опасности каждой установки принято суммарное количество опасных веществ, обращающихся в аппаратах и трубопроводах.

Определен количественный критерий – коэффициент Джини. Вычислены значения коэффициента с учетом резервуарного парка товарного производства и без него. Показано, что опасные вещества распределены по технологическим установкам с умеренной неравномерностью – коэффициент Джини составил 0,441. Определены установки с максимальной опасностью с точки зрения количества взрыво- и пожароопасных веществ.

Abstract. The article is devoted to an assessment of the level of industrial safety of one of the oil refineries of PJSC ANC Bashneft. Each of the installations in this production refers to hazardous objects and requires special attention. This is due to the fact that the equipment is drawn a large number of hazardous substances belonging to different hazard classes. To hazardous substances are not only the main components of processing, but also auxiliary and intermediate products of the technological chain. The assessment of industrial safety is an important part of production and avoids the occurrence of a fire or explosion, and in the event of an emergency - minimize the negative consequences.

To assess the level of industrial safety, it is proposed to consider all the equipment of technological installations in aggregate as a whole. The article uses an integrated assessment of the plants and production facilities of the oil refinery in terms of the risk of a fire or explosion. The indicators of all installations and industries as a whole are considered, the shares of commodity production and direct technological installations of the oil refining process are established.

In work the method of an estimation of the generalized parameter of safety of an oil refining factory by means of a curve of Lorentz is applied. As a criterion of industrial danger of each installation, the total amount of hazardous substances circulating in apparatus and pipelines is adopted.

A quantitative criterion is determined - the Gini coefficient. The coefficient values are calculated taking into account the tank farm of commodity production and without it. It is shown that hazardous substances are distributed according to technological installations with moderate unevenness - the Gini coefficient was 0,441. The installations with the maximum danger from the point of view of the quantity of explosive and fire hazardous substances are determined.

Ключевые слова: оценка безопасности, опасные вещества, нефтепереработка, интегральная оценка, кривая Лоренца, коэффициент Джини

Keywords: safety evaluation, hazardous substances, oil refining, integral estimation, Lorentz curve, Gini coefficient

Функционирование нефтеперерабатывающих заводов связано с соблюдением повышенных требований к обеспечению промышленной пожарной безопасности производства и охране труда. Реализация организационно-технических мер, направленных на предотвращение аварийных ситуаций, сокращение масштабов последствий и обеспечение готовности к их локализации позволяет ограничить уровень опасности как

для сотрудников и оборудования предприятия, так и для населения в прилегающих селитебных территориях.

На настоящий момент в России эксплуатируются 32 крупных нефтеперерабатывающих предприятия с общей мощностью по годовой переработке нефти более 260 млн т и около 80 мини-НПЗ с общей мощностью переработки нефти более 10 млн т в год. Большинство заводов были построены в период восстановления российской промышленности после Великой Отечественной Войны, поэтому срок эксплуатации технологических аппаратов и другого оборудования достаточно велик. Несмотря на то, что в 2000-х годах были выделены некоторые средства для целевой модернизации производства, существующее оборудование продолжает эксплуатироваться на некоторых НПЗ. Сложившаяся ситуация требует повышенного внимания к оценке опасности возникновения пожаров и взрывов и разработке мер по их локализации и минимизации последствий.

Приволжский Федеральный Округ стоит на первом месте по мощности переработки нефти. Среди республик и областей Башкортостан занимает первое место с мощностью по переработке нефти около 35 млн т в год.

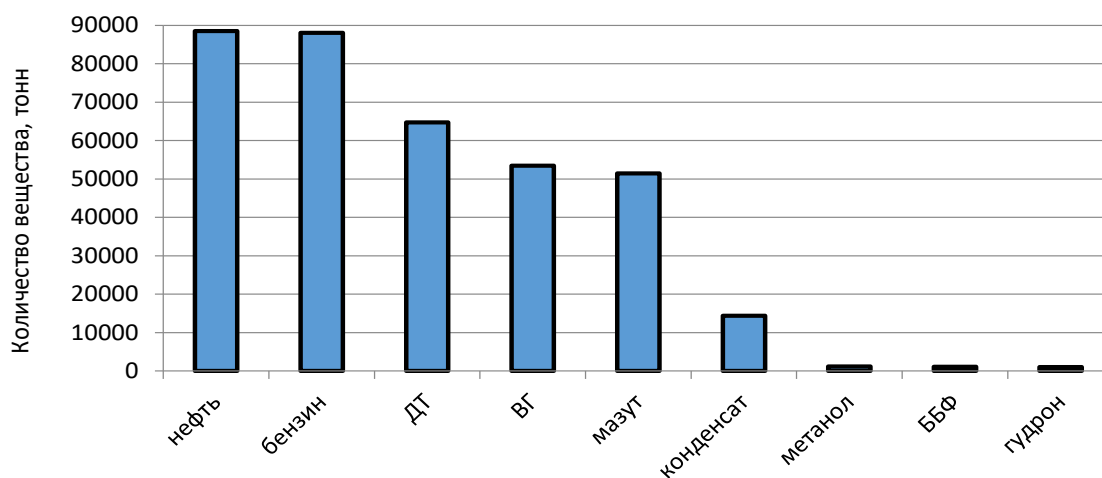
На нефтеперерабатывающем заводе основной технологической целью является переработка нефти до получения бензиновой фракции. Таким образом, нефть и бензин являются основными компонентами материального баланса предприятия. Кроме того, в процессе нефтепереработки обращается ряд других опасных веществ с классами опасности II-IV. Общее количество опасных веществ на рассматриваемом заводе составляет около 367 тыс. т (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1. Опасные вещества, обращающиеся в технологическом процессе, т

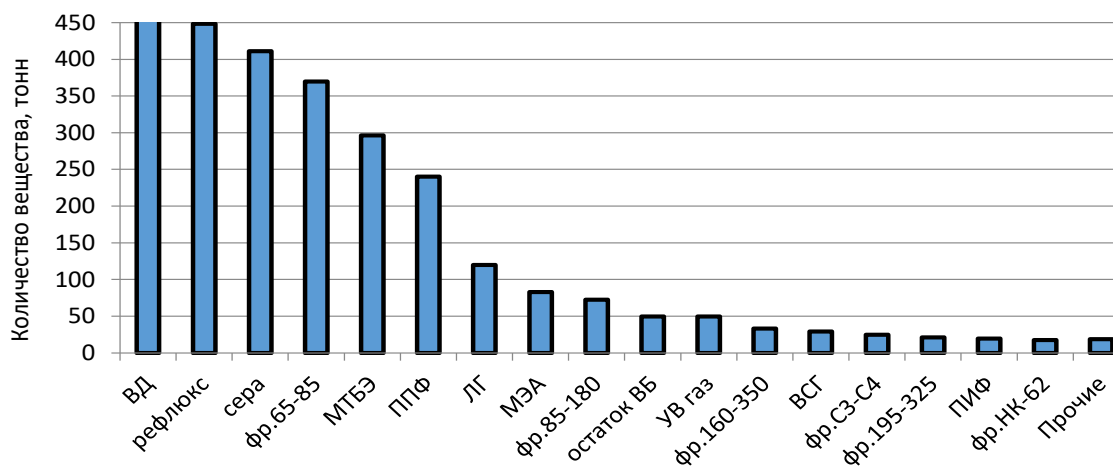
№ п/п	Наименование опасного вещества	Класс опасности опасного вещества	Количество опасных веществ, т	
			в аппаратах	в трубопроводах
1	2	3	4	5
1	Нефть	IV	84339,4	4217,0
2	Бензин	IV	83042,4	5028,5
3	ДТ	IV	61644,6	3095,2
4	ВГ	IV	50917,1	2545,6
5	Мазут	IV	49010,2	2450,5
6	Конденсат	IV	13732,1	686,6
7	Метанол	III	874,0	43,7
8	ББФ	IV	806,1	40,3
9	Гудрон	IV	636,3	31,8
10	Рефлюкс	IV	427,2	21,4
11	Вакуумный дистиллят	IV	423,7	32,6
12	Сера	II	391,5	19,6
13	фр.65-85	IV	354,5	15,0
14	МТБЭ	IV	282,3	14,1
15	ППФ	IV	228,6	11,6
16	ЛГ	IV	114,1	5,7
17	МЭА	II	79,0	4,0
18	фр.85-180	IV	68,8	3,6
19	Остаток висбрекинга	IV	47,3	2,4
20	УВ газ	IV	47,2	2,4
21	фр.160-350	IV	30,5	2,7
22	ВСГ	IV	28,3	0,9
23	фр.С3-С4	IV	23,4	1,2
24	ЛКГ (фр.195-325)	IV	20,3	1,0
25	ПИФ	IV	18,2	1,2
26	фр.НК-62	IV	16,8	0,8
27	ТКГ (фр.325-420)	IV	8,2	0,4
28	фр.выше 420	IV	6,2	0,3
29	Сероводород	II	3,10	0,15
30	Топливный газ	IV	0,18	0,01
31	Кислый газ	II	0,17	0,02
32	Водород с PSA	IV	0,008	0,003
	ИТОГО		348415	18248
	ВСЕГО		366663	

Установлено, что наибольшее количество среди опасных веществ составляют нефть и бензин, относящиеся к IV классу опасности. ПДК в воздухе рабочей зоны нефти составляет 10 мг/м³, бензина – 100 мг/м³

(рисунок 2). Близкое значение составляет и доля других продуктов переработки нефти - дизельного топлива, мазута и вакуумного газойля, которые относятся к IV классу опасности с ПДК в воздухе рабочей зоны 300 мг/м^3 (рисунок 2). Остальные 27 опасных веществ, участвующих в технологическом процессе переработки нефти, содержатся на заводе в количестве менее 1000 т каждое. Распределение опасных веществ по установкам представлено ниже (таблица 2, рисунок 3).



а – основные вещества технологического процесса



б – прочие вещества технологического процесса

Рисунок 1. Количество опасных веществ, обращающихся в технологических процессах нефтепереработки

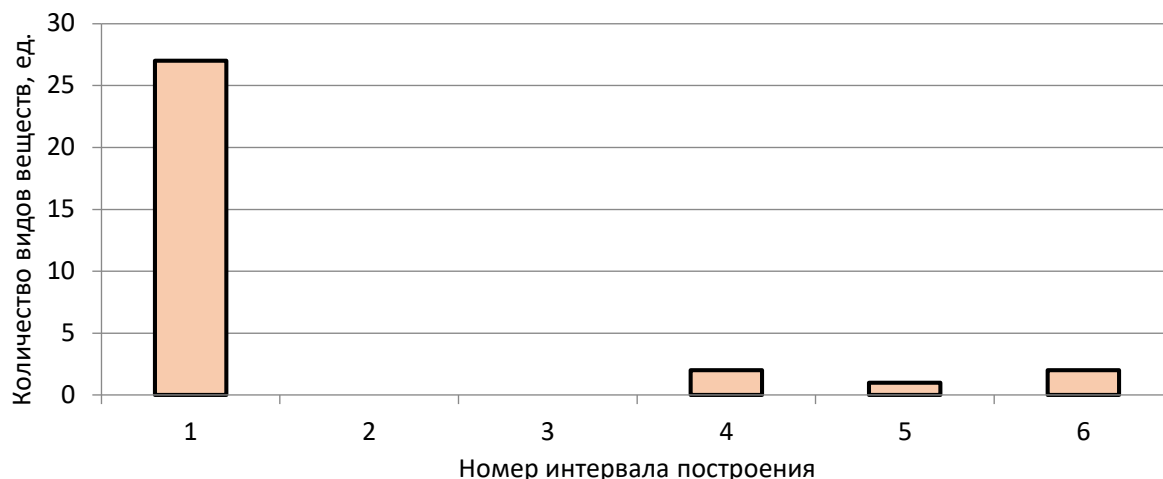


Рисунок 2. Полигон частот распределения видов опасных веществ по количеству в технологическом процессе переработки нефти

Таблица 2. Количество опасных веществ, обращающихся в установках НПЗ, т

№ п/п	Наименование блока технологического процесса	Кол-во опасных веществ в блоке, т	Доля опасных веществ в блоке, %
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Товарное производство (УРП)	205887	59,093
2	Товарное производство (ТГТП)	83678	24,017
3	Товарное производство (ГППБ)	38300	10,993
4	Товарное производство (Эстакад. хоз-во)	10862	3,118
5	АВТ-6	2889	0,829
6	Парк СГ	1250	0,359
7	Факел и склад метанола	1129	0,324
8	Висбрекинг гудрона	844	0,242
9	АВТ-2	748	0,215
10	УПС	402	0,115
11	Г-43-107М/1 (секция 200)	372	0,107
12	Г-43-107М/1 (секция 300)	345	0,099
13	Л-24-5	335	0,096
14	Л-24-7	327	0,094
15	Г-43-107М/1 (секция 100)	284	0,082
16	УГКК	232	0,067
17	Изориформинг	225	0,064
18	Г-43-107М/1 (блок МТБЭ)	142	0,041
19	Л-35-5	90	0,026
20	Л-24-300	72	0,021
	ВСЕГО	348415	100

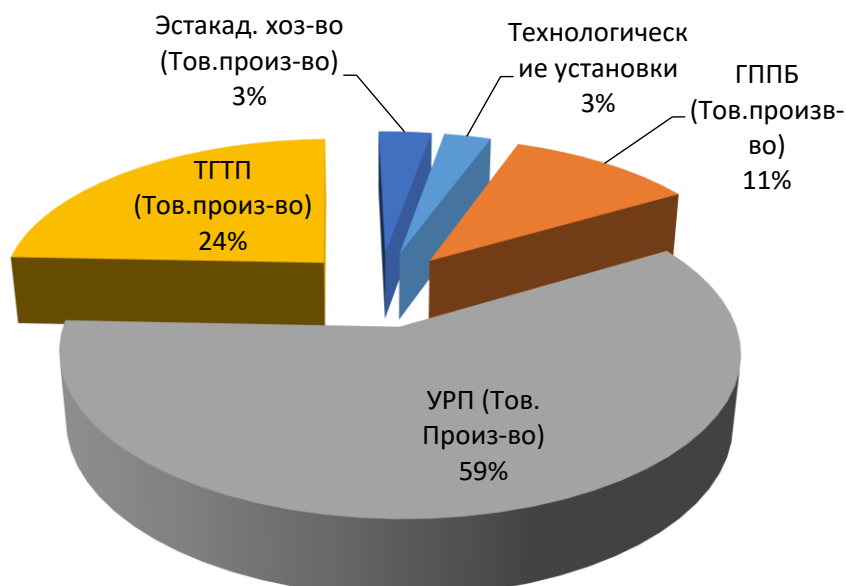


Рисунок 3. Количество опасных веществ, обращающихся в подразделениях завода

Товарное производство сконцентрировало в резервуарах наибольшее количество опасных веществ – около 97 %. Однако наибольшую опасность с точки зрения возникновения аварийной ситуации представляют непосредственно технологические установки с максимальным давлением и температурой (рисунок 4).

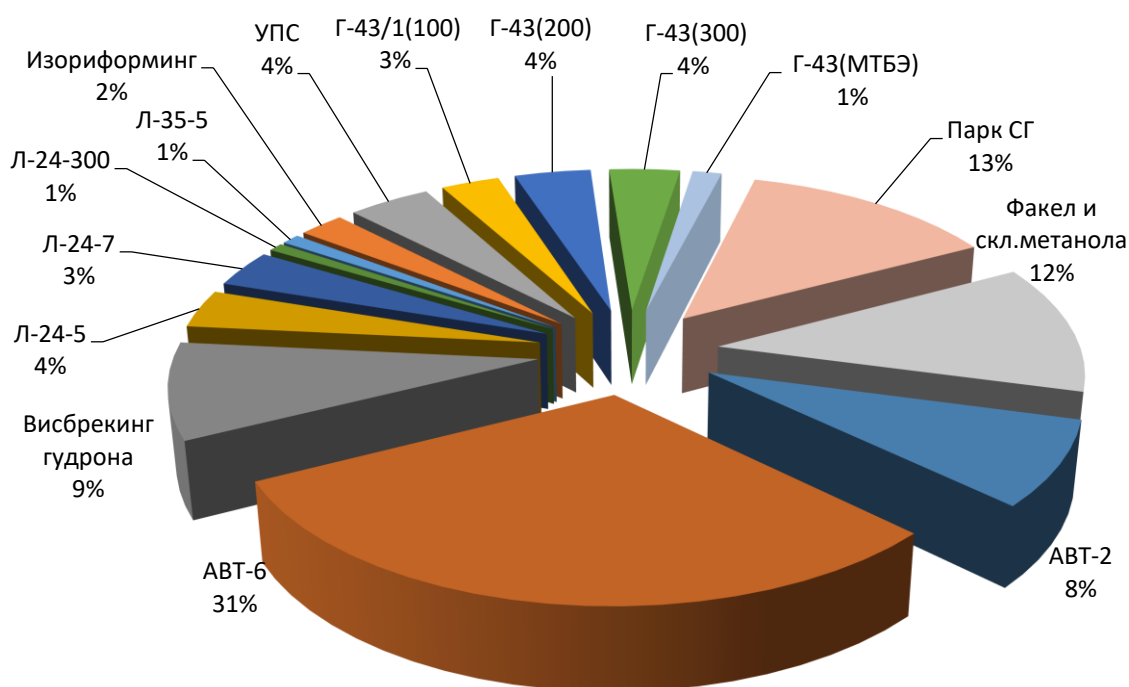


Рисунок 4. Опасные вещества, обращающиеся в технологических установках НПЗ

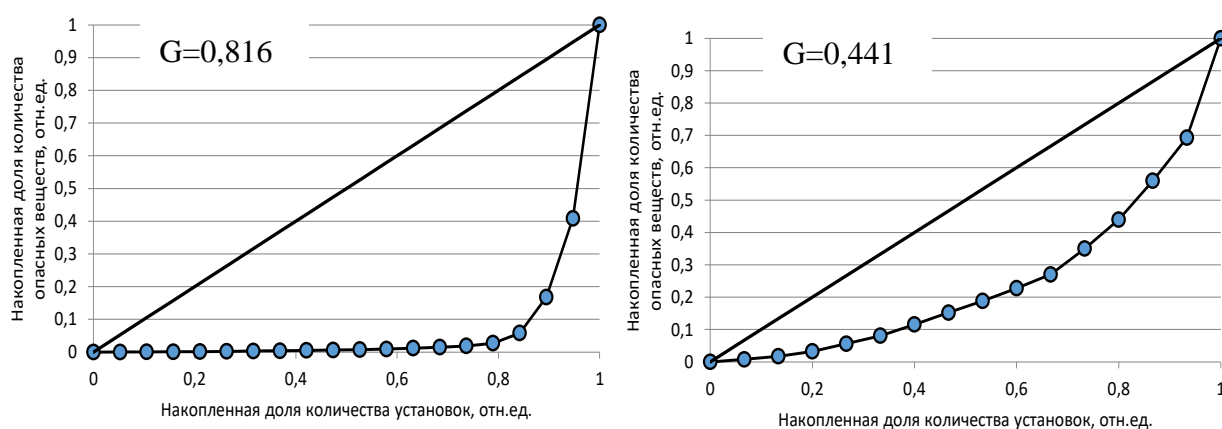
Материальный баланс технологической части завода показал, что наибольшее количество опасных веществ обращается на установках первичной переработки нефти АВТ-2 и АВТ-6 и на установке висбрекинг гудрона, в которой реализуется термический крекинг тяжелого сырьевого остатка.

Для количественной оценки опасности возникновения пожара или взрыва горючих технологических потоков был использован метод обобщенных показателей промышленного оборудования.

Выше в таблице 2 представлены сведения о количестве опасных веществ технологических установок, по которым можно определить неравномерность распределения технологических потоков по установкам завода.

Для построения графической интерпретации неравномерности распределения горючих и взрывоопасных веществ определены накопленные доли количества веществ и количества установок и прочих подразделений завода, начиная с самых малопродуктивных и постепенно включая более крупные.

По результатам определения накопленных показателей построен график зависимости накопленного количества опасных веществ от накопленной доли количества объектов (рисунок 5).



а – для всех производств НПЗ

б – для технологических установок НПЗ

Рисунок 5. График распределения количества опасных веществ (кривая Лоренца)

Зависимость накопленного количества опасных веществ от накопленной доли количества технологических установок получила название "кривая Лоренца". Кривая Лоренца впервые была предложена американским экономистом Лоренцом как показатель неравенства в доходах населения при изучении экономических закономерностей развития общества. В случае, когда неравномерность распределения отсутствует, кривая Лоренца трансформируется в прямую линию (на графике над кривой Лоренца) –линию абсолютного равенства.

В нашем случае, чем ближе кривая Лоренца к линии абсолютного равенства, тем равномернее распределено количество опасных веществ по установкам переработки нефти. В крайнем случае, когда установки загружены абсолютно одинаково, кривая Лоренца вырождается в биссектрису угла координат.

Степень отклонения кривой Лоренца от этой линии можно оценить через отношение площади фигуры между кривой Лоренца и линией абсолютного равенства и площади треугольника, расположенного под линией абсолютного равенства, называемое коэффициентом Джини G :

$$G = \frac{S_1}{S_2}.$$

Здесь S_1 – площадь между линией абсолютного равенства и кривой Лоренца; S_2 – площадь треугольника под линией абсолютного равенства.

В современной науке коэффициент Джини используется для описания степени равномерности распределения какого-либо обобщенного показателя по его составляющим. При полном равенстве вклада каждого компонента значение коэффициента близко к нулю, если же совокупность крайне дифференцирована по доле каждого компонента, то его величина приближается к единице.

При решении задач оценки промышленной опасности нефтеперерабатывающих комплексов с помощью коэффициента Джини удобно определять неравномерность распределения опасных веществ по

установкам. Чем ближе значение коэффициента Джини к нулю, тем ближе кривая Лоренца к линии абсолютного равенства и, соответственно, тем равномернее распределение по территории предприятия опасности возникновения пожара или взрыва на технологических установках и в системе трубопроводных коммуникаций.

На рисунке 5а приведена кривая Лоренца распределения взрывоопасных веществ на нефтеперерабатывающем заводе с учетом всех производств. Коэффициент Джини составляет 0,816, что свидетельствует о крайне неравномерном распределении опасных веществ по объектам завода. Причиной этого является наличие товарного производства с резервуарным парком. Количество обращающихся в нем взрывоопасных веществ - в основном товарная продукция завода - составляет более 97 % от суммарных показателей предприятия.

Принимая во внимание минимальные параметры опасных веществ в товарном производстве – практически атмосферное давление и температура, близкая к температуре окружающей среды – особый интерес представляет уровень промышленной опасности на технологических установках. Именно в технологических процессах оборудования давление и температура достигают максимальных значений (давление до 17 МПа, температура до 1200 °С в оборудовании установки Изомеризации), способствующих возникновению утечки и последующих пожара или взрыва.

Для ранжирования технологических установок завода за исключением товарного производства была построена кривая Лоренца на рисунке 5б. Значение коэффициента Джини составило 0,441 – это свидетельствует об умеренной неравномерности распределения взрывоопасных веществ по технологическим установкам завода.

Преимущество представленного метода состоит в том, что алгоритм обобщенной оценки уровня загрузки технологических установок опасными веществами рассматривает нефтеперерабатывающее

производство как единое целое. Такое свойство предложенного метода позволяет оценить вклад каждой установки в итоговые показатели промышленной безопасности завода и разработать адресные мероприятия по снижению опасности возникновения пожара или взрыва.

Выводы

1. Проведена дифференциация производств и технологических установок нефтеперерабатывающего завода по уровню промышленной безопасности с учетом количества обращающихся в процессе опасных веществ 32 наименований. Показано, что среди технологических установок максимальное количество опасных веществ – 31 % - сосредоточено в оборудовании установки первичной переработки нефти АВТ-6.

2. Проведена качественная оценка распределения опасных веществ по объектам построением кривой Лоренца. Количественная оценка распределения дана по значению коэффициента Джини. Повышенное значение коэффициента - 0,441 - свидетельствует о локальном снижении уровня промышленной безопасности и дифференциации установок по количеству взрывоопасных веществ в умеренной степени.

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. URL: http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf (дата обращения: 20.06.2017).

2 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. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2016/ogbus_5_2016_p193-206_SmorodovaOV_ru.pdf (дата обращения: 20.06.2017).

3 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. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22907144_27874429.pdf (дата обращения: 20.06.2017).

4 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.

5 Байков И. Р., Смородова О. В., Сергеева К. В. Оценка обобщенных показателей промышленной безопасности технологических установок нефтеперерабатывающего завода // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 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).

6 Смородова О. В., Сергеева К. В. Факторы рабочей среды предприятий нефтегазовой отрасли // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 2017. № 2. С. 130-143. URL: http://ogbus.ru/issues/2_2017/ogbus_2_2017_p130-143_SmorodovaOV_ru.pdf (дата обращения: 20.06.2017).

References

- 1 Shavaleev D. A., Abdrahmanov N. H. Upravlenie promyshlennoj bezopasnost'ju ob#ektov toplivno-jenergeticheskogo kompleksa na osnove analiza i monitoringa riskov// Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn./UGNTU. 2012. № 6. S. 435-441. URL: http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf (data obrashhenija: 20.06.2017). [in Russian].
- 2 Smorodova O. V., Kitaev S. V., Sergeeva K. V. Povyshenie vzryvopozharnoj bezopasnosti primeneniem ognepregraditelej nasadochnogo tipa// Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn./UGNTU. 2016. №5. S. 193-206. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2016/ogbus_5_2016_p193-206_SmorodovaOV_ru.pdf (data obrashhenija: 20.06.2017). [in Russian].
- 3 Smorodov E. A., Deev V. G., Ismakov R. A. Metody jekspress-ocenki kachestva fonda neftedobyvajushhih skvazhin//Izvestija VUZov. Neft' i gaz. 2001. № 1. S. 40-44. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22907144_27874429.pdf (data obrashhenija: 20.06.2017). [in Russian].
- 4 Bajkov I. R., Smorodov E. A., Ahmadullin K. R. Metody analiza nadezhnosti i jeffektivnosti sistem dobychi i transporta uglevodorodnogo syr'ja. M.: OOO «Nedra-Biznescentr». 2003. 275 s. [in Russian].
- 5 Bajkov I. R., Smorodova O. V., Sergeeva K. V. Ocenka obobshhennyh pokazatelej promyshlennoj bezopasnosti tehnologicheskikh ustanovok neftepererabatyvajushhego zavoda // Neftegazovoe delo: jelektron.nauch. zhurn./UGNTU. 2016. № 6. S. 138-150. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p138-150_BaikovIR_ru.pdf (data obrashhenija: 20.06.2017). [in Russian].

6 Smorodova O. V., Sergeeva K. V. Faktory rabochej sredy predpriyatij neftegazovoj otrasli // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn./UGNTU. 2017. № 2. S. 130-143. URL: http://ogbus.ru/issues/2_2017/ogbus_2_2017_p130-143_SmorodovaOV_ru.pdf (data obrashhenija: 20.06.2017). [in Russian].

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

e-mail: olga_smorodova@mail.ru

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 the Chair «Transport and Storage of Oil and Gas», FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

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, Russian Federation