

**УДК 331.45**

**ГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГО  
КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**

**GRAPHICAL ANALYSIS OF FIRE AND EXPLOSION SAFETY  
OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE OPERATING BOILER PLANTS**

**А.И. Щелчкова, Л.Ф. Хасанова, А.Р. Галеева, О.Г. Мартынова,  
Р.И. Ахметшин, С.Т. Рахманова**

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

**К.Ш. Ямалетдинова**

**Челябинский государственный университет,  
г. Челябинск, Российская Федерация**

**З.А. Янгуразова**

**Башкирский государственный университет,  
г. Уфа, Российская Федерация**

**Anastasia I. Shchelchkova, Leysyan F. Khasanova, Alina R. Galeeva,  
Olga G. Martynova, Rustam I. Akhmetshin, Svetlana T. Rakhmanova**

**Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation**

**Klara Sh. Yamaletdinova**

**Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation**

**Zemfira A. Yangurazova**

**Bashkir State University, Ufa, Russian Federation.**

**e-mail: ahmetshin@bk.ru**

**Аннотация.** Котельные установки – это комплекс устройств, которые расположены в специальных помещениях. Они служат для превращения химической энергии топлива в тепловую энергию горячей воды или пара. Котельные установки различаются по видам применяемого топлива: газовые, твердотопливные, жидкотопливные и комбинированные. Газовые котельные в настоящее время являются одними из наиболее востребованных установок благодаря высокой эффективности, довольно дешевому топливу и простоте эксплуатации. Однако широкое применение газового топлива на производстве может привести к непредвиденным аварийным ситуациям. Аварийные ситуации могут возникать по разным причинам, основными из них являются некачественные монтаж и ремонт оборудования, коррозия, сбой в системе автоматизации, ошибка персонала, внешние факторы и др. Одной из главных опасностей при возникновении аварийных ситуаций в котельных являются разгерметизация или повреждение газопровода с утечкой взрывоопасного газа и последующим взрывом образующегося облака парогазовоздушной смеси. По статистическим данным известно, что примерно 80–85 % аварий сопровождаются взрывом и пожаром. Как правило, взрывы и пожары возникают вследствие искр, которые, в свою очередь, появляются в результате взаимодействия и трения частиц топлива (газа) с металлами и твердыми частицами грунтовой поверхности. Такие аварии принято приравнивать к чрезвычайным ситуациям, поскольку они могут повлечь за собой человеческие жертвы, значительные материальные убытки, нарушения жизнедеятельности людей, а также нанести глобальный ущерб окружающей среде. В связи с этим исследование данной проблемы в настоящее время является актуальным. В данной работе рассмотрены основные проблемы пожаровзрывобезопасности котельных установок и проведен их анализ с помощью графических методов, таких как диаграмма Парето, диаграмма Исикавы, круговая диаграмма, сектограмма и дерево событий.

**Abstract.** Boiler installations are a set of devices that are located in special rooms. They serve to change the chemical energy of the fuel in the thermal energy of hot water or steam. Boiler installations differ in the types of fuel used: gas, solid fuel, liquid fuel and combined. Gas boiler houses are currently one of the most demanded installations, due to high efficiency, rather cheap fuel and ease of operation. However, the widespread use of gas fuel in production can lead to unforeseen emergency situations. Emergency situations can arise for various reasons, but the main ones are: poor-quality installation and repair of equipment, corrosion, failures in the automation system, personnel error, external factors, etc.

Also, one of the main dangers, in the event of emergencies in the boiler houses, is the depressurization or damage to the gas pipeline with the leakage of explosive gas and the subsequent explosion of the resulting cloud of the gas-and-air mixture. According to statistics, it is known that approximately 80-85% of accidents are accompanied by an explosion and a fire. As a rule, explosions and fires are caused by sparks, which in turn result from the interaction and friction of particles of fuel (gas) with metals and solid particles of the ground surface. Such accidents are considered to be equated to emergency situations, as they can entail human casualties, significant material losses, disruptions in people's lives, and also cause global damage to the environment. In this regard, the study of this problem is currently relevant. In this paper, the main problems of fire and explosion safety of boiler plants are analyzed and analyzed using graphical methods such as Pareto diagram, Ishikawa diagram, pie chart, sectorogram and event tree.

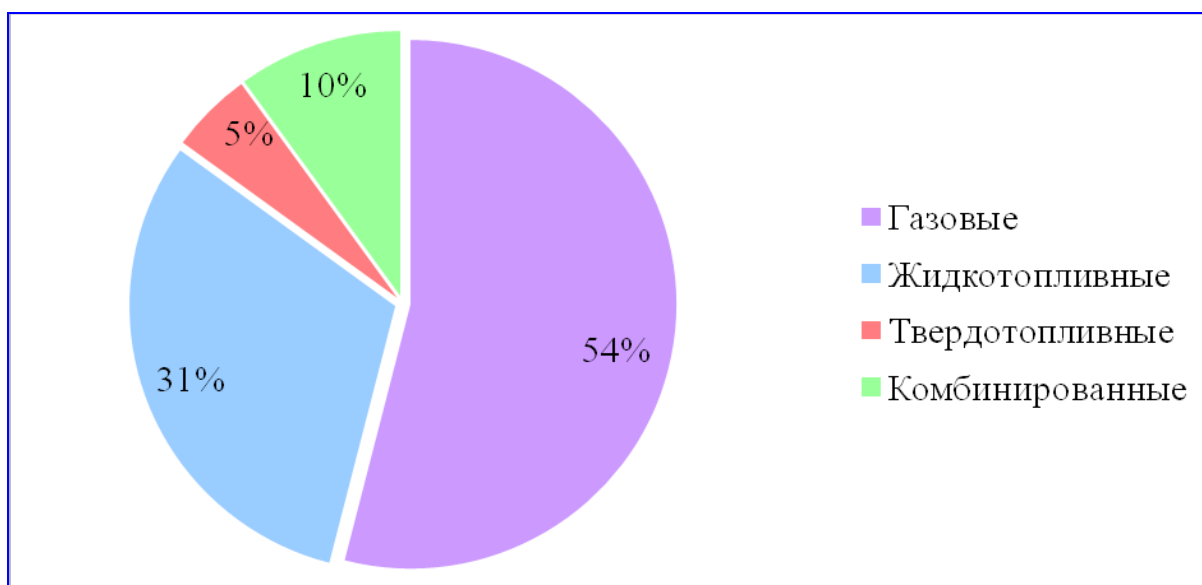
**Ключевые слова:** котельная; авария; взрыв; пожар; разгерметизация газопровода; графический анализ; диаграмма Парето; диаграмма Исикавы

**Key words:** the smelting of iron; boiler room; accident; explosion; fire; depressurization of the gas pipeline; graphical analysis; Pareto chart; Ishikawa diagram

Среди систем теплоснабжения котельные остаются самым востребованным вариантом получения энергии и тепла. Одновременно котельные согласно действующим нормам закона относятся к опасным производственным объектам, требующим повышенного внимания к обслуживанию и эксплуатации.

В России эксплуатируется более 70 000 паровых и водогрейных котлов. Статистические данные, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что из этого общего количества больше половины котельных действуют на газе, треть – на дизельном топливе, порядка 10 % – комбинированные и не более 5 % – твердотопливные [1].

Технические характеристики различных видов котельных представлены в таблице 1 [2].



**Рисунок 1.** Котельные установки в зависимости от вида применяемого топлива

**Таблица 1.** Технические характеристики различных видов котельных установок

Виды котельных установок	Характеристики							
	Мощность, кВт	КПД, %	Рабочее давление, бар	Температура теплоносителя, °С	Гидравлическое сопротивление, МПа	Расход топлива, м³/ч	Цена за 1 кВт мощности, руб.	Цена оборудования, тыс. руб.
Газовая	2000	94	6	115	0,01	236	0,5	737
Комбини-рованная	2000	97	6	100	0,03	200	3,3	802,6
Жидкотоп-ливная	2000	90	5	110	0,0002	245	2,8	456
Твердотоп-ливная	2000	83	36	200	0,07	294	0,9	650

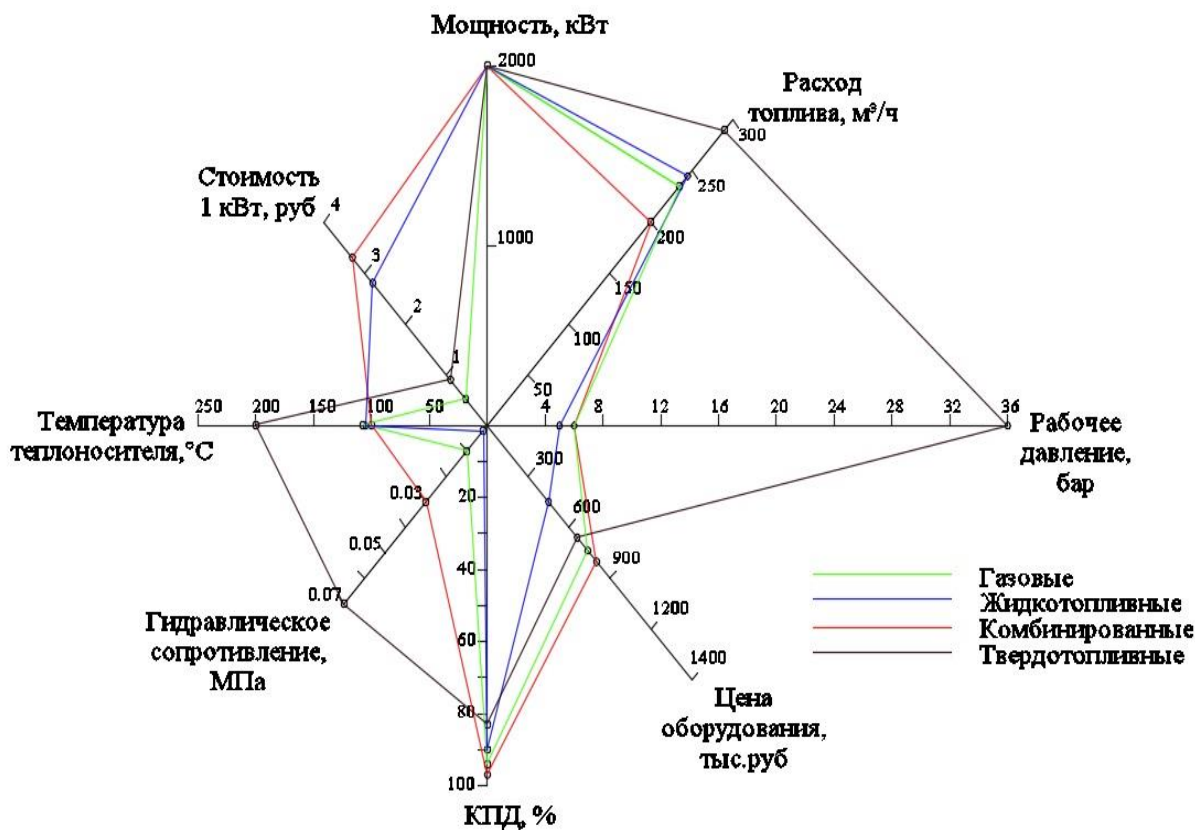
Для наглядной оценки характеристик видов котельных установок построена сектограмма (рисунок 2), позволяющая сравнить их числовые показатели.

Проанализировав полученную сектограмму, можно сделать следующие **выводы**.

Наиболее эффективными и экономичными являются газовые котельные установки, так как при высокой мощности и КПД, сравнительно низком гидравлическом сопротивлении затраты на установку и эксплуатацию остаются невелики.

Показатели других котельных установок уступают по многим параметрам, поэтому целесообразно применение газовых котельных установок. Однако широкое использование природного газа в котельных может привести к аварийным ситуациям.

Аварии газовых котельных по статистике являются наиболее частыми техногенными чрезвычайными ситуациями [3].



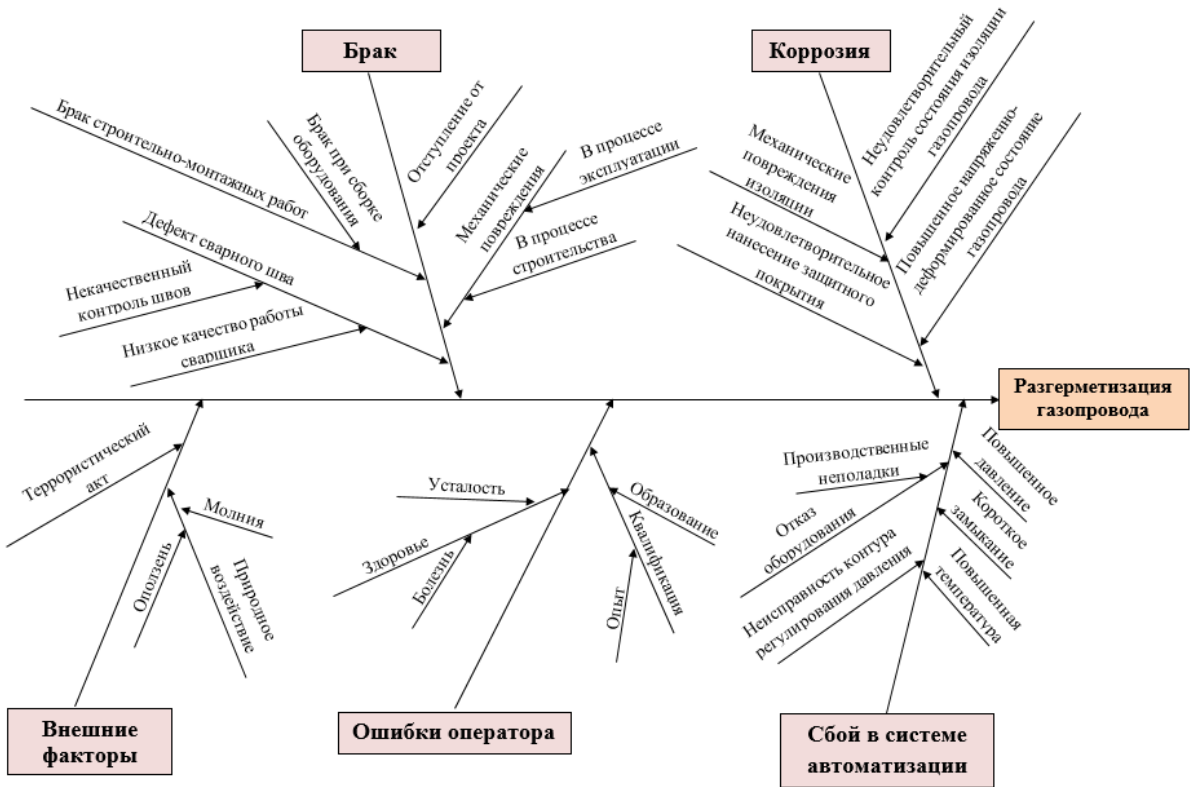
**Рисунок 2.** Сектограмма сравнительных характеристик различных видов котельных установок

Определено, что аварийные ситуации в котельных чаще всего связаны с утечкой природного газа вследствие разгерметизации газопровода.

Для анализа причины чрезвычайного события (ЧС), связанной с разгерметизацией газопровода в котельной установке предприятия N, построена диаграмма Исикавы, представленная на рисунке 3.

Для решения и представления некоторых проблем диаграмма Исикавы на основе статистических данных, представленных в таблице 2 [4], дополнена диаграммой Парето (рисунок 4).

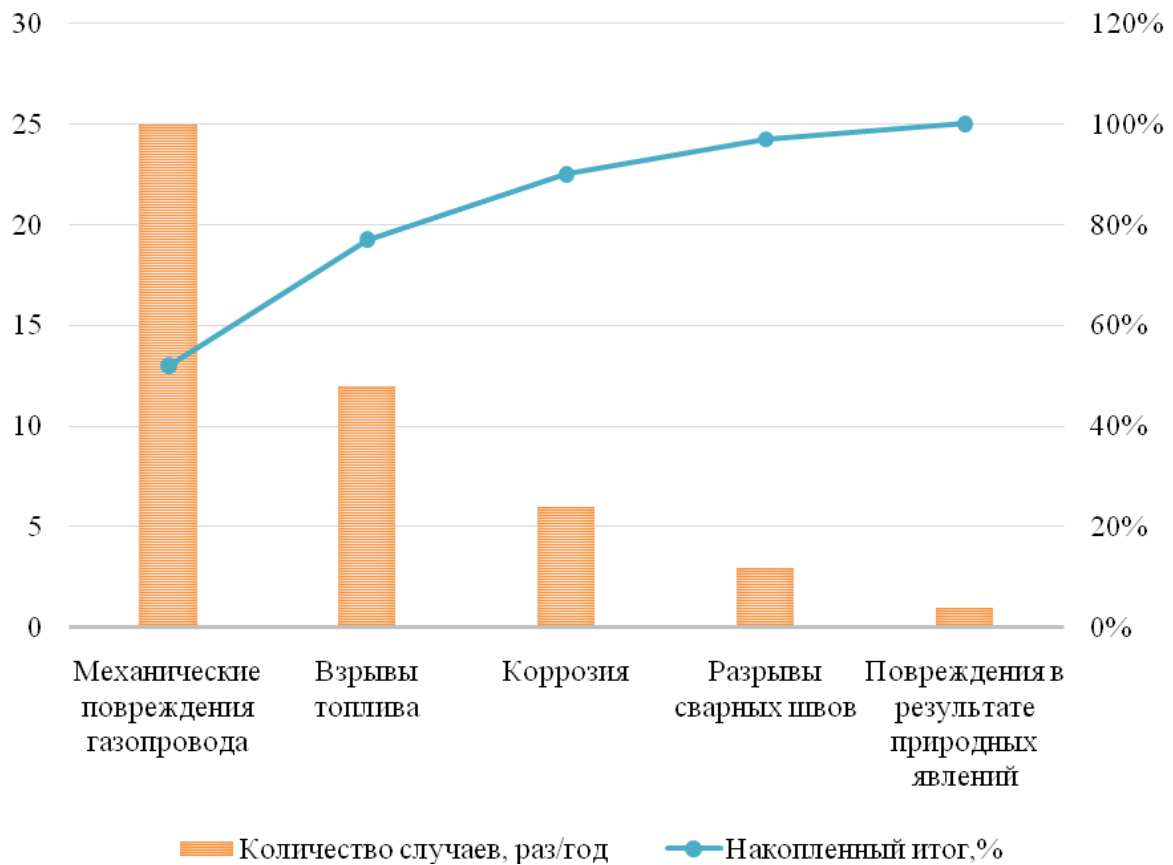
Диаграмма Парето позволяет выявить основные причины, с которых необходимо начинать решать проблему.



**Рисунок 3.** Комплексное влияние факторов на разгерметизацию газопровода в котельной

**Таблица 2.** Статистические данные по типам причин разгерметизации газопровода в котельной

Проблема	Количество случаев/год	Накопленный итог, %	Накопленный итог, %
Механические повреждения газопровода	25	25	52
Взрывы топлива	12	37	77
Коррозия	6	43	90
Разрывы сварных швов	3	46	97
Повреждения в результате природных явлений	1	47	100



**Рисунок 4.** Диаграмма Парето по типам причин разгерметизации газопровода в котельной

Как видно из диаграммы Парето, первые две проблемы возникли примерно в 77 % случаях. Диаграмма Парето в данном формате высвечивает ключевые области и помогает группам установить приоритеты в своей деятельности.

Для определения, анализа и графического представления вариантов развития аварии используется дерево событий, которое представлено на рисунке 5.

На основе дерева событий произведен расчет вероятности возникновения наиболее опасного и вероятного сценария развития ЧС.

По результатам расчета вероятность возникновения наиболее опасного сценария развития ЧС – взрыв парогазового облака составила  $0,6 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>, вероятность возникновения наиболее вероятного сценария



развития ЧС – рассеивание парогазового облака составила  $0,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$  [5].



**Рисунок 5.** Разработка сценариев развития ЧС в котельной с помощью дерева событий

Полученные диаграммы позволяют наглядно и в полном объеме понять проблему, что в дальнейшем поможет найти пути ее решения [6–13].

## Выводы

Таким образом, возможности графического анализа и представления проблемы пожаровзрывобезопасности промышленного предприятия N, эксплуатирующего котельные установки, в настоящей работе были выражены в виде построения таких диаграмм как круговая диаграмма, сектограмма, диаграмма Исикавы и диаграмма Парето.

Полученные диаграммы позволяют наглядно и в полном объеме понять проблему, что в дальнейшем поможет найти пути ее решения.

Представление данных в графическом виде позволяет решать самые разнообразные задачи, что является одним из основных достоинств графических возможностей анализа какой-либо проблемы.

### **Список используемых источников**

1. Лыкова А.И., Яковлева Е.В. Анализ опасностей при эксплуатации городских котельных // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по матер. XXX студенческой междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2015. № 3 (29). С. 178-182.

2. Технический каталог котельного оборудования «LAVART». Омск: LAVART, 2014. 75 с.

3. Гостева А.В., Глебова Е.В., Черноплёков А.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводах на основе результатов анализа риска // Нефть, газ и бизнес. 2009. № 9. С. 68-70.

4. Кузнецов В.В., Ляпин А.А., Монахов Р.Е., Шавкин С.В. Сравнительный анализ статистических данных по аварийности на магистральных трубопроводах в России и в Западной Европе // Нефть, газ и бизнес. 2007. № 12. С. 49-56.

5. Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Анализ риска и декларирование безопасности объектов нефтяной и газовой промышленности // Сертификация и безопасность оборудования. 1998. № 1. С. 37-41.

6. Галиакберов В.В., Мартынова О.Г., Ахметшин Р.И., Рахманова С.Т. Графические особенности анализа ветроэнергopotенциала региона // Современные тенденции развития науки и производства: сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Кемерово: Западно-Сибирский научный центр, 2017. Т. 2. С. 99-104.

7. Кияшко И.Ю., Кияшко Л.Ю., Елизарьев А.Н., Манякова Г.М., Габдулхаков Р.Р., Мартынова О.Г. Моделирование экологических ЧС, вызванных загрязнением водных объектов // Успехи современного естествознания. 2016. № 2. С. 159-163.

8. Елизарьева Е.Н., Янбаев Ю.А., Юнусова Д.М., Дементьев Д.Г., Мартынова О.Г., Ахметшин Р.И., Гибадуллин И.З., Рахманова С.Т. Использование методов графического анализа для оценки фиторемедиационного потенциала сельскохозяйственных растений // Естественные и технические науки. 2018. № 2 (116). С. 28-32.

9. Юсупов Т.Р., Кадырова Г.А., Шайдуллин Р.Р., Мартынова О.Г., Рахманова С.Т., Ахметшин Р.И. Графическое представление обеспечения экологической безопасности функционирования промывочно-пропарочной станции железнодорожного комплекса // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: матер. VIII Междунар. молодежн. науч. конф. Уфа: БашГУ, 2018. С. 249-254.

10. Дьяченко О.В., Шарипова К.Р., Мартынова О.Г., Рахманова С.Т., Ахметшин Р.И., Хафизов А.Р., Гарматин А.В. К вопросу о прогнозировании и принятии решений в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: матер. VIII Междунар. молодежн. науч. конф. Уфа: БашГУ, 2018. С. 40-43.

11. Ахметшин Р.И., Гарифьянов Т.Р., Курбангулова Л.К., Давлетгареев В.Р., Мартынова О.Г. Графическое представление способа снижения шума в городской среде с помощью акустического экрана // Вестник современных исследований. 2018. № 12.14 (27). С. 48-53.

12. Абдрахманова А.А., Кадырова Г.А., Курбангулова Л.К., Мартынова О.Г., Ахметшин Р.И. Графические приемы визуализации механизма действия ингибиторов кислотной коррозии и оценки их эффективности // Вестник современных исследований. 2018. № 12.14 (27). С. 5-11.

13. Ахметшин Р.И., Зиганшина Л.Б., Гизетдинова А.А., Мартынова О.Г. Использование графического 3D-моделирования для представления токсического эффекта наночастиц оксидов металлов на живые организмы // Вестник современных исследований. 2018. № 12.14 (27). С. 54-60.

## Reference

1. Lykova A.I., Yakovleva E.V. Analiz opasnostei pri ekspluatatsii gorodskikh kotel'nykh [Hazard Analysis during the Operation of Urban Boiler Rooms]. *Sbornik statei po materialam XXX studencheskoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki»* [Collection of Articles Based on Materials from the XXX Student International Scientific and Practical Conference «The Scientific Community of Students of the XXI Century. Technical Science»]. Novosibirsk, Assotsiatsiya nauchnykh sotrudnikov «Sibirskaya akademicheskaya kniga» Publ., 2015, No. 3 (29), pp. 178-182. [in Russian].

2. *Tekhnicheskii katalog kotel'nogo oborudovaniya «LAVART»* [Technical Catalog of Boiler Equipment «LAVART»]. Omsk, LAVART Publ., 2014, 75 p. [in Russian].

3. Gosteva A.V., Glebova E.V., Chernoplekov A.N. Prognozirovaniye chrezvychainykh situatsii na magistral'nykh gazoprovodakh na osnove rezul'tatov analiza riska [Prediction of Emergency Situations on Gas Pipelines Based on the Results of Risk Analysis]. *Neft', gaz i biznes – Oil, Gas and Business*, 2009, No. 9, pp. 68-70. [in Russian].

4. Kuznetsov V.V., Lyapin A.A., Monakhov P.E., Shavkin C.B. Sravnitel'nyi analiz statisticheskikh dannykh po avariinosti na magistral'nykh truboprovodakh v Rossii i v Zapadnoi Evrope [Comparative Analysis of Accident Statistics on Trunk Pipelines in Russia and Western Europe]. *Neft', gaz i biznes – Oil, Gas and Business*, 2007, No. 12, pp. 49-56. [in Russian].

5. Lisanov M.V., Pecherkin A.S., Sidorov V.I. Analiz riska i deklarirovanie bezopasnosti ob"ektov neftyanoi i gazovoi promyshlennosti [Risk Analysis and Safety Declaration of Oil and Gas Industry Facilities]. *Sertifikatsiya i bezopasnost' oborudovaniya – Certification and Equipment Safety*, 1998, No. 1, pp. 37-41. [in Russian].

6. Galiakberov V.V., Martynova O.G., Akhmetshin R.I., Rakhmanova S.T. Graficheskie osobennosti analiza vetroenergopotentsiala regiona [Graphic Features of the Analysis of the Wind-Energy Potential of the Region]. *Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i proizvodstva»* [Collection of Materials of the VII International Scientific and Practical Conference «Modern Trends in the Development of Science and Production»]. Kemerovo, Zapadno-Sibirskii nauchnyi tsentr Publ., 2017, Vol. 2, pp. 99-104. [in Russian].

7. Kiyashko I.Yu., Kiyashko L.Yu., Elizar'ev A.N., Manyakova G.M., Gabdulkhakov R.R., Martynova O.G. Modelirovanie ekologicheskikh ChS, vyzvannykh zagryazneniem vodnykh ob"ektov [Modeling of the Ecological Emergencies Caused by Pollution of Water Objects]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Advances in Current Natural Sciences*, 2016, No. 2, pp. 159-163. [in Russian].

8. Elizareva E.N., Yanbaev Yu.A., Yunusova D.M., Dement'ev D.G., Martynova O.G., Akhmetshin R.I., Gibadullin I.Z., Rakhmanova S.T. Ispol'zovanie metodov graficheskogo analiza dlya otsenki fitoremediatsionnogo potentsiala sel'skokhozyaistvennykh rastenii [Using Graphical Analysis Methods to Assess the Phytoremediation Potential of Agricultural Plants]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Natural and Technical Sciences*, 2018, No. 2 (116), pp. 28-32. [in Russian].

9. Yusupov T.R., Kadyrova G.A., Shaidullin R.R., Martynova O.G., Rakhmanova S.T., Akhmetshin R.I. Graficheskoe predstavlenie obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti funktsionirovaniya promyvochno-proparochnoi stantsii zheleznodorozhnogo kompleksa [Graphical Representation of Ensuring Environmental Safety of the Operation of the Washing and Steaming Station of the Railway Complex]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii «Naukoemkie tekhnologii v reshenii problem neftegazovogo kompleksa»* [Materials of the VIII International Youth Scientific Conference «High-Tech in Solving the Problems of the Oil and Gas Complex»]. Ufa, BashGU Publ., 2018, pp. 249-254. [in Russian].

10. Dyachenko O.V., Sharipova K.R., Martynova O.G., Rakhmanova S.T., Akhmetshin R.I., Khafizov A.R., Garmatin A.V. K voprosu o prognozirovanii i prinyatii reshenii v usloviyakh vozniknovenii chrezvychainykh situatsii [On the Issue of Forecasting and Decision-Making in Emergency Situations]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii «Naukoemkie tekhnologii v reshenii problem neftegazovogo kompleksa»* [Materials of the VIII International Youth Scientific Conference «High-Tech in Solving the Problems of the Oil and Gas Complex»]. Ufa, BashGU Publ., 2018, pp. 40-43. [in Russian].

11. Akhmetshin R.I., Garif'yanov T.R., Kurbangulova L.K., Davletgareev V.R., Martynova O.G. Graficheskoe predstavlenie sposoba snizheniya shuma v gorodskoi srede s pomoshch'yu akusticheskogo ekrana [A Graphical Representation of an Acoustic Noise Reduction Method in an Urban Environment]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy – Bulletin of Modern Research*, 2018, No. 12.14 (27), pp. 48-53. [in Russian].

12. Abdrakhmanova A.A., Kadyrova G.A., Kurbangulova L.K., Martynova O.G., Akhmetshin R.I. Graficheskie priemy vizualizatsii mekhanizma deistviya ingibitorov kislotnoi korrozii i otsenki ikh effektivnosti [Graphic Techniques for Visualizing the Mechanism of Action of Acid Corrosion Inhibitors and Evaluating their Effectiveness]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy – Bulletin of Modern Research*, 2018, No. 12.14 (27), pp. 5-11. [in Russian].

13. Akhmetshin R.I., Ziganshina L.B., Gizetdinova A.A., Martynova O.G. Ispol'zovanie graficheskogo 3D-modelirovaniya dlya predstavleniya toksicheskogo effekta nanochastits oksidov metallov na zhivye organizmy [Using 3D Graphic Modeling to Represent the Toxic Effect of Metal Oxide Nanoparticles on Living Organisms]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy – Bulletin of Modern Research*, 2018, No. 12.14 (27), pp. 54-60. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Щелчкова Анастасия Игоревна, магистрант кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Anastasia I. Shchelchkova, Undergraduate Student of Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: Kulborisowanastya@yandex.ru

Хасанова Лейсян Флюоровна, магистрант кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Leysyan F. Khasanova, Undergraduate Student of Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: lesyaonelesya@gmail.com



Галеева Алина Рифкатовна, магистрант кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Alina R. Galeeva, Undergraduate Student of Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: galeeva-alina@list.ru

Мартынова Ольга Галеевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Olga G. Martynova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: olgamar07@mail.ru

Ахметшин Рустам Ильясович, старший преподаватель кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rustam I. Akhmetshin, Senior Lecturer of Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ahmetshin@bk.ru

Рахманова Светлана Талгатовна, старший преподаватель кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Svetlana T. Rakhmanova, Senior Lecturer of Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: raxm.sveta@mail.ru



Ямалетдинова Клара Шаиховна, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Управление качеством в производственно-технологических системах», Институт экономики отраслей, бизнеса и администрирования, Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация

Klara Sh. Yamaletdinova, Doctor of Engineering Sciences, Head of Quality Management in Production and Technological Systems Department, Institute of Economics of Industries, Business and Administration, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation

e-mail: clara-yk@yandex.ru

Янгуразова Земфира Ахметовна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», Башкирский государственный университет, г. Уфа, Российская Федерация

Zemfira A. Yangurazova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of Ecology and Life Safety Department, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation