

ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА

СМОРОДОВА О. В., БАЙКОВ И. Р., КИТАЕВ С. В., БЕРЕЖНОВ Д. А.

В статье рассмотрены вопросы оценки уровня промышленной безопасности одного из дочерних обществ ПАО «Газпром». Непрерывный контроль технологических параметров эксплуатации газотранспортной системы обеспечивает возможность оценки энергетической эффективности газоперекачивающего оборудования и прогнозирования аварийных ситуаций на единичной установке. Однако мониторинг параметров работы основного и вспомогательного оборудования компрессорных станций не позволяет решить вопрос о состоянии промышленной безопасности в дочернем обществе как едином целом. Поэтому задача интегральной оценки совокупности газоперекачивающего оборудования и линейной части магистральных газопроводов представляется актуальной. В работе рассмотрен способ оценки интегрального показателя безопасности системы магистральных газопроводов с помощью кривой Лоренца. В качестве параметра, определяющего степень промышленной опасности компрессорных станций, принято суммарное количество опасных веществ, обращающихся в аппаратах и трубопроводах каждого линейного производственного управления магистральных газопроводов: природный газ, метилмеркаптан, диэтиленгликоль, метиловый спирт, турбинное и автомобильное масло, бензин, керосин, дизельное топливо. Класс опасности каждого опасного вещества находится в диапазоне от 2 до 4. Количественным критерием такой интегральной оценки принят коэффициент Джини. Результаты построения кривой Лоренца позволили определить коэффициент Джини по системе магистральных газопроводов региона с учетом расположения компрессорных станций. В работе сделаны выводы о распределении опасных веществ по системе магистральных и распределительных газопроводов. Определен предлагаемый интегральный критерий промышленной безопасности Джини для дочернего общества как единого целого объекта. Показано, что интегральный коэффициент Джини составляет 0,282, что свидетельствует об умеренно неравномерном распределении опасных веществ по системе перекачки магистрального газа региона.

Ключевые слова: опасное вещество; кривая Лоренца; коэффициент Джини; промышленная безопасность; ранжирование.

Система магистрального транспорта газа во многом определяет стратегию развития страны и ее отношений с партнерами на международном рынке [1].

Смородова Ольга Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики. 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Уфимский государственный нефтяной технический университет. E-mail: olga_smorodova@mail.ru

Байков Игорь Равильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики. 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Уфимский государственный нефтяной технический университет. E-mail: pte@rusoil.net

Китаев Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа. 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Уфимский государственный нефтяной технический университет. E-mail: svkitaev@mail.ru

Бережнов Дмитрий Александрович – студент кафедры транспорта и хранения нефти и газа, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Уфимский государственный нефтяной технический университет. E-mail: Bereg.dmit@gmail.com

Вместе с тем объекты газотранспортной системы представляют один из главных источников пожаро- и взрывоопасности, а также напряженной техногенной и экологической обстановки [2]. Повышение безопасности компрессорных станций и вспомогательных подразделений системы является основным способом предотвращения угроз техногенного характера [3].

Риск возникновения катастроф и аварий, масштабы их последствий напрямую зависят от энергетической мощности единичных производственных объектов, своевременности обновления технологического и вспомогательного оборудования. Кроме того, виды и количество опасных и вредных веществ, обращающихся в технологическом процессе, следует рассматривать как важнейшие предпосылки негативного влияния техносферы на окружающую среду и человека [4].

Наиболее масштабные аварии на трубопроводах перекачки нефтепродуктов и углеводородного сырья в большинстве случаев происходят из-за возникновения источника утечки горючей среды при разгерметизации трубопроводов и/или оборудования (Улу-Теляк, 1989 г.). Многие вещества, будучи взрыво- и огнеопасными [5], являются также токсичными и могут вызывать отравление человека в концентрации значительно меньшей, чем взрывоопасная [6].

Опасные вещества, обращающиеся в технологическом процессе магистрального транспорта газа и содержащиеся на площадках компрессорных станций ЛПУМГ

Опасное вещество	Аппараты КС, т	Трубопроводы КС, т	В магистральных и распределительных газопроводах, т	На площадках компрессорных станций ЛПУМГ, %
Природный газ	785,6	5010,4	575 612,7	44,63
Турбинное масло	5648,94	47,6	–	44,11
Керосин	236,1	–	–	2,15
Одорант	50,9	0,2	–	0,10
Дизельное топливо	305,2	–	–	2,95
Диэтиленгликоль	377,9	3,0	–	2,07
Бензин	831,9	612,6	–	2,01
Автомобильное масло	39,0	–	–	0,22
Газоконденсат	293,0	87,1	–	0,01
Метанол	611,8	59,4	–	1,75
<i>Всего</i>	9180,3	5820,4	575 612,7	100,00
<i>Итого</i>		590 613,4		100,00

Непрерывный контроль технологических параметров эксплуатации газотранспортной системы обеспечивает возможность оценки энергетической эффективности газоперекачивающего оборудования [7] и прогнозирования аварийных ситуаций на единичной установке. Однако мониторинг параметров работы основного и вспомогательного оборудования компрессорных станций [8] не позволяет решить вопрос о состоянии промышленной безопасности в дочернем обществе как едином целом. Поэтому задача интегральной оценки совокупности газоперекачивающего оборудования и линейной части магистральных газопроводов (МГ) представляется актуальной.

Оценка влияния системы магистральных газопроводов на уровень промышленной безопасности в регионе расположения выполнена на примере одного из дочерних обществ ПАО «Газпром». Технологический процесс перекачки магистрального газа реализуется мощностями 16 компрессорных станций (КС) в составе 12 линейных производственных управлений магистральных газопроводов (ЛПУМГ).

Основными технологическими объектами ЛПУМГ являются линейная часть магистральных газопроводов и газопроводов-отводов, компрессорные станции, газораспределительные станции (ГРС), автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС).

В технологическом процессе магистральной перекачки природного газа и его распределении потребителям обращаются 10 опасных для человека веществ общим количеством около 600 тыс. т (таблица).

Анализ структуры опасных веществ показал, что около 90 % всего количества, обращающегося в оборудовании и трубопроводах компрессорных станций, составляют природный газ и турбинное масло, причем в магистральных газопроводах содержится 97 %, в аппаратах КС – 2 %, в трубопроводах КС – 1 % всего количества опасных и вредных веществ. Распределение количества опасных веществ по компрессорным станциям и магистральным газопроводам показано на рис. 1.

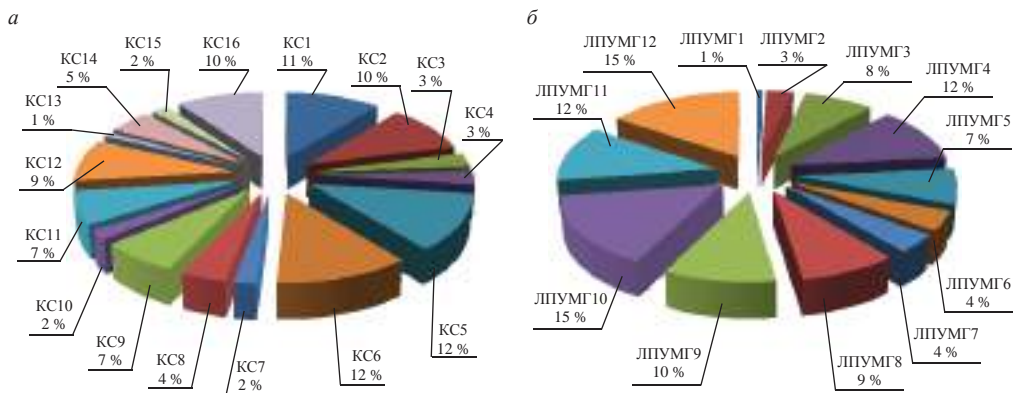


Рис. 1. Структура опасных веществ по месту обращения в процессе магистрального транспорта природного газа:

а – локально на КС; б – равномерное распределение по газопроводам каждого ЛПУМГ

Пространственная привязка количества опасных веществ к координатам территории региона показала, что максимальное количество опасных веществ сосредоточено по линии северо-западного направления области в соответствии с коридором магистральных газопроводов (рис. 2).

Установлена взаимосвязь количества опасных веществ с мощностью КС, коэффициент корреляции составляет 0,94.

Для количественной оценки распределения промышленного риска по территории системы транспорта газа использован метод обобщенных показателей опасности. В качестве критерия для анализа системы рассмотрено количество обращающихся опасных веществ. Именно этот параметр определяет масштабы аварии и ее технико-экономические последствия.

Методы оценки безопасности эксплуатации каждой компрессорной станции и линейной части магистральных газопроводов позволяют создать шкалу оценок промбезопасности каждого оборудования. Однако подобная информация недостаточна для определения уровня промышленной безопасности системы транспорта магистрального газа в целом, рассматриваемой как единый объект.

Предлагаемое в работе построение комплексного показателя какой-либо совокупности основано на построении кривой Лоренца и использовании коэффициента Джини [9]. Коэффициент Джини K_d используется для описания степени неравномерности распределения какого-либо обобщенного 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 общий результат всей системы [10]. Для поставленной задачи об оценке уровня промышленной безопасности системы магистрального транспорта газа вклад каждой компрессорной станции – количество опасных веществ в оборудовании и газопроводах.

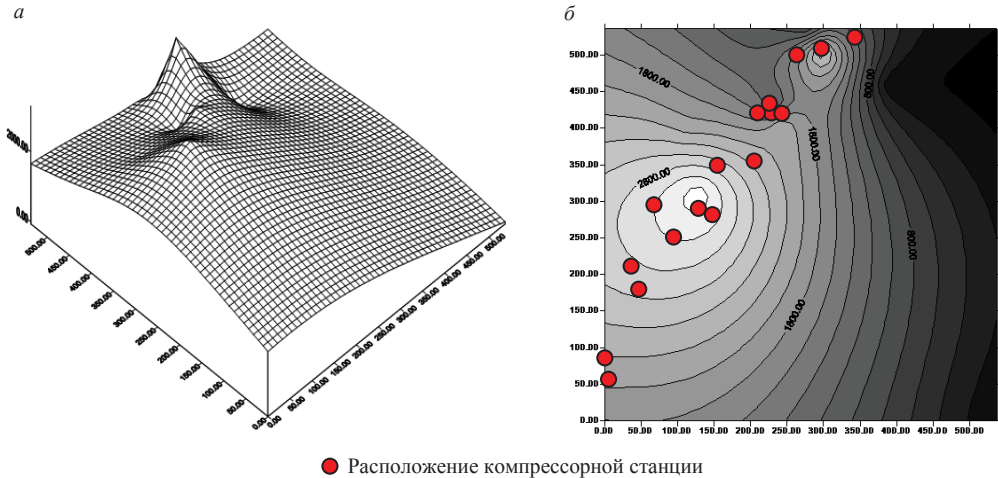


Рис. 2. Распределение опасных веществ по территории региона:
а – трехмерное представление; б – визуализация изолиний

Методика, изложенная авторами [9], реализована для оценки уровня промышленной безопасности 16 компрессорных станций 12 ЛПУМГ рассмотренного дочернего общества. На рис. 3 приведена кривая Лоренца распределения опасных веществ по КС газотранспортной системы. Коэффициент Джини составляет 0,282.

Таким образом, можно заключить, что компрессорные станции по количеству опасных веществ характеризуются умеренной неравномерностью их распределения.

Представленный метод позволяет определять коэффициент Джини и на разных этапах цикла эксплуатации газотранспортной системы, и в пределах дочерних обществ. Преимущества такого подхода состоят в том, что независимо от конкретных условий и особенностей системы магистрального транспорта газа ее промышленная безопасность характеризуется с помощью единого обобщенного коэффициента. Такой подход определяет универсальность данного параметра и возможность сравнения показателей промышленной безопасности различных газотранспортных систем.

Итак, для дочернего общества ПАО «Газпром» проведена интегральная оценка ЛПУМГ по количеству обращающихся опасных веществ (всего 10 наименований). Представлена трехмерная визуализация распределения количества опасных веществ по территории региона локализации. Идентифицированы области с пониженным уровнем промышленной безопасности, соответствующие максимальной концентрации опасных веществ на компрессорных станциях. Установлена высокая взаимосвязь количества опасных веществ с установленной мощностью КС, коэффициент корреляции составляет 0,94.

Оценка равномерности распределения опасных веществ по ЛПУМГ реализована построением кривой Лоренца. Количественная оценка распределения уровня безопасности дана по значению коэффициента Джини K_d . Показано, что значение $K_d = 0,282$ свидетельствует об умеренно неравномерном распределении

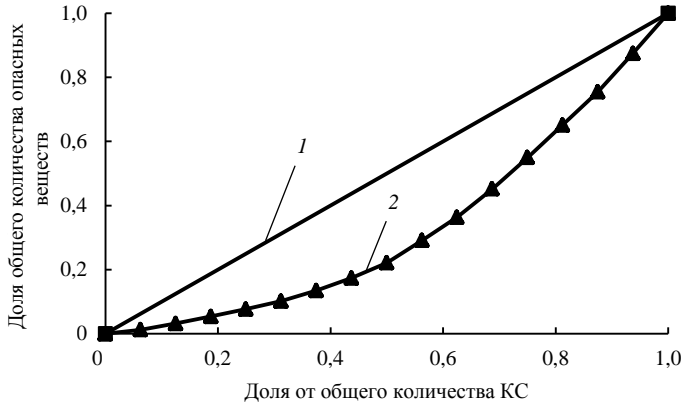


Рис. 3. Распределение опасных веществ по КС газотранспортной системы:
1 – теоретическое; 2 – фактическое (кривая Лоренца)

опасных веществ по КС системы магистральных газопроводов. Преимущество коэффициента Джини перед среднеарифметическим значением для анализируемой группы заключается в более адекватной оценке, позволяющей учесть ранги анализируемых признаков в группах, при этом исключается влияние отдельных КС с доминирующим значением признака.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байков И. Р., Китаев С. В., Фарухшина Р. Р. Определение показателей энергоэффективности газоперекачивающих агрегатов с применением нейронных сетей // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2015. № 1. С. 141–152. URL: http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p141-152_VaikovIR_ru.pdf (дата обращения: 29.03.2017).
2. Китаев С. В., Смородова О. В., Кузнецова Е. В. Восстановление зависимости параметров внешней газовой среды предприятий нефтепереработки // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2016. № 6. С. 121–137. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p121-137_KitaevSV_ru.pdf (дата обращения: 29.03.2017).
3. Шавалеев Д. А., Абдрахманов Н. Х. Управление промышленной безопасностью объектов топливно-энергетического комплекса на основе анализа и мониторинга рисков // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2012. № 6. С. 435–441. URL: http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf (дата обращения: 29.03.2017).
4. 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.
5. Байков И. Р., Смородова О. В., Сергеева К. В. Оценка обобщенных показателей промышленной безопасности технологических установок нефтеперерабатывающего завода // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2016. № 6. С. 138–150. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p138-150_VaikovIR_ru.pdf (дата обращения: 29.03.2017).
6. Смородова О. В., Китаев С. В., Сергеева К. В. Повышение взрывопожарной безопасности с помощью огнепреградителей насадочного типа // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2016. № 5. С. 193–206. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2016/ogbus_5_2016_p193-206_SmorodovaOV_ru.pdf (дата обращения: 29.03.2017).
7. Байков И. Р., Кузнецова М. И., Китаев С. В. Определение показателей энергоэффективности в магистральном транспорте газа // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 3. С. 46–49.
8. Байков И. Р., Китаев С. В., Шаммазов И. А. Перспективы энергоресурсосбережения в условиях длительно эксплуатируемой газотранспортной системы // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2012. № 4. С. 9–13.
9. Байков И. Р., Смородов Е. А., Ахмадуллин К. Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. М.: Недра-Бизнесцентр, 2003. 275 с.

10. Смородов Е. А., Деев В. Г., Исмаков Р. А. Методы экспресс-оценки качества фонда нефтескважин // Изв. вузов. Нефть и газ. 2001. № 1. С. 40–44.

Поступила в редакцию 25 апреля 2017 года

INTEGRAL INDICATORS OF INDUSTRIAL SAFETY OF GAS TRANSPORTATION OBJECTS EVALUATION

Smorodova O. V., Baikov I. R., Kitaev S. V., Berezhnov D. A. – Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation. E-mail: olga_smorodova@mail.ru

The article considers the issues of assessing the level of industrial safety of one of the subsidiaries of PJSC Gazprom. Continuous monitoring of technological parameters of operation of the gas transportation system provides an opportunity to assess the energy efficiency of gas pumping equipment and to forecast emergency situations on a single installation. However, monitoring the parameters of the main and auxiliary equipment of the compressor stations does not allow to solve the issue of the industrial safety state in the Subsidiary Society as a single whole. Therefore, the problem of an integral evaluation of gas pumping equipment and the linear part of the main gas pipelines seems to be relevant. The paper considers a method for estimating the integral safety index of a main gas pipelines system using the Lorenz curve. As a parameter determining the degree of industrial danger of compressor stations, the total amount of hazardous substances circulating in the apparatus and pipelines of each linear production governance of main gas pipelines is taken: natural gas, methyl mercaptan, diethylene glycol, methyl alcohol, turbine and motor oil, gasoline, kerosene, diesel fuel. The hazard class of each dangerous substance is in the range from 2 to 4. The quantitative criterion for such an integral evaluation is the Gini coefficients. The results of constructing the Lorenz curve allowed us to determine the Gini coefficient for the system of the main gas pipelines of the region, taking into account the location of compressor stations. Conclusions are drawn about the distribution of hazardous substances through the system of main and distribution gas pipelines. Integral criterion of industrial safety for the Subsidiary Society as a single whole object is determined. It is shown that the integral coefficient of Gini is 0.282, which indicates a uniform distribution of hazardous substances through the transmission system of the region.

Key words: hazardous substance; Lorenz curve; Gini index; industrial security; ranging.

REFERENCES

1. Baikov I. R., Kitaev S. V., Farukhshina R. R. [Definition of energy efficiency indicators of gas transfer units with application of neural networks]. *Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. – Oil and Gas Business. The Electronic Scientific Journal*, 2015, no. 1, pp. 141–152. Available at: http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p141-152_BaikovIR_ru.pdf. (Access date 29th March, 2017).
2. Kitaev S. V., Smorodova O. V., Kuznetsova E. V. [The correlation restoration between explosive atmosphere parameters of oil refining enterprise]. *Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. – Oil and Gas Business. The Electronic Scientific Journal*, 2016, no. 6, pp. 121–137. Available at: http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p121-137_KitaevSV_ru.pdf. (Access date 29th March, 2017).
3. Shavaleev D. A., Abdrakhmanov N. Kh. [Management of industrial safety of objects of fuel and energy complex on the basis of the analysis and the monitoring of risks]. *Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. – Oil and Gas Business. The Electronic Scientific Journal*, 2012, no. 6, pp. 435–441. Available at: http://ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf. (Access date 29th March, 2017).
4. Kireev I. R., Zakirova Z. A., Latypova E. A. [Methods of eliminating the risk of explosions and fires at OOO RN-Yuganskneftegaz]. *Bezopasnost' zhiznedeiateľnosti – Life Safety*, 2015, no. 10(178), pp. 37–39. (In Russ.)
5. Baikov I. R., Smorodova O. V., Sergeeva K. V. [Industrial security generalized indicators evaluation of oil refinery technology systems]. *Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. – Oil and Gas Business. The Electronic Scientific Journal*, 2016, no. 6, pp. 138–150. Available at: http://ogbus.ru/issues/6_2016/ogbus_6_2016_p138-150_BaikovIR_ru.pdf. (Access date 29th March, 2017).
6. Smorodova O. V., Kitaev S. V., Sergeeva K. V. [The explosion security improving by packed type flame arresters]. *Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. – Oil and Gas Business. The Electronic Scientific Journal*, 2016, no. 5, pp. 193–206. Available at: http://ogbus.ru/issues/5_2016/ogbus_5_2016_p193-206_SmorodovaOV_ru.pdf. (Access date 29th March, 2017).
7. Baikov I. R., Kuznetsova M. I., Kitaev S. V. [Determination of indicators of power efficiency of gas turbine and gas transfer units]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ia – Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2013, no. 3, pp. 46–49. (In Russ.)
8. Baikov I. R., Kitaev S. V., Shammazov I. A. [The prospects of energy conservation in conditions of protractedly exploited gas pipeline system]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ia – Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2012, no. 4, pp. 9–13. (In Russ.)
9. Baikov I. R., Smorodov E. A., Akhmadullin K. R. *Metody analiza nadezhnosti i effektivnosti sistem dobychi i transporta uglevodorodnogo syr'ia* [Methods of reliability and efficiency analysis for the systems of production and transportation of hydrocarbon crude]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2003. 275 p.
10. Smorodov E. A., Deev V. G., Ismakov R. A. [The methods of express-estimation of oil producing wells fund quality]. *Izvestiia vuzov. Neft' i gaz – Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2001, no. 1, pp. 40–44. (In Russ.)