



# БЕЗОПАСНОСТЬ труда в промышленности

Occupational Safety in Industry

№ 5  
2022

Ежемесячный научно-производственный журнал [www.btpnadzor.ru](http://www.btpnadzor.ru)

ISSN 0409-2961  
eISSN 2658-5537



**Ростехнадзор**

Федеральная служба  
по экологическому,  
технологическому  
и атомному надзору



С Днём Победы!



***Дорогие ветераны!  
Уважаемые коллеги, друзья!***

*Поздравляю с 77-й годовщиной Победы в Великой Отечественной войне!*

*Для всех нас 9 Мая — особенный день. Это память и гордость, история нашей страны, история каждой семьи. Праздник народа, способного победить любого врага.*

*Мы склоняем голову перед великим подвигом всех, кто встал на защиту Отечества. Говорим спасибо нашим отцам, дедам и прадедам, всему поколению победителей за мужество, стойкость и героизм! Низкий поклон фронтовикам и труженикам тыла!*

*С праздником! С Днем Победы!*

**Руководитель Федеральной  
службы по экологическому,  
технологическому  
и атомному надзору**

**Александр Трембицкий**



# БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-43428

## № 5 · 2022

Журнал основан в январе 1932 г. Выпуск 785.

### Редакционный совет

- Трембицкий А.В.**, руководитель Ростехнадзора (Москва, Россия)
- Буйновский С.Н.**, д-р техн. наук, главный редактор журнала (Москва, Россия)
- Виль А.А.**, помощник руководителя Ростехнадзора (Москва, Россия)
- Голик В.И.**, д-р техн. наук, проф., Северо-Кавказский государственный технологический университет (Владикавказ, Россия)
- Григорьев М.Н.**, канд. геол.-минерал. наук, акад. РАЕН, директор ООО «Гекон» (Санкт-Петербург, Россия)
- Дмитриевский А.Н.**, д-р геол.-минерал. наук, проф., акад. РАН, науч. руководитель Института проблем нефти и газа РАН (Москва, Россия)
- Егоров М.П.**, д-р хим. наук, акад. РАН, директор Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (Москва, Россия)
- Ерёмин Н.А.**, д-р техн. наук, проф. РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, гл. науч. сотрудник Института проблем нефти и газа РАН (Москва, Россия)
- Кловач Е.В.**, д-р техн. наук, проф., ген. директор ЗАО НТЦ ПБ (Москва, Россия)
- Клюев В.В.**, д-р техн. наук, проф., акад. РАН, почетный член РОНКТД (Москва, Россия)
- Красных Б.А.**, канд. техн. наук, председатель НТС Ростехнадзора (Москва, Россия)
- Малышев Ю.Н.**, д-р техн. наук, проф., акад. РАН, почетный президент НП «Горнопромышленники России» (Москва, Россия)
- Махутов Н.А.**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РАН, ФГБУ науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (Москва, Россия)
- Печёркин А.С.**, д-р техн. наук, проф., первый зам. ген. директора ЗАО НТЦ ПБ (Москва, Россия)
- Сидоров В.И.**, д-р техн. наук, проф., президент Фонда Якова Брюса (Москва, Россия)
- Трубецкой К.Н.**, д-р техн. наук, проф., акад. РАН, советник президиума РАН (Москва, Россия)
- Ферапонтов А.В.**, канд. техн. наук, зам. руководителя Ростехнадзора (Москва, Россия)
- Фролов Д.И.**, канд. экон. наук, зам. руководителя Ростехнадзора (Москва, Россия)
- Шмаль Г.И.**, канд. экон. наук, президент Союза нефтегазопромышленников России (Москва, Россия)

### Учредители



Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)



Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ)

### Издатель

ЗАО НТЦ ПБ: 105082, Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14, а/я 38  
Тел.: +7 (495) 620-47-47;  
факс: +7 (495) 620-47-46  
ntc@safety.ru; www.safety.ru

### Редакция

105082, Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14, а/я 38  
Телефакс: +7 (495) 620-47-44; btp@safety.ru, redbtp@safety.ru; www.btpnadzor.ru  
Отдел рекламы — К.М. Игнатова, ignatova@safety.ru.  
Тел. +7 (495) 620-47-54

Ежемесячный научно-производственный журнал «Безопасность труда в промышленности» включен в новый Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, сформированный **ВАК Минобрнауки России**. Входит в национальную библиографическую базу данных научного цитирования (**Российский индекс научного цитирования** — РИНЦ; двухлетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,546, пятилетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,394, десятилетний индекс Хирша — 21) и международные базы **Scopus, Chemical Abstracts (CA), EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory**.

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети Интернет и в корпоративных сетях, для частного и публичного использования без письменного разрешения владельца авторских прав.

## Международный редакционный совет

**Богдан Н.А.**, первый заместитель начальника Госпромнадзора (Минск, Белоруссия)

**Буй С.Н.**, д-р техн. наук, проф., проректор Ханойского университета горной промышленности и геологии (Ханой, Вьетнам)

**Ван Вингерден К.**, д-р техн. наук, вице-президент компании Gexcon (Берген, Норвегия)

**Джураев О.А.**, зам. начальника управления анализа и координации контрольно-профилактической деятельности Государственного комитета промышленной безопасности Республики Узбекистан (Ташкент, Узбекистан)

**Заксенхофер Р.**, проф., Горный университет (Леобен, Австрия)

**Катаи-Урбан Л.**, д-р воен.-техн. наук, доцент, зав. кафедрой промышленной безопасности Института защиты от катастроф Национального университета государственной службы (Будапешт, Венгрия)

**Котов С.Г.**, канд. техн. наук, доцент, ученый секретарь НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь (Минск, Белоруссия)

**Макажанов Н.К.**, канд. экон. наук, заместитель председателя Комитета индустриального развития и промышленной безопасности Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан (Астана, Казахстан)

**Мельник В.В.**, руководитель управления государственного надзора за объектами котельных, газовых хозяйств и подъемных сооружений Комитета индустриального развития и промышленной безопасности Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан (Астана, Казахстан)

**Пан Ч.**, д-р юр. наук, проф., директор Центра исследования мировой нефтяной политики при Китайском университете нефти (Пекин, Китай)

**Рафат Г.**, проф., директор компании R&K-Geoengineering Ltd (Дуйсбург, Германия)

**Ростами Д.**, канд. техн. наук, доцент Департамента горного дела Колорадской горной школы; директор Института открытых разработок и механики недр (Голден, США)

**Сеидахмедов Н.С.**, директор Азербайджанского государственного научно-исследовательского института по охране труда и технике безопасности МЧС (Баку, Азербайджан)

**Шамансуров С.С.**, канд. техн. наук, чл.-корр. Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (Ташкент, Узбекистан)

**Шевчук В.Г.**, д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры общей физики и физики теплоэнергетических и химических процессов Одесского национального университета им. И.И. Мечникова (Одесса, Украина)

**Юй Л.**, канд. техн. наук, научный сотрудник Китайского геологического университета (Пекин, Китай)

## Редакционная коллегия

**Агапов А.А.**, канд. техн. наук, директор расчетно-аналитического центра ЗАО НТЦ ПБ (Москва, Россия)

**Божко Д.И.**, канд. техн. наук, зам. главного редактора (Москва, Россия)

**Горлов А.Н.**, начальник Управления государственного строительного надзора Ростехнадзора (Москва, Россия)

**Гражданкин А.И.**, д-р техн. наук, зав. отделом системного анализа безопасности ЗАО НТЦ ПБ (Москва, Россия)

**Ермак Г.П.**, канд. техн. наук, начальник Управления по надзору в угольной промышленности Ростехнадзора (Москва, Россия)

**Иваницкая Е.В.**, канд. филол. наук, зам. главного редактора (Москва, Россия)

**Кадушкин Ю.В.**, президент АО НПО «Техкранэнерго» (Владимир, Россия)

**Кондратьева О.Е.**, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и охраны труда Национального исследовательского университета «МЭИ» (Москва, Россия)

**Кручинина И.А.**, д-р техн. наук, директор АНО АИПР (Москва, Россия)

**Лисанов М.В.**, д-р техн. наук, канд. физ.-мат. наук, директор центра анализа риска ЗАО НТЦ ПБ (Москва, Россия)

**Матвиенко Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией ФГБУ науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (Москва, Россия)

**Нестеров Ю.Л.**, начальник Управления по надзору за объектами нефтегазового комплекса Ростехнадзора (Москва, Россия)

**Низовцев А.В.**, ответственный секретарь редакции (Москва, Россия)

**Селезнёв Г.М.**, вед. науч. сотрудник ЗАО НТЦ ПБ (Москва, Россия)

**Ткаченко В.М.**, начальник Управления горного надзора Ростехнадзора (Москва, Россия)

**Фоминых М.В.**, канд. хим. наук, начальник Управления общепромышленного надзора Ростехнадзора (Москва, Россия)

**Чуркин Г.Ю.**, канд. техн. наук, зам. директора АНО АИПР (Москва, Россия)

**Шалаев В.К.**, д-р техн. наук, директор по нормативно-правовому регулированию ЗАО НТЦ ПБ (Москва, Россия)

**Яковлев Д.А.**, начальник Правового управления Ростехнадзора (Москва, Россия)

Компьютерная подготовка и верстка —

С.В. Косторнова

Подписано в печать 10.06.22

Формат 60x90 1/8

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Тираж 1050 экз.

Зак. Р-03396-22

Цена 1500 руб.

Отпечатано в ООО «РПК «Зетапринт»

109383, РФ, г. Москва, ул. Шоссейная, д. 90, стр. 7

Тел. +7 (495) 775-23-38.

Редакция не несет ответственности за достоверность и точность приведенных фактов, экономико-статистических данных и прочих сведений, содержащихся в авторских публикациях. Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Безопасность труда в промышленности», только с разрешения редакции.

Материалы, представленные в редакцию, авторам не возвращаются.

За содержание рекламы ответственность несет рекламодатель.

Поздравление на 1-й с. обл. предоставлено Ростехнадзором

# СОДЕРЖАНИЕ



<b>Наука и техника</b> .....	<b>7</b>
<b>Харионовский В.В.</b> .....	<b>7</b>
Безопасность морских газопроводов	
<b>Комаров А.А., Шангараев Р.Р., Бегишев И.Р.</b> .....	<b>15</b>
Верификация методики определения тепловых нагрузок при формировании огневых шаров	
<b>Пехотиков А.В., Горшков В.С., Гомозов А.В., Фомина О.В.</b> .....	<b>22</b>
Новые требования к огнестойкости строительных конструкций и средств огнезащиты	
<b>Проблемы, суждения</b> .....	<b>29</b>
<b>Велиюлин Э.И., Велиюлин И.И., Митрохин М.Ю., Александров В.А.</b> .....	<b>29</b>
К вопросу повышения надежности работы магистральных газопроводов	
<b>Локтионов О.А., Кондратьева О.Е.</b> .....	<b>35</b>
Определение характеристик наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов с точки зрения летального исхода	
<b>Корнилова А.В.</b> .....	<b>42</b>
К вопросу о точности определения температуры огневого воздействия по следам пожара	
<b>Обеспечение безопасности</b> .....	<b>48</b>
<b>Фомин А.И., Бесперстов Д.А.</b> .....	<b>48</b>
Оценка опасности для работников угольных предприятий Кузбасса при возникновении чрезвычайных ситуаций	
<b>Хайрутдинов М.М., Каунг П.А., Чжо З.Я., Тюляева Ю.С.</b> .....	<b>57</b>
Обеспечение экологической безопасности при внедрении ресурсовозобновляемых технологий	
<b>Копылов Н.П., Копылов С.Н., Федоткин Д.В., Сушкина Е.Ю.</b> .....	<b>63</b>
Противопожарная защита резервуаров с метанолом самовспенивающейся газоаэрозоленеполненной пеной	
<b>Обмен опытом</b> .....	<b>69</b>
<b>Дмитриенко В.А., Голик В.И., Масленников С.А., Пушкина В.В.</b> .....	<b>69</b>
Оценка запыленности воздуха при производстве железобетонных изделий	
<b>Пузач С.В., Акперов Р.Г., Лебедченко О.С., Болдрушкиев О.Б.</b> .....	<b>75</b>
Оценка токсичности не распространяющих горение сигнальных кабелей при пожаре в производственных помещениях	
<b>Анализ риска</b> .....	<b>81</b>
<b>Кудрявцев С.С., Емелин П.В., Емелина Н.К.</b> .....	<b>81</b>
Методика оценки риска для окружающей среды от чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах	
<b>Информация</b> .....	<b>90</b>
<b>День</b> Ростехнадзора в Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» .....	<b>90</b>
<b>Конференции, выставки, семинары</b> .....	<b>94</b>
<b>Научно-практическая</b> конференция «Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов» .....	<b>94</b>

## Founders



**The Federal Environmental, Industrial  
and Nuclear Supervision Service  
(ROSTECHNADZOR)**



**Closed Joint Stock Company «Scientific  
Technical Center of Industrial Safety  
Problems Research»  
(STC «Industrial Safety» CJSC)**

## Publisher

STC «Industrial Safety» CJSC, Block 14, Perevedenovsky  
Pereulok 13, P.O.B. 38, 105082, Moscow  
Tel.: +7 (495) 620-47-47; Fax: +7 (495) 620-47-46  
ntc@safety.ru www.safety.ru

## Editorial staff

Block 14, Perevedenovsky Pereulok 13,  
P.O.B. 38, 105082, Moscow  
Telefax: +7 (495) 620-47-44;  
btp@safety.ru, redbtp@safety.ru; www.btpnadzor.ru  
Advertizing department — Ignatova K.M., ignatova@safety.ru.  
Tel. +7 (495) 620-47-54

The journal is included into the List of the leading reviewed scientific journals and editions, in which the main scientific results of these on a competition of academic degrees of the candidate and doctor of science shall be published. The List is formed by the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

The journal is amongst the Russian journals indexed in the Russian index of the scientific citation (two-year impact-factor of RINTs without self-citation — 0.546, a five-year impact-factor of RINTs without self-citation — 0.394, ten-year Hirsch index — 21), in the international databases: Scopus, Chemical Abstracts (CA), EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory.

All rights reserved. No part of it editions cannot be reproduced in whatever form and whatever no means, including placement on the Internet and in corporate networks, for private and public use without written permission of the owner copyright.

Computer-aided preparation and makeup — S.V. Kostornova  
Signed for printing 10.06.22  
Format 60x90 1/8  
Enameled stock. Indirect printing  
Circulation 1050 copies. Order P-03396-22  
Price — 1500 RUB  
Printed in OOO RPK Zetaprint  
Shosseynaya 90, build. 7, 109383, Moscow, Russian Federation  
Tel. +7 (495) 775-23-38.

# Occupational Safety in Industry

## Editorial board

**Trembitsky A.V.**, Head of Rostekhnadzor (Moscow, Russia)

**Buinovsky S.N.**, Doctor of Technical Sciences, Editor-in-chief of the Journal (Moscow, Russia)

**Vil A.A.**, Assistant of the Head of Rostekhnadzor (Moscow, Russia)

**Golik V.I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, FGBOU VPO «North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)» (Vladikavkaz, Russia)

**Grigoryev M.N.**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, RANS Academician, Director of OOO «Gekon» (Saint Petersburg, Russia)

**Dmitrievsky A.N.**, RAS Academician, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Director of Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences (RAS) (Moscow, Russia)

**Egorov M.P.**, RAS Academician, Doctor of Chemical Sciences, Director of the Institute of Organic Chemistry Named after N.D. Zelinsky of RAS (Moscow, Russia)

**Eremin N.A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Chief Research Associate of the Russian Academy of Sciences Institute of Oil and Gas Problems (Moscow, Russia)

**Klovach E.V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director, STC «Industrial Safety» CJSC (Moscow, Russia)

**Kluev V.V.**, RAS Academician, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Member of RONKTD (Moscow, Russia)

**Krasnykh B.A.**, Candidate of Technical Sciences, Chairman of the Scientific and Technical Council of Rostekhnadzor (Moscow, Russia)

**Malyshev Yu.N.**, RAS Academician, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorable PRESIDENT of NP «Mining Operators of Russia» (Moscow, Russia)

**Makhtov N.A.**, RAS Corresponding Member, Doctor of Technical Sciences, Professor, FSBI of Science Institute of Engineering in the Name of A.A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

**Pecherkin A.S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy General Director, STC «Industrial Safety» CJSC (Moscow, Russia)

**Sidorov V.I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, President of Fund of James Bruce (Moscow, Russia)

**Trubetskoi K.N.**, RAS Academician, Doctor of Technical Sciences, Professor, Counsellor of RAS Presidium (Moscow, Russia)

**Ferapontov A.V.**, Candidate of Technical Sciences, Deputy of Rostekhnadzor Head (Moscow, Russia)

**Frolov D.I.**, Candidate of Economic Sciences, Deputy of Rostekhnadzor Head (Moscow, Russia)

**Shmal G.I.**, Candidate of Economic Sciences, President of the Union of Oil and Gas Producers of Russia (Moscow, Russia)

---

[International editorial board](#)

---

**Bogdan N.A.**, First Deputy Head of Gospromnadzor (Minsk, Belarus)

**Bui Xuan Nam**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice Rector, Hanoi University of Mining and Geology (Hanoi, Vietnam)

**Van Wingerden K.**, Doctor of Technical Sciences, Senior Vice President, Gexcon (Bergen, Norway)

**Dzhuraev O.A.**, Deputy Head of the Department for Analysis and Coordination of Control and Preventive Activities of the State Committee for Industrial Safety of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan)

**Sachsenhofer R.**, Professor, National Mineral Resources University (Leoben, Austria)

**Katai-Urban L.**, Doctor of Military Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department for Industrial Safety of the Institute of Disaster Management, University of Public Service (Budapest, Hungary)

**Kotov S.G.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academic Secretary of SPC of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus (Minsk, Belarus)

**Makazhanov N.K.**, Candidate of Economic Sciences, Vice-chairman of the Committee of Industrial Development and Industrial Safety of the Ministry for Investments and Development of the Republic of Kazakhstan (Astana, Kazakhstan)

**Melnik V.V.**, Head of the Department of State Supervision for Boiler, Gas and Lifting Facilities of the Committee of Industrial Development and Industrial Safety of the Ministry for Investments and Development of the Republic of Kazakhstan (Astana, Kazakhstan)

**Pang Chang Wei**, Doctor of Legal Sciences, Professor, Director of the World Oil Policy Research Center at China University of Petroleum (Beijing, China)

**Rafat G.**, Professor, Company Director, R&K-Geoengineering Ltd (Duisburg, Germany)

**Rostami J.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mining Engineering of Colorado School of Mines; Director of Excavation Engineering and Earth Mechanics Institute (Golden, USA)

**Seidakhmedov N.S.**, Director of Azerbaidjan State Scientific and Research Institute for Occupational Safety and Health and EMERCOM (Baku, Azerbaijan)

**Shamansurov S.S.**, Candidate of Technical Sciences, International Academy of Ecology and Life Protection Sciences Corresponding Member, Associate Professor of the Department of Life Safety of Tashkent State Technical University in the Name of Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Shevchuk V.G.**, Doctor of Physics and Mathematical Sciences, Professor of the Department of General Physics and Physics of Thermal Power and Chemical Processes of Odessa National University Named after I.I. Mechnikov (Odessa, Ukraine)

**Yu Lijiang**, Candidate of Technical Sciences, Research Assistant of China University of Geosciences (Beijing, China)

---

[Editorial staff](#)

---

**Agapov A.A.**, Candidate of Technical Sciences, Director of Computational & Analytical Center, STC «Industrial Safety» CJSC (Moscow, Russia)

**Bozhko D.I.**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Editor-in-chief (Moscow, Russia)

**Gorlov A.N.**, Head of Department, State Construction Supervision of Rostechnadzor (Moscow, Russia)

**Grazhdankin A.I.**, Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of Safety Analysis System, STC «Industrial Safety» CJSC (Moscow, Russia)

**Ermak G.P.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Department on Supervision in Coal Industry of Rostechnadzor (Moscow, Russia)

**Ivanitskaya E.V.**, Candidate of Philological Sciences, Deputy Editor-in-chief (Moscow, Russia)

**Kadushkin Yu.V.**, President of AO NPO «Tekhkranenergo» (Vladimir, Russia)

**Kondrateva O.E.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Engineering Ecology and Occupational Safety of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)

**Kruchinina I.A.**, Doctor of Technical Sciences, Director, ANO «Industrial Risk Research Agency» (Moscow, Russia)

**Lisanov M.V.**, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director of Risk Analysis Center, STC «Industrial Safety» CJSC (Moscow, Russia)

**Matvienko Yu.G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Laboratory Head of FGBU of Science of Institute of Engineering in the Name of A.A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

**Nesterov Yu.L.**, Head of Department on Supervision for Oil and Gas Complex Facilities of Rostechnadzor (Moscow, Russia)

**Nizovtsev A.V.**, Responsible Secretary of the Editorial Staff (Moscow, Russia)

**Seleznev G.M.**, Lead Researcher, STC «Industrial Safety» CJSC (Moscow, Russia)

**Tkachenko V.M.**, Head of Department of Mining Supervision of Rostechnadzor (Moscow, Russia)

**Fominykh M.V.**, Candidate of Chemical Sciences, Head of General Purpose Industrial Supervision Department of Rostechnadzor (Moscow, Russia)

**Churkin G.Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director, ANO «Industrial Risk Research Agency» (Moscow, Russia)

**Shalaev V.K.**, Doctor of Technical Sciences, Director for Regulatory Documents of STC «Industrial Safety» CJSC (Moscow, Russia)

**Yakovlev D.A.**, Head of Legal Department of Rostechnadzor (Moscow, Russia)

# CONTENT



<b>Science and Technology</b> .....	<b>7</b>
<b>Kharionovskiy V.V.</b> .....	<b>7</b>
Offshore Pipeline Safety	
<b>Komarov A.A., Shangaraev R.R., Begishev I.R.</b> .....	<b>15</b>
Verification of the Methodology for Determining Thermal Loads during Fireballs Formation	
<b>Pekhotikov A.V., Gorshkov V.S., Gomozov A.V., Fomina O.V.</b> .....	<b>22</b>
New Requirements for the Fire Resistance of the Building Structures and Fire Protection Equipment	
<b>Views and Opinions</b> .....	<b>29</b>
<b>Veliyulin E.I., Veliyulin I.I., Mitrokhin M.Yu., Aleksandrov V.A.</b> .....	<b>29</b>
On the Issue of Improving Reliability of the Main Gas Pipelines	
<b>Loktionov O.A., Kondrateva O.E.</b> .....	<b>35</b>
Characteristics Determination for the Most Traumatic Professions of Industrial Power Facilities Employees in Terms of the Fatality	
<b>Kornilova A.V.</b> .....	<b>42</b>
To the Issue of Accuracy of Determining the Temperature of Fire Exposure by Fire Traces	
<b>Safety Issues</b> .....	<b>48</b>
<b>Fomin A.I., Besperstov D.A.</b> .....	<b>48</b>
Hazard Assessment for the Employees of Kuzbass Coal Enterprises in Case of Emergency Occurrence	
<b>Khayrutdinov M.M., Kaung P.A., Chzho Z.Ya., Tyulyaeva Yu.S.</b> .....	<b>57</b>
Ensuring Environmental Safety in the Implementation of the Resource-renewable Technologies	
<b>Kopylov N.P., Kopylov S.N., Fedotkin D.V., Sushkina E.Yu.</b> .....	<b>63</b>
Fire Protection of the Methanol Tanks with Self-foaming Gas-aerosol Filled Foam	
<b>Experience Sharing</b> .....	<b>69</b>
<b>Dmitrienko V.A., Golik V.I., Maslennikov S.A., Pushkina V.V.</b> .....	<b>69</b>
Assessment of Air Dust Content in the Production of the Reinforced Concrete Products	
<b>Puzach S.V., Akperov R.G., Lebedchenko O.S., Boldrushkiev O.B.</b> .....	<b>75</b>
Evaluation of the Toxicity of Flame Retardant Signal Cables in Case of Fire in the Industrial Premises	
<b>Risk Analysis</b> .....	<b>81</b>
<b>Kudryavtsev S.S., Yemelin P.V., Yemelina N.K.</b> .....	<b>81</b>
Methodology of Risk Assessment for the Environment from Emergencies at the Chemically Hazardous Objects	
<b>Information</b> .....	<b>90</b>
<b>Rostekhnadzor</b> Day at the National Research University «Moscow Power Engineering Institut» .....	<b>90</b>
<b>Conferences, Exhibitions and Workshops</b> .....	<b>94</b>
<b>Scientific-practical</b> conference Russia in the 21st century in the context of global challenges: problems of risk management and ensuring safety of socio-economic and socio-political systems and natural-technogenic complexes .....	<b>94</b>

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-7-14

УДК 622.691.4

© В. В. Харионовский, 2022

## Безопасность морских газопроводов



**В.В. Харионовский,**  
д-р техн. наук, проф.,  
V\_Kharionovskiy@mail.ru

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
Развилка, Россия

В последние десятилетия морские магистральные газопроводы находят широкое применение и рассматриваются как наиболее перспективный способ транспортировки газа в связи с более высокими показателями надежности, безопасности и экологичности, а также преимуществами прямого сообщения между поставщиком и потребителем. Исходя из особенностей анализа их сооружения и эксплуатации сформулирована методология безопасности морских газопроводов. Приведены анализ аварийности и классификация повреждений. Представлены алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния и критерии предельных состояний. Разработана схема вероятностного анализа безопасности морского газопровода. Выполнена оценка безопасности глубоководного газопровода «Голубой поток» — первого российского газопровода в условиях Черного моря.

**Ключевые слова:** морские газопроводы, безопасность, аварийность, повреждения, прочность, методология и оценка безопасности.

**Для цитирования:** Харионовский В.В. Безопасность морских газопроводов// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 7–14. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-7-14

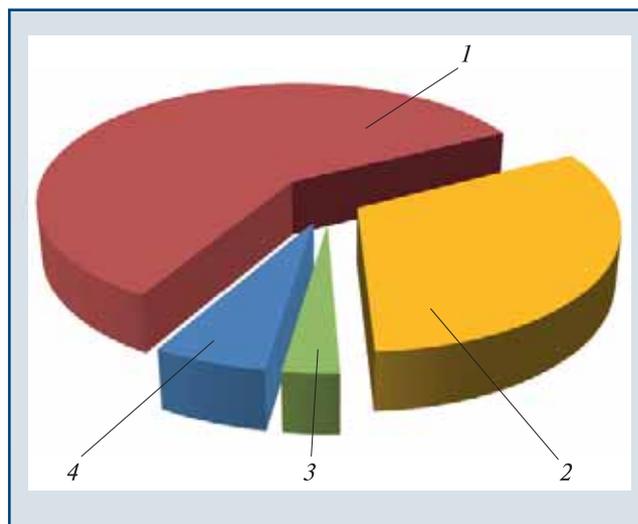
### Анализ проблемы

В силу особенностей развития газотранспортной сети в России проблема обеспечения надежности и безопасности подводных газопроводов практически исчерпывалась расчетом подводных переходов через реки, озера и другие водные преграды. Однако в последние годы в связи с разработкой нефтяных и газовых месторождений на шельфе и глобализацией газотранспортной сети встал вопрос проектирования, строительства и последующего обеспечения устойчивой работы морских глубоководных трубопроводов [1, 2]. Приведем отдельные сведения об аварийности морских трубопроводов. В основном они касаются прибрежных трубопроводов, транспортирующих сырье от морских добывающих платформ до берегового терминала. Наибольшее число аварий характерно для трубопроводов малых диаметров (2–6 дюймов) — 59 % общего числа. На группу трубопроводов среднего диаметра (8–16 дюймов) приходится 32 % аварий. Наименее подвержены повреждениям трубопроводы большого диаметра (18–36 дюймов) — около 3 % аварий (рис. 1, здесь 1 — 2–6 дюймов; 2 — 8–16 дюймов; 3 — 18–36 дюймов; 4 — диаметр неизвестен).

Исходя из опыта строительства и эксплуатации прибрежных морских трубопроводов выделены следующие пять основных причин, вызывающих аварии [3, 4]:

- разрушение конструктивного элемента оборудования;
- нарушение режима эксплуатации персоналом;
- коррозия;
- природные воздействия (шторм, ураган и т.п.);
- механическое повреждение конструкции трубопровода, вызванное действием «третьей стороны», не участвующей в эксплуатации трубопровода.

Основная причина разрушений — коррозия, как внешняя, так и внутренняя (около 50 % аварий).



▲ **Рис. 1. Распределение аварий морских трубопроводов для различных диаметров**

▲ **Fig. 1. Distribution of accidents of the offshore pipelines for different diameters**

Особый интерес представляют аварийные ситуации, вызванные разрушением конструктивных элементов — около 8 % общего числа аварий. В качестве подгрупп рассмотрены два типа причин:

- непосредственно разрушение материала трубы с образованием трещин или течи по основному металлу или сварному шву;
- разрушения и повреждения соединительных элементов и запорной арматуры.

Сформулируем некоторые выводы, вытекающие из представленного материала:

- основные причины повреждений трубопроводов — коррозия, действия «третьей стороны», природные воздействия;

- причины повреждения трубопроводов при действиях «третьей стороны» — зацепление якорем или

тралом, повреждение при работе землеройных машин и т.п.;

чаще повреждения возникают вблизи или непосредственно на морской платформе; большинство повреждений сосредоточено внутри полутораклометровой зоны вокруг платформы;

наиболее подвержены повреждениям вертикальные участки трубопроводов малых диаметров вблизи платформ;

статистика показывает, что риск повреждения трубопровода уменьшается с увеличением диаметра трубы;

для трубопроводов малых диаметров наиболее характерны повреждения за счет внешней коррозии, для трубопроводов среднего и большого диаметров, наоборот, наиболее типичны повреждения от внутренней коррозии.

**Отказы морских газопроводов**

Примерная классификация событий, отказов и последствий для морских трубопроводов представлена в таблице.

Название события	Тип	Последствия
Разрыв трубопровода	КРО	Невозможность эксплуатации трубопровода, создание чрезвычайной ситуации в прилегающих зонах
Лавинное смятие трубопровода в условиях комбинированного нагружения изгибом, продольным усилием и внешним давлением	То же	Невозможность эксплуатации трубопровода, создание чрезвычайной ситуации в прилегающих зонах при нарушении герметичности оболочки
Локальное смятие сечения без нарушения герметичности	О	Большие пластические деформации, полное изменение проектного положения трубопровода
Локальное нарушение герметичности трубы (течь)	То же	Ограничения на режим эксплуатации, возможное создание опасной ситуации
Циклическое деформирование в упругопластической области (при укладке)	П	Зарождение и подрастание дефектов
Возникновение избыточных локальных пластических деформаций при монотонном нагружении (при укладке, свободные пролеты)	То же	Уменьшение запаса пластичности, охрупчивание материала трубы, подрастание дефектов
Местная потеря устойчивости в стенке трубы	—«—	Снижение жесткости сечения при изгибе, уменьшение запаса пластичности, охрупчивание
Циклическое деформирование в упругой области при нарушении ограничения на величину допускаемых напряжений	—«—	Накопление усталостных повреждений вплоть до подрастания трещиноподобных дефектов

**Примечание.** КРО — критический отказ; О — отказ; П — повреждение.

Общий признак для повреждений — наличие пластических деформаций в трубопроводе. Поэтому требуется решение прочностной задачи в соответствии с критериями предельных состояний [5]. Во всех критериях необходима процедура расчета на-

пряженно-деформированного состояния, которая базируется на применении задач механики деформируемого твердого тела. В качестве примера приведен алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния подводного трубопровода (рис. 2, здесь слева (1–9) — применяемые теоретические методы; в центре — блоки статического и динамического расчетов и соответствующие модели (1–6); справа (1–9) — нагрузки и воздействия). Рассмотрены расчетные схемы прочностных и гидравлических задач при различных видах нагружения, включая статические и динамические теории, а также данные о материалах и конструкциях трубопровода, сведения о его эксплуатации в морских условиях. Детальное решение указанных задач изложено в [5–8].

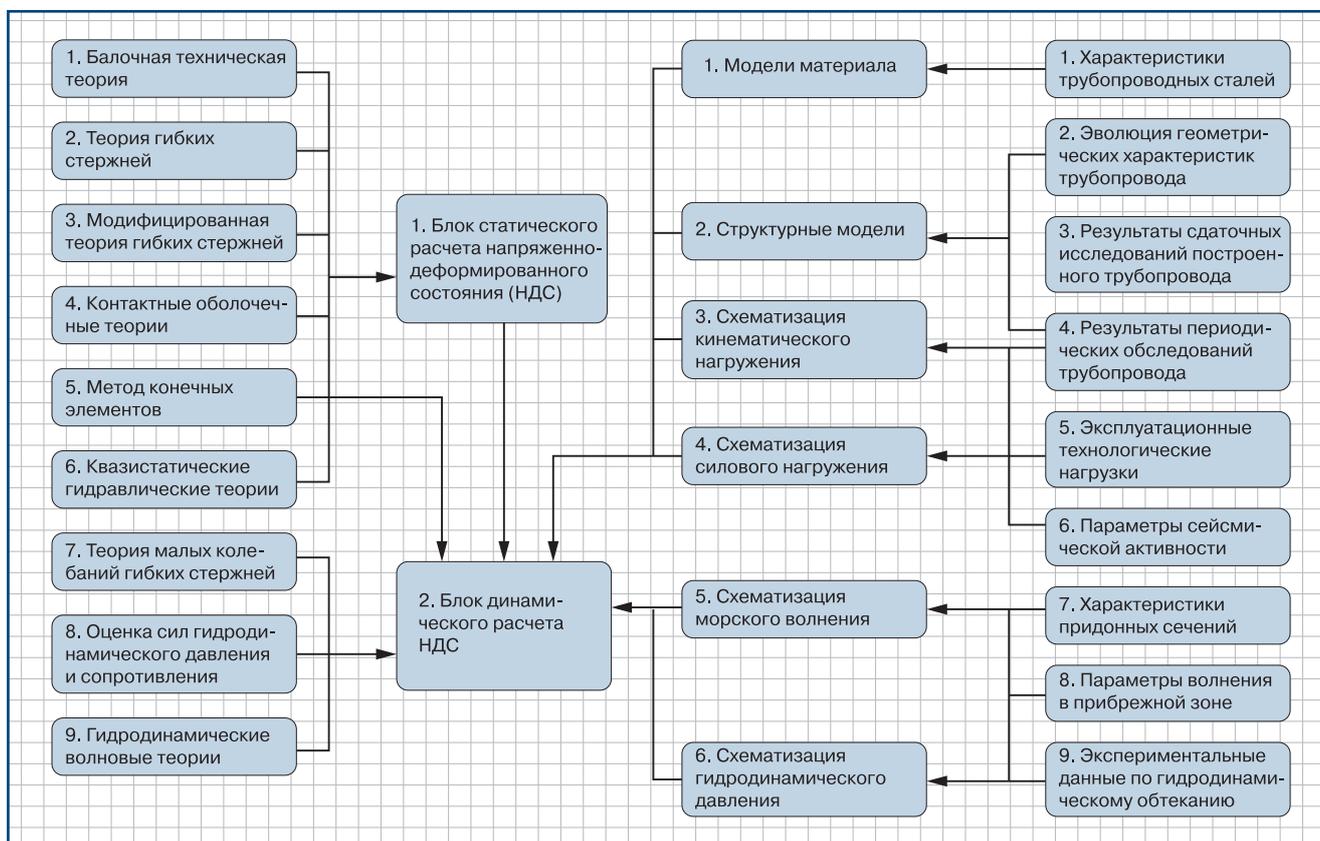
**Критерии предельных состояний**

В таблице приведена классификация повреждений морских трубопроводов. Наряду с этой информацией особое внимание следует уделить анализу предельных состояний. Для таких состояний харак-

терно сохранение работоспособности конструкции, следовательно, отсутствие признаков отказа [5, 7]. Выделение данной группы состояний связано с тем, что дальнейшая эксплуатация объекта сопряжена с существенным повышением риска возникновения критических и (или) катастрофических отказов. Например, к таким состояниям могут быть отнесены предельные состояния, сформулированные в традиционном для строительной механики и механики разрушения смысле. В этом смысле граница между непределным и предельным состоянием может быть размещена в интервале, правая граница которого определяется состояниями, абсолютно не допускающими продолжения эксплуатации трубопровода, например при разрыве трубы, а левая в зависимости от жесткости принятого критерия может совпадать с границей между работоспособным и неработоспособным состоянием или даже находиться в области работоспособных состояний. В качестве примера приведем ситуации, связанные с закрытием или выводением из эксплуатации объектов, в соответствии с действующими регламентами, при достижении определенной наработки или срока эксплуатации при отсут-

ствии диагностируемых признаков деградации свойств.

Критические отказы магистрального газопровода обусловлены, как правило, локальными или протяженными разрушениями участка трубы. Разрушение происходит в результате образования и подрастания



▲ Рис. 2. Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния подводного трубопровода

▲ Fig. 2. Algorithm for calculating the stress-strain state of the underwater pipeline

трещин и трещиноподобных дефектов в стенках трубопровода, развития недопустимых пластических деформаций в конструктивных элементах, недопустимого утонения стенок в результате коррозионного и абразивного износов внешней и внутренней поверхностей оболочки трубопровода. Нарушение герметичности трубопровода означает безусловное наступление предельного состояния, т.е. такого состояния, при котором дальнейшая эксплуатация трубопровода невозможна по соображениям безопасности и (или) неприемлемых экономических затрат на продолжение эксплуатации. В реальных условиях наличие свища не всегда является основанием для безусловного прекращения эксплуатации трубопровода и срочного ремонта. Несмотря на сложившуюся практику, все события, связанные с нарушением герметичности, изначально имеют основания для отнесения к категории предельных, лишь по итогам обязательного рассмотрения с точки зрения признаков критериев предельного состояния возможно ослабление оценок.

Для потенциально опасных сооружений и конструкций, к которым принадлежат газо- и нефтепроводы, к категории предельных могут быть отнесены пограничные состояния, реализация которых приводит к существенному повышению риска возникновения критических и (или) катастрофических отказов. К таким состояниям могут быть отнесены предельные состояния, определенные в традицион-

ном для строительной механики смысле. Эта группа критериев может быть использована для описания состояния трубопровода на этапах, предшествующих финальному разрушению и связанных с общей последовательной деградацией прочностных свойств конструкции.

Выделим три группы таких критериев. Первый тип свяжем с наступлением текучести на некотором участке наиболее нагруженного сечения. В пределе при увеличении внешней нагрузки в этом сечении возможно образование пластического шарнира. В качестве наиболее жесткого варианта критерия первого типа может быть принято появление текучести хотя бы в одной точке поперечного сечения. Если появление пластических деформаций в ограниченной зоне не препятствует нормальной эксплуатации конструкции, то условие может быть ослаблено и допустимый размер пластической зоны увеличен.

Второй тип критерия повреждений свяжем с возникновением местной потери устойчивости в сжатой зоне наиболее нагруженного сечения. В результате потери устойчивости происходит резкое снижение несущей способности трубопровода по отношению к основным силовым технологическим и природным воздействиям. Локальное снижение жесткости конструкции приводит к изменению силовой схемы по сравнению с первоначальной, как следствие, изменению реакции на действие приложенных нагрузок. В результате этого происходит прогрессирующее

необратимое развитие повреждений и дальнейшее снижение несущей способности.

Наконец, третий тип критериев описывает смятие оболочек подводных трубопроводов под действием гидростатического давления и (или) в результате комбинированного нагружения гидростатическим давлением, продольным усилием и изгибающим моментом. В условиях мягкого (силового) нагружения смятие оболочки носит характер коллапса.

Общий признак, характерный для рассматриваемых вариантов расчетных критериев, состоит в том, что в отдельных элементах или зонах конструкции появляются большие пластические деформации. В первом случае такая зона возникает в наиболее нагруженной части поперечного сечения, примыкающей к верхней или нижней образующим. Во втором случае она сосредоточена в области гофрообразования, которая появляется в результате местной потери устойчивости. По тяжести возможных последствий наиболее опасными являются режимы, связанные с реализацией повреждений второго и третьего типов. Учет критерия первого типа, особенно при малых размерах пластической зоны, дает осторожную оценку для такого сочетания характеристических параметров, при котором возникает опасное повреждение стенок, влекущее за собой потерю герметичности.

Предельные состояния первого и второго типов приближенно могут быть объединены в один расчетный блок и рассмотрены в рамках одной расчетной схемы. При определенном сочетании условий нагружения, физико-механических свойств материала и геометрических размеров трубопровода указанные предельные состояния могут быть реализованы последовательно, причем очередность реализации определяется перечисленной выше совокупностью факторов.

Приведем математические описания основных критериев предельных состояний (символы слева от записи представляют формальное имя критерия): критерий допускаемых напряжений:

$$\psi_1: |\sigma_j| \leq [\sigma],$$

где  $\sigma_j$  — эффективное напряжение в стенке трубы, вычисленное по заданному критерию прочности;  $[\sigma]$  — максимальное допускаемое напряжение, заданное в форме, согласованной с выбранным критерием прочности;

критерий предельных пластических деформаций:

$$\psi_2: |\varepsilon_j| \leq [\varepsilon],$$

где  $\varepsilon_j$  — эффективная деформация в стенке трубы;  $[\varepsilon]$  — допускаемое предельное значение деформации;

критерий расчета на долговечность по пределу усталости:

$$\psi_3: N \leq N_*,$$

где  $N$  — число циклов или блоков квазициклического нагружения;  $N_*$  — предельное число циклов по испытаниям материала на усталость;

критерий трещиностойкости для трещин и трещиноподобных дефектов (герметичность):

$$\psi_4: N_c \leq [N],$$

где  $N_c$  — число циклов или блоков квазициклического нагружения до сквозного прорастания дефекта;  $[N]$  — допустимое число циклов;

критерий трещиностойкости для трещин и трещиноподобных дефектов (устойчивость по отношению к распространению трещин):

$$\psi_5: \max K_I(c_k) \leq K_{Ic_k},$$

где  $\max K_I(c_k)$  — максимальный коэффициент интенсивности напряжений на фронте трещины нормального отрыва;  $K_{Ic_k}$  — критический коэффициент интенсивности напряжений для трещин нормального отрыва в данном материале. Можно сформулировать более общий критерий для трещины других или совместных мод;

критерий трещиностойкости конструкций из упругопластических материалов:

$$\psi_6: K_I^{2s} K_{Ic}^{-2s} + \varepsilon_n^s \varepsilon_c^{-s} = 1,$$

где  $\varepsilon_n$  — номинальные деформации в сечении нетто под дефектом;  $\varepsilon_c$  — предельная деформация при пластическом разрушении; параметр интерполяции  $s$ , входящий в  $\psi_6$ , должен быть найден экспериментально. Для широкого спектра задач можно принять в качестве базового значения  $s = 2$ . В рамках критерия  $\psi_6$  может быть учтена нелинейная зависимость напряжений и деформаций, упрочнения материала, изменения уровня номинальных напряжений в сечении нетто, зависимость предельной деформации  $\varepsilon_c$  от типа НДС и истории нагружения (предварительное деформирование);

критерий местной потери устойчивости:

$$\psi_7: \sigma_0 \cong \frac{2}{3} (E_t E_s)^{1/2} \left( \frac{h}{R} \right),$$

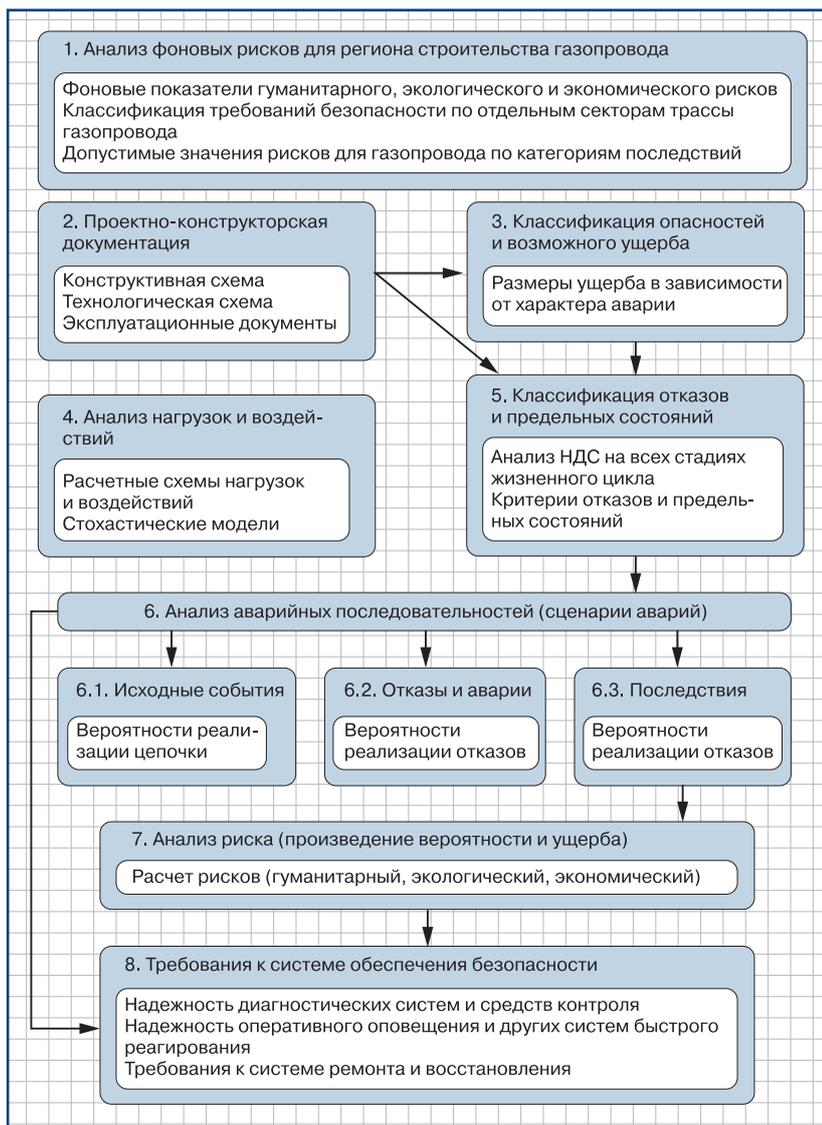
где  $\sigma_0$  — сжимающие напряжения, при которых происходит местная потеря устойчивости в оболочке трубопровода радиусом  $R$  и с толщиной стенки  $h$ ;  $E_t$ ,  $E_s$  — соответственно касательный и секущий модули на диаграмме деформирования материала оболочки в точке, соответствующей потере устойчивости;

критерий смятия поперечного сечения.

Использование алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния и критериев предельных состояний позволяет разработать материалы по безопасности.

### Методология безопасности морских газопроводов

Научное обеспечение безопасности глубоководных газопроводов разработано для уникального газопровода «Голубой поток», поэтому рассмотрим основные этапы методологии на примере этого газопровода. На рис. 3 представлена схема вероятностного анализа безопасности газопровода «Голубой поток», в которой выделены основные этапы: анализ фоновых рисков; комплекс конструкторской, технологической документации; анализ нагрузок и воздействий; классификация отказов и предельных состояний (рассмотрены выше); сценарии возможных отказов и анализ риска; требования к системе обеспечения безопасности.



▲ Рис. 3. Методология вероятностного анализа безопасности морских газопроводов

▲ Fig. 3. Methodology of the probabilistic analysis of safety of the offshore gas pipelines

В соответствии со стратегией национальной безопасности [9, 10], федеральным законом о про-

мышленной безопасности [11, 12] магистральные газопроводы, имеющие высокие технологические параметры, относятся к опасным производственным объектам. Так, газопровод «Голубой поток» диаметром 610 мм протяженностью около 400 км с преобладающей глубиной 2 км эксплуатируется при начальном давлении газа 250 атм, а аналогичный газопровод «Турецкий поток» имеет больший диаметр — 900 мм. Газопровод «Северный поток» в Балтийском море находится на меньших глубинах, но имеет большие протяженность — 1050 км и диаметр — 1220 мм, транспортируя газ с давлением 250 атм. В газовой отрасли выполнены работы по обеспечению безопасности объектов газовой промышленности [13], которые касались сухопутных сооружений.

К особенностям анализа безопасности морских газопроводов относят сложные условия прохождения трасс по дну моря, имея в виду крутые склоны, мутьевые потоки, большие глубины, высокие рабочие давления газа, влияние морской воды и сероводорода, придонные течения и сейсмичность отдельных участков трассы. Для них эффективным является вероятностный подход к анализу безопасности [14].

Структура вероятностного анализа безопасности морских газопроводов включает описание проектной документации, режимы эксплуатации и виды нагрузок, информацию об отказах, наличии дефектов, техническом обслуживании и ремонтах. Процедуры вероятностного анализа безопасности дают ответ на вопрос: с какой вероятностью возможна авария с определенными последствиями? Также результаты вероятностного анализа являются исходными для решения задач риск-анализа, основными из которых будут: оценка мощности поражающих факторов и зон поражения; оценка стоимостного эквивалента потенциального ущерба; разработка превентивных мер защиты и оценка объемов страхования.

#### Оценка безопасности газопровода в условиях Черного моря при возможных разрывах

В случае отказов морских газопроводов, особенно на больших глубинах, проведение ремонтных работ связано со значительными затратами, поэтому исследование безопасности при возможных разрывах требует решения специальной задачи. Рассмотрим влияние выбросов метана и

распространения сероводорода для газопровода «Голубой поток» с учетом численных экспериментов, выполненных специалистами Вычислительного центра РАН. Изучены моделирование вертикального хода метана на поверхность моря и анализ процесса выброса сероводорода, растворенного в Черном море. Основное внимание уделено результату эксперимента по воздействию мощного источника метана в течение 4 ч. Отмечено, что данный источник не оказывает большого влияния на экосистему района трассы газопровода. Кроме того, изучен вопрос распространения газа в поврежденном газопроводе.

**Предполагаемый сценарий событий, сопровождающих аварию газопровода «Голубой поток»**

Значительное повреждение или полный разрыв оболочки трубопровода индуцирует газодинамические возмущения, распространяющиеся в противоположные стороны к российскому и турецкому берегам. Передние фронты этих возмущений движутся вдоль трубопровода со скоростью, равной местной скорости звука, и спустя определенное время достигают российского и турецкого берегов. Однако на практике определить с достаточной степенью точности времена прихода фронтов возмущений не удастся как из-за существенного уменьшения градиентов газодинамических параметров возмущения по мере его распространения в трубопроводе, так и из-за значительных турбулентных пульсаций потока. Поэтому идентификация факта аварии возможна лишь за счет регистрации конечных газодинамических откликов газотранспортной системы, которые, как предполагается, измеряются в нагнетательном коллекторе российской компрессорной станции (КС) и во всасывающем коллекторе турецкой КС. В зависимости от места и характера повреждения трубопровода могут наблюдаться следующие альтернативные варианты формирования конечных газодинамических откликов рассматриваемой газотранспортной системы.

К береговой КС приходит интенсивная волна разрежения или сжатия, что позволяет уверенно зарегистрировать факт аварии спустя относительно небольшое время после повреждения трубопровода.

Первичное газодинамическое возмущение испытало значительное затухание и не может быть зарегистрировано, однако можно наблюдать медленное падение давления и (или) объемного расхода газа в нагнетательном коллекторе российской КС и (или) во всасывающем коллекторе турецкой КС. Регистрация факта аварии возможна лишь спустя значительное время после ее начала, и все это время аварийный перерыв работает с «подключенными» КС.

Представленные далее расчеты газодинамических процессов в поврежденном трубопроводе, результаты которых являются исходными данными для моделирования процесса транспортировки сероводорода

струей природного газа к приповерхностной области акватории, проводятся в соответствии со следующими предположениями.

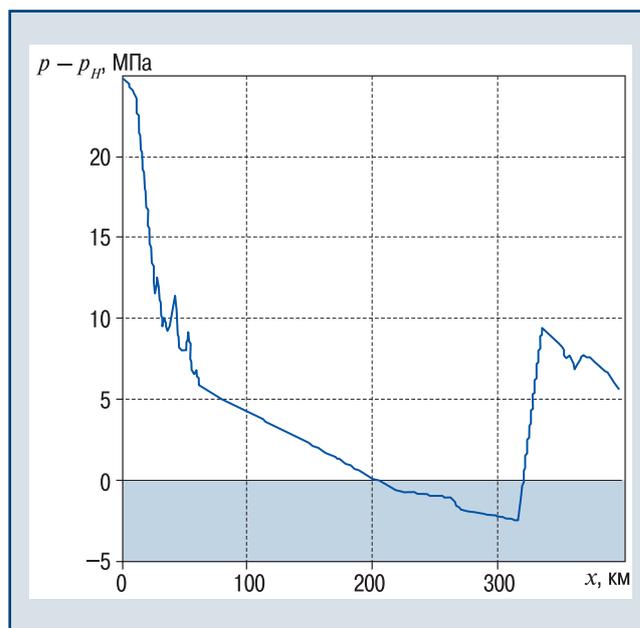
До момента повреждения трубопровода газоперекачивающая система работает в номинальном стационарном режиме.

В момент времени  $t = 0$  происходит значительное повреждение трубопровода (либо полное разрушение на некотором участке, либо образование большого отверстия). Предполагается, что в нагнетательном коллекторе российской КС и во всасывающем коллекторе турецкой КС установлены устройства, регистрирующие конечные изменения динамических параметров потока. При проведении расчетов считалось, что данные устройства фиксируют факт аварии, если объемный расход или давление газа в нагнетательном коллекторе российской КС или во всасывающем коллекторе турецкой КС изменяются на 10 % от их номинального значения.

Если факт аварии обнаружен, то на российской КС мгновенно прекращается подача газа в поврежденный трубопровод. Работа турецкой КС не прерывается, что позволяет несколько уменьшить количество газа, поступающего в окружающую среду в результате аварии.

Расчет развития процессов в поврежденном трубопроводе заканчивается, когда полное количество газа, поступившего в окружающую среду, перестает изменяться.

На рис. 4 (здесь  $P, P_H$  — давление соответственно газа и окружающей воды, МПа) показано расчетное распределение избыточного давления ( $P - P_H$ ) в трубопроводе, которое реализуется при работе трубопровода в стационарном режиме. Из графика видно, что на первом этапе аварии:



▲ **Рис. 4. Распределение избыточного давления в трубопроводе**  
▲ **Fig. 4. Distribution of the overpressure in the pipeline**

повреждение трубопровода на участках  $0 \text{ км} < x < 200 \text{ км}$  или  $320 \text{ км} < x < 386 \text{ км}$  (здесь  $x$  — координата, отсчитываемая вдоль трубопровода от российского берега) будет сопровождаться истечением газа из разрыва трубы;

при повреждении трубы на участке  $200 \text{ км} < x < 320 \text{ км}$  будет происходить интенсивное затекание воды в трубопровод; при этом максимальное избыточное давление воды имеет место на расстоянии  $x$  около 315 км от российского берега и составляет  $P - P_H$  примерно 2,5 МПа.

### Выводы

1. Изложены анализ аварийности и особенности отказов морских газопроводов.

2. Приведены критерии предельных состояний и алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния морского трубопровода, являющиеся основной частью оценки безопасности.

3. Разработана методология безопасности морских газопроводов, на базе которой дан пример оценки безопасности газопровода «Голубой поток».

4. Материалы статьи использованы при разработке проектов морских газопроводов («Голубой поток», «Турецкий поток», «Северный поток»), а также включены в отраслевой нормативный документ «СТО Газпром 2-3.7-050—2006. Морской стандарт DNV-OS-F101. Подводные трубопроводные системы».

### Список литературы

1. Васильев Г.Г., Горяинов Ю.А., Беспалов А.П. Сооружение морских трубопроводов: учеб. для вузов. — М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. — 200 с.
2. Инновации в области морского строительства: от труб до трубопровода — проект «Турецкий поток»/ Дж. Чаудури, А.В. Никулин, Э. Юрдик, О.Е. Аксютин// Газовая промышленность. — 2019. — № 1. — С. 18–21.
3. *Offshore* Standard Det Norske Veritas DNV-OS-F101. Submarine Pipeline Systems. URL: [http://opimsoft.com/download/reference/os-f101\\_2005-10.pdf](http://opimsoft.com/download/reference/os-f101_2005-10.pdf) (дата обращения: 25.03.2022).
4. СТО Газпром 2-3.7-050—2006. Морской стандарт DNV-OS-F101. Подводные трубопроводные системы. — М.: ИРЦ Газпром, 2006. — 430 с.
5. Харионовский В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. — М.: Недра, 2000. — 467 с.
6. Ржаницын А.Р. Строительная механика: учеб. пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1982. — 400 с.
7. Махутов Н.А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. — Новосибирск: Наука, 2008. — 528 с.
8. Vafin D.R., Shatalov D.A., Sharafutdinov Z.Z. Geomechanical modelling of construction conditions for trunk pipeline underwater crossing// Pipeline Science and Technology. — 2017. — Vol. 1. — № 1. — P. 65–79.
9. Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента

Рос. Федерации от 6 мая 2018 г. № 198. URL: <https://docs.cntd.ru/document/557306107> (дата обращения: 25.03.2022).

10. *Безопасность* России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность средств хранения и транспорта энергоресурсов/ науч. рук. Н.А. Махутов. — М.: МГОФ «Знание», 2019. — 928 с.

11. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. — 23-е изд., испр. и доп. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2022. — 52 с.

12. О реализации положений Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов»/ С.А. Жулина, В.Л. Титко, М.В. Лисанов, В.В. Симакин// Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 3. — С. 30–34.

13. Обеспечение технологической безопасности объектов Газпрома/ В.В. Харионовский, С.В. Нефедов, В.М. Силкин, В.М. Головизнин// Надежность газопроводных конструкций: сб. науч. тр. — М.: ВНИИГАЗ, 2000. — С. 3–14.

14. Munro J. Reliability engineering: a target-driven approach to integrity management// Pipelines International. — 2016. — March. — P. 50–53.

V\_Kharionovsky@mail.ru

Материал поступил в редакцию 5 апреля 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 7–14.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-7-14

### Offshore Pipeline Safety

V.V. Kharionovskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof.,  
V\_Kharionovsky@mail.ru  
ООО «Gazprom VNIIGAZ», Razvilka, Russia

### Abstract

Due to the nature of the development of gas transmission network, the problem of ensuring reliability and safety of the underwater gas pipelines was practically exhausted by the calculation of underwater crossings through the rivers, lakes, and other water barriers. However, in recent years in connection with the development of oil and gas fields on the shelf, and the globalization of the gas transmission network, the question came up related to designing, building, and subsequently ensuring the stable operation of the offshore deep-water pipelines. Individual information about the accident rate of the offshore pipelines is given. They mainly concern the coastal pipelines transporting raw materials from the offshore production platforms to the onshore terminal. The largest number of accidents is typical for the pipelines of small diameters (2–6 inches) — 59 % of their total number. A group of medium-diameter pipelines (8–16 inches) accounts for 32 % of accidents. Pipelines of large diameter (18–36 inches) are the least susceptible to damage — about 3 % of accidents.

In recent decades, the offshore main gas pipelines were widely used and are considered as the most promising way of transporting gas due to higher reliability, safety, and environmental friendliness, as well as the advantages of direct Analysis is presented in the article concerning the accident rate and features of failures of the

offshore gas pipelines. The criteria of limit states and the algorithm for calculating the stress-strain state of the offshore pipeline, which are the main part of the safety assessment, are given. Methodology for the safety of the offshore gas pipelines was developed, based on which the example of the safety assessment of the Blue Stream gas pipeline is given. The materials of the article were used in the development of the projects for the offshore gas pipelines and are also included in the industry regulatory document.

**Key words:** offshore gas pipelines, safety, accident rate, damage, strength, methodology and safety assessment.

**References**

1. Vasilev G.G., Goryainov Yu.A., Bespalov A.P. Construction of the offshore pipelines: textbook for the universities. Moscow: RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2015. 200 p. (In Russ).
2. Chaudhuri Dzh., Nikulin A.V., Yurdik E., Aksyutin O.E. Innovations in the area of maritime construction: from pipes to pipeline — the TurkStream. *Gazovaya promyshlennost = Gas Industry Journal*. 2019. № 1. pp. 18–21. (In Russ).
3. Offshore Standard Det Norske Veritas DNV-OS-F101. Submarine Pipeline Systems. Available at: [http://opimsoft.com/download/reference/os-f101\\_2005-10.pdf](http://opimsoft.com/download/reference/os-f101_2005-10.pdf) (accessed: March 25, 2022).
4. STO Gazprom 2-3.7-050—2006. Marine standard DNV-OS-F101. Subsea pipeline systems. Moscow: IRTs Gazprom, 2006. 430 p. (In Russ).
5. Kharionovskiy V.V. Reliability and service life of the gas pipeline structures. Moscow: Nedra, 2000. 467 p. (In Russ).
6. Rzhantsyn A.R. Structural mechanics: textbook for the universities. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 400 p. (In Russ).
7. Makhutov N.A. Strength and safety: fundamental and applied research. Novosibirsk: Nauka, 2008. 528 p. (In Russ).

8. Vafin D.R., Shatalov D.A., Sharafutdinov Z.Z. Geomechanical modelling of construction conditions for trunk pipeline underwater crossing. *Pipeline Science and Technology*. 2017. Vol. 1. № 1. pp. 65–79.

9. On the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the Field of Industrial Safety for the Period up to 2025 and Beyond: Decree of the President of the Russian Federation of May 6, 2018 № 198. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/557306107> (accessed: March 25, 2022). (In Russ.).

10. Makhutov N.A. Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Safety of energy storage and transport facilities. Moscow: MGOF «Znanie», 2019. 928 p. (In Russ.).

11. On industrial safety of hazardous production facilities: Federal Law of July 21, 1997, № 116-FZ. 23-e izd., ispr. i dop. Moscow: ZAO NTC PB, 2022. 52 p. (In Russ).

12. Zhulina S.A., Titko V.L., Lisanov M.V., Simakin V.V. Concerning Implementation of the Provisions of the Federal Norms and Regulations in the Field of Industrial Safety «Safety Regulations for Hazardous Production Facilities of the Main Pipelines». *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2014. № 3. pp. 30–34. (In Russ).

13. Harionovskiy V.V., Nefedov S.V., Silkin V.M., Goloviznin V.M. Ensuring technological safety of Gazprom facilities. *Nadezhnost gazoprovodnykh konstruktiv: sb. nauch. tr.* (Reliability of gas pipeline structures: collection of the scientific papers). Moscow: VNIIGAZ, 2000. pp. 3–14. (In Russ).

14. Munro J. Reliability engineering: a target-driven approach to integrity management. *Pipelines International*. 2016. March. pp. 50–53.

Received April 5, 2022

По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

**Сибирский пожарно-спасательный вестник**  
(научно-аналитический журнал)

**Бабёньшев С.В., Малютин О.С., Матеров Е.Н. Анализ пожарной и техносферной безопасности городской среды г. Красноярска с применением геопространственных инструментов. — 2021. — № 4. — С. 128–136.**

Рассмотрены возможности применения современных открытых геоинформационных инструментов к анализу географических данных в решении некоторых проблем техносферной и пожарной безопасности. В частности, в вопросах связанных с оценкой зон достижимости социально-значимых объектов, оценкой влияния плотности застройки на распределение пожаров, а также анализом источников противопожарного водоснабжения в городской среде. Основные расчеты выполнены с использованием языка программирования R. Применяемые инструменты могут быть полезными для планирования надзорных мероприятий, а также при оценке сил и средств гарнизонов для организации

тушения пожаров. Результаты, приведенные в работе, получены для города Красноярска, однако подобные подходы могут быть использованы для вычислений и визуализации аналогичного рода для любого населенного пункта Российской Федерации.

**Батуро А.Н., Ничепорчук В.В., Бутузов С.Ю. Применение цифровых двойников для оценки и управления рисками. — 2021. — № 4. — С. 109–120.**

Представлен «сквозной» метод оценки территориальных рисков, включающий обработку данных мониторинга, представление результатов для разных уровней управления, формирование рекомендаций по проведению превентивных мероприятий. В отличие от известных методов оценивания, имеющих фрагментарный характер, предлагаемый подход предусматривает замкнутый цикл выработки, реализации и контроля эффективности решений. Использование гетерогенных информационных ресурсов с возможностью их обработки разными технологиями реализовано за счет оригинальной организации консолидации и хранения данных. Практическая апробация метода проведена для базовых рисков территорий Сибири.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-15-21

УДК 536.46

© А.А. Комаров, Р.Р. Шангараев, И.Р. Бегишев, 2022

# Верификация методики определения тепловых нагрузок при формировании огневых шаров



**А.А. Комаров,**  
д-р техн. наук,  
проф., начальник  
НИЦ «Взрывобез-  
опасность» ИКБС

НИУ МГСУ, Москва,  
Россия



**Р.Р. Шангараев,**  
адъюнкт,  
Robson-rus7@yandex.ru

ФГБОУ ВО АГПС МЧС России, Москва,  
Россия



**И.Р. Бегишев,**  
д-р техн. наук,  
проф.

Приводится разработанная методика определения тепловых нагрузок, учитывающая перемещение огневого шара. Результаты расчета подъема огневого шара в результате аварии удовлетворительно согласуются с результатами расчетов численного моделирования «вспытия» огневого шара. На основании кинематических параметров рассчитаны тепловые нагрузки. Результаты расчетов сравнивались с результатами термических повреждений вследствие аварии и результатами расчетов отечественных нормативных документов.

**Ключевые слова:** огневой шар, физический взрыв, диффузионное горение, тепловые нагрузки, перегретая жидкость, сосуд под давлением, расчетный метод, численный метод.

**Для цитирования:** Комаров А.А., Шангараев Р.Р., Бегишев И.Р. Верификация методики определения тепловых нагрузок при формировании огневых шаров // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 15–21.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-15-21

## Введение

Аварии, сопровождаемые взрывами и пожарами на объектах нефтегазовой отрасли, характеризуются не только большими экономическими потерями, но и часто человеческими жертвами. Одним из наиболее опасных видов являются аварии, сопровождающиеся образованием огневого шара (ОШ). Огневые шары возникают при выбросе перегретого углеводородного топлива, в результате чего данная пароконденсатная смесь с концентрацией выше верхнего концентрационного предела воспламенения начинает прогорать по оболочке по мере поступления кислорода [1–3].

Опасность таких аварий заключается в том, что при разрушении емкости, содержащей перегретую жидкость или газ, существует вероятность поражения осколками данной емкости. Но более серьезной угрозой в случае образования ОШ является тепловое излучение, которое распространяет свое действие гораздо дальше территории разлета осколков. Существующие методы определения тепловых нагрузок [4, 5] не в полной мере позволяют отразить возможные поражающие факторы в результате аварийных ситуаций, связанных с формированием ОШ. Поэтому целью исследования является верификация разработанной методики [6] определения тепловых нагрузок, сопровождаемых ОШ.

## Теория вопроса

В работе [6] представлена методика расчета теплового излучения от ОШ с учетом его перемещения. Для оценки адекватности модели последствий аварий, связанных с образованием ОШ, рассмотрена авария, происшедшая 10 августа 2020 г. в Волгограде. Авария возникла в результате нарушения технологического процесса при перекачке сниженного пропана из автоцистерны в подземные резервуары. Из-за утечки пропана произошел пожар пролива, пламя охватило емкость цистерны (объем 38 м<sup>3</sup>), произошел ее взрыв с последующим формированием ОШ. В результате пострадали 12 чел., 4 из них — сотрудники пожарной охраны. Наибольшую дозу теплового излучения получил водитель пожарного автомобиля (госпитализирован в тяжелом состоянии, впоследствии умер), 9 чел. госпитализированы в ожоговое отделение с ожогами средней тяжести, 3 чел. с ожогами I–II степени отказались от госпитализации. Также уничтожены одно строение, одно автотранспортное средство с полуприцепом, 13 тыс. м<sup>2</sup> сухой растительности (1,3 га). В материалах описания пожара [7] указано, что после существования (не менее 10 с) ОШ на водителе пожарной автоцистерны отсутствовала одежда по пояс и были обожжены все оголенные части тела.

На рис. 1 (здесь 1 — очаг пожара; 2 — зона пожара; 3 — развитие пожара; 4 — задымление; 5 — пожарная автоцистерна) схематично представлено распространение пожара в результате аварии на автомобильной газозаправочной станции (АГЗС) ООО «ГЭС Поволжья» [7]. На схеме видно, что тепловой поток, образовавшийся в результате разрыва емкости цистерны с пропаном, воспламенил и сухую растительность, находящуюся в том числе на противо-

положной стороне от АГЗС. На рис. 2 представлены последствия взрыва на АГЗС в Волгограде после ликвидации пожара [7]. Видно, что на расстоянии около 190 м от места взрыва со стороны очистных сооружений обожжена сухая растительность.

В описании пожара указано, что на АГЗС находились два подземных резервуара общим объемом 20 м<sup>3</sup> (не сгорели), а также одноэтажное здание операторской площадью 39,2 м<sup>2</sup> (степень огнестойкости II, стены здания — кирпичные, кровля — железобетонная). В описании указано лишь положение сотрудников пожарной охраны.

Рассчитаем тепловые нагрузки, возникшие в результате данной аварии. Для этого необходимо установить кинематические параметры ОШ. Для расчета кинематических параметров использовался метод [6]. На кадрах съемки, представленных на рис. 3, определяли диаметр ОШ и высоту его подъема. На рис. 3, а показан ОШ через 1 с после начала аварии, на рис. 3, б — через 5 с, на рис. 3, в — через 10 с.

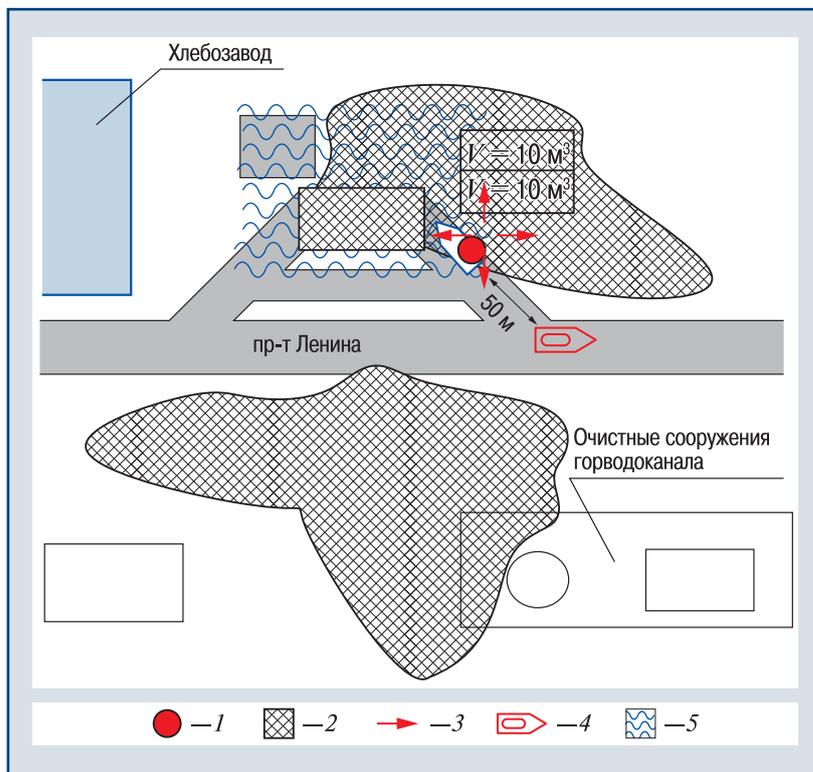
Для рассмотрения движения ОШ решалась система дифференциальных уравнений, которая описывает силовое воздействие среды на ОШ:

$$\begin{cases} \frac{dZ}{dt} = v; \\ (m_{пр} + V_{ш}\rho_{ш}) \frac{dv}{dt} = \\ = \rho_{ср}V_{ш}g - \rho_{ш}V_{ш}g - C_x S_{ш}\rho_{ср} \frac{v^2}{2}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $Z$  — координата центра ОШ;  $v$  — скорость центральной точки ОШ;  $m_{пр}$  — присоединенная масса;  $V_{ш}$  — объем ОШ;  $\rho_{ш}$  — плотность ОШ;  $\rho_{ср}$  — плотность среды;  $g$  — ускорение свободного падения;  $C_x$  — коэффициент лобового сопротивления;  $S_{ш}$  — площадь сечения ОШ.

Все параметры уравнения (1) известны из курса школьной физики и математики, за исключением  $C_x$  и  $m_{пр}$ . Коэффициент лобового сопротивления зависит от формы тела: форма тела либо способствует, либо противодействует возникновению вихрей при обтекании тела жидкостью или газом [8]. Для шара  $C_x = 0,5$ . Но так как подъем ОШ начинается с поверхности земли, то она выполняет функцию экрана, поэтому  $C_x$  принимался 1,5.

Присоединенной массой называется величина, имеющая размерность массы, которая добавляется к массе тела, движущегося неравномерно в жидкой



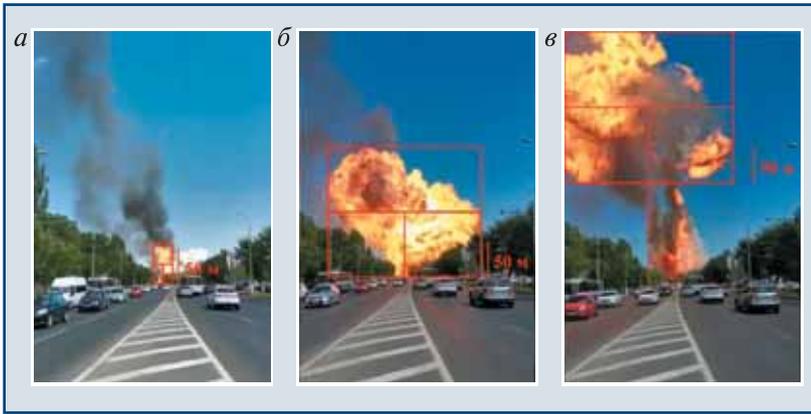
▲ Рис. 1. Распространение пожара в результате аварии на АГЗС ООО «ГЭС Поволжья»  
▲ Fig. 1. The spread of fire as the result of an accident at the gas station of LLC «HPP-Volga region»



▲ Рис. 2. Последствия взрыва на АГЗС в Волгограде  
▲ Fig. 2. Consequences of the explosion at the gas station in Volgograd

или газообразной среде, для учета воздействия среды на это тело [9]. При этом считается, что тело в жидкости или газе движется под действием внешних сил так же, как оно двигалось бы под действием этих сил в пустоте, если бы его масса изменилась на величину присоединенной массы [9]. Применительно к ОШ, имеющему сферическую форму, она равна:

$$m_{пр} = \rho_{ср} \frac{2}{3} \pi R_{ш}^3, \quad (2)$$



▲ Рис. 3. Покадровая съемка аварийного взрыва с последующим формированием ОШ

▲ Fig. 3. Frame-by-frame shooting of an emergency explosion followed by the fireball formation

где  $R_{ш}$  — радиус ОШ.

Для решения уравнения (1) использовалась среда MATLAB. Обыкновенное дифференциальное уравнение (1) решалось численным методом, одношаговым явным методом Рунге — Кутты 4-го и 5-го порядков в модификации Дорманда и Принца [10]. Это классический метод, который дает точные результаты во многих случаях.

По кадрам съемки (см. рис. 3) строились зависимости с шагом в 1 с, представленные на рис. 4.

Для наглядности геометрические показатели ОШ занесены в табл. 1 для дальнейшего расчета параметров поражающих факторов.

Строились зависимости, характеризующие процесс движения ОШ, а именно координаты центра ОШ от времени  $t$  (рис. 4, а), скорости движения центра ОШ  $V_z$  от времени (рис. 4, б) и скорости движения центра ОШ от расстояния  $Z$  (рис. 4, в). Полученные данные (отмечены зелеными точками) аппроксимировались полиномом 3-й степени.

На рис. 4 кривая 1 описывает параметры движения ОШ по кадрам, представленным на рис. 3. Кривая 2 является результатом решения уравнения (1). Видно, что кривые 1 и 2 имеют удовлетворительную сходимость, таким образом, кинематические характеристики ОШ удовлетворительно согласуются с результатами расчета системы дифференциальных уравнений (1). Данное утверждение дает основание полагать, что уравнение (1), основанное на классических законах механики, удовлетворительно описывает процесс передвижения ОШ.

Владея кинематическими характеристиками, описывающими движение ОШ, можно прогнозировать возможные тепловые нагрузки. Для этого необходи-

мо использовать известное соотношение, описывающее значение углового коэффициента переноса диффузного излучения  $F_q$  от сферы с радиусом  $R_s$  на элементарную площадку, находящуюся от излучателя на расстоянии  $R$  [11]:

$$F_q = \frac{\cos \varphi}{R^2} R_s^2, \quad (3)$$

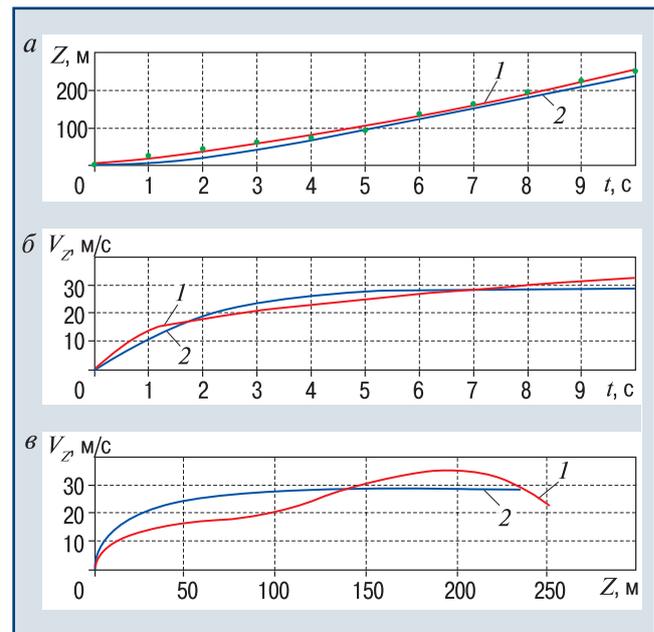
где  $\varphi$  — угол между нормалью к площадке и вектором, соединяющим центр шара и центр площадки.

Для определения интенсивности теплового излучения  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>, необходимо знать среднеповерхностную тепловую мощность излучения  $E_f$  и использовать формулу:

$$q = E_f F_q. \quad (4)$$

В ряде нормативных документов предлагают использовать постоянные значения  $E_f$  для всех видов топлива. Для сжиженных углеводородных газов экспериментальная плотность теплового излучения равна 272 кВт/м<sup>2</sup> [12].

Следующим немаловажным параметром, определяющим степень теплового поражения, является доза теплового излучения  $Q$ , кДж/м<sup>2</sup>, которая опре-



▲ Рис. 4. Кинематические параметры сформировавшегося ОШ

▲ Fig. 4. Kinematic parameters of the formed fireball

Таблица 1

Показатель	Время, с									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр, м	26,07	78,60	164,36	191,70	219,10	250,09	262,40	251,80	240,30	242,10
Высота подъема, м	27,80	45,10	62,60	75,10	93,20	139,40	164,60	196,80	227,30	252,90

деляется как интеграл от интенсивности теплового излучения по времени существования ОШ:

$$Q = \int_0^t q dt, \quad (5)$$

где  $t$  — время существования ОШ, с.

Очевидно, что доза теплового излучения является произведением времени существования ОШ на среднюю по времени величину теплового излучения в точке.

Условная вероятность поражения тепловым излучением рассчитывалась в соответствии с нормативным документом [13]. По значениям пробит-функции  $Pr$  определялись условные вероятности поражения человека тепловым излучением:

$$Pr = -14,9 + 2,56 \ln(tq^{4/3}). \quad (6)$$

### Полученные результаты

Проведем расчеты теплового излучения для пяти точек пространства (все точки равноудалены друг от друга на 50 м). На рис. 5 представлена схема подъема ОШ, диаметр взят из табл. 1, в точках 1–5 рассчитывались параметры теплового излучения.

Распространение теплового потока значительным образом зависит от расположения объекта, поэтому на рис. 6 представлены интенсивности теплового излучения для вертикальных (рис. 6, а) и горизонтальных (рис. 6, б) поверхностей.

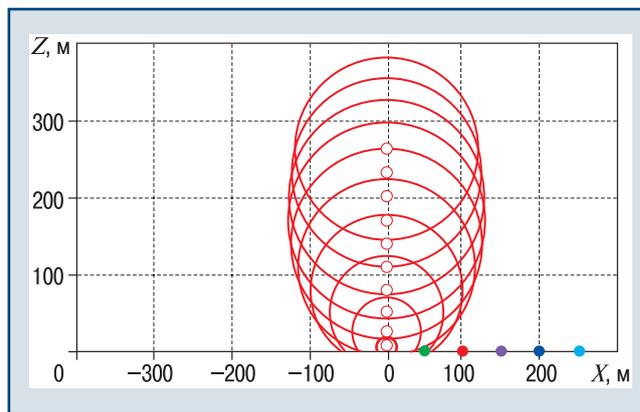
Поражающие параметры, такие как максимальная  $q_{max}$  и средняя  $q_{mean}$  интенсивность теплового излучения для вертикально и горизонтально ориентированной площадки, доза теплового излучения  $Q$  и условная вероятность поражения тепловым излучением для «всплывающего» ОШ, приведены в табл. 2.

На основании полученных значений построены изолинии доз облучения (рис. 7), где изображены следующие уровни доз: 120, 220, 320 и 600 кДж/м<sup>2</sup>. Дозы 120, 220 и 320 кДж/м<sup>2</sup> равны предельным показателям доз теплового излучения. Доза в 120 кДж/м<sup>2</sup> приводит к ожогам I степени. При 220 кДж/м<sup>2</sup> возникают ожоги II степени, а показатель в 320 кДж/м<sup>2</sup> влечет за собой ожоги III степени.

Изолинии вероятностей поражения людей тепловым потоком, создаваемым «всплывающим» ОШ, приведены на рис. 8. При расчетах приняты следующие числовые значения изолиний равных вероятностей: 1; 5; 10; 25; 50; 75 и 99 %.

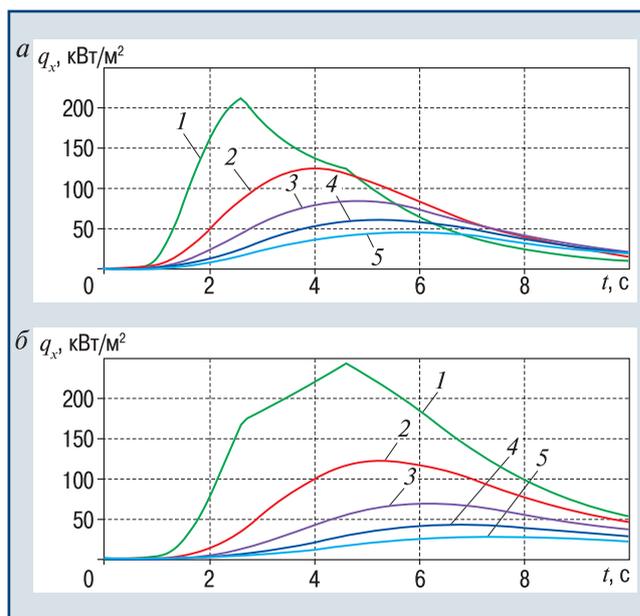
### Обсуждение результатов

Напомним, что на расстоянии 50 м во время аварии располагался пожарный расчет, максимальную дозу теплового излучения получил водитель пожарного автомобиля, с головы до пояса на нем отсутствовала одежда. В [14] указано, что при тепло-



▲ Рис. 5. Мгновенные положения ОШ при его «всплывании» (шаг по времени 1 с)

▲ Fig. 5. Instantaneous positions of the fireball when it «ascends» (the time step is 1 s)



▲ Рис. 6. Временные зависимости интенсивности теплового излучения в пяти точках пространства

▲ Fig. 6. Time dependences of the thermal radiation intensity at five points in space

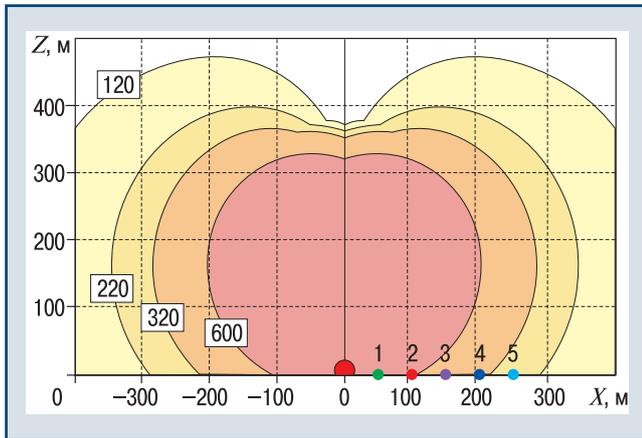
Таблица 2

Поражающий параметр	Расстояние от центра, м				
	50	100	150	200	250
$q_{max}^1$ , кВт/м <sup>2</sup>	211,3	124,7	84,5	60,6	45,3
$q_{max}^2$ , кВт/м <sup>2</sup>	242,7	121,5	68,6	42,1	27,5
$q_{mean}^1$ , кВт/м <sup>2</sup>	75,1	60,1	45,2	34,2	26,3
$q_{mean}^2$ , кВт/м <sup>2</sup>	122,6	65,7	37,7	23,1	14,9
$Q$ , кДж/м <sup>2</sup>	1369,0	663,0	457,0	346,0	266,0
Вероятность, %	100,0	62,2	16,8	2,9	0

<sup>1</sup> Интенсивность теплового излучения для вертикально ориентированных поверхностей.

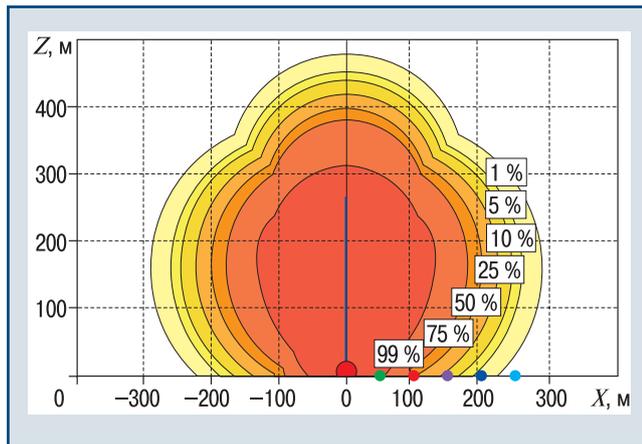
<sup>2</sup> Интенсивность теплового излучения для горизонтально ориентированных поверхностей.

вой мощности 85 кВт/м<sup>2</sup> в течение 3–5 с начинает воспламеняться ткань. Огневой шар существовал 10 с, тепловой поток на расстоянии 50 м, возникший



▲ Рис. 7. Изолинии равных доз облучения, созданных в результате аварии

▲ Fig. 7. Isolines of the equal radiation doses created as the result of an accident

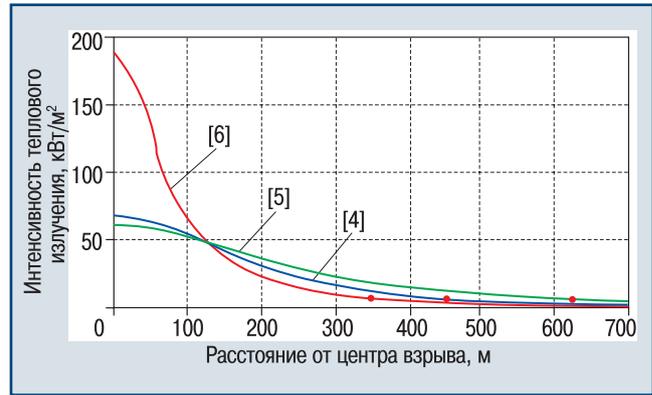


▲ Рис. 8. Изолинии равных вероятностей поражения человека облучением, создаваемым «всплывающим» ОШ, сформировавшимся в результате аварии

▲ Fig. 8. Isolines of equal probabilities of human injury by irradiation created by a pop-up fireball formed as the result of an accident

в результате аварии, был явно более  $85 \text{ кВт/м}^2$ . Спустя три дня от полученных термических травм водитель пожарного автомобиля скончался. Согласно расчетам условная вероятность поражения человека тепловым излучением равна 100 %.

Для сопоставления расчетов тепловых нагрузок и последствий взрыва необходимо знать некоторые значения для воспламенения определенных материалов. Например, для сухой растительности порог воспламенения составляет  $7 \text{ кВт/м}^2$  [15], которая была выжжена на расстоянии приблизительно 190 м от центра взрыва (см. рис. 2). Для сравнения построены кривые изменения интенсивности теплового излучения от расстояния по существующим отечественным нормативным документам и по разработанной методике для горизонтально ориентированных поверхностей (рис. 9). Красными точками отмечен показатель  $7 \text{ кВт/м}^2$  для выбранных методик. По предложенной методике [6] тепловая мощность менее  $7 \text{ кВт/м}^2$  на-



▲ Рис. 9. Сравнение зависимостей интенсивности теплового излучения от расстояния по существующим методикам

▲ Fig. 9. Comparison of the dependences of the thermal radiation intensity on the distance according to the existing methods

чинается от 350 м от центра взрыва. По методике [4] значение менее  $7 \text{ кВт/м}^2$  располагается после 445 м от центра взрыва, а по методике [5] указанное значение расположено на отметке в 620 м.

Такой результат вполне объясним. На дальних расстояниях получены меньшие тепловые потоки по сравнению с методиками [4, 5], это объясняется учетом «всплытия» шара, что в известных методиках не рассматривается.

Для наглядности на карте (рис. 10) отмечена зона, на которой выжжена сухая растительность, а также показаны возможные зоны поражения тепловым потоком более  $7 \text{ кВт/м}^2$  в зависимости от методики. Сравнивая зоны поражения тепловым излучением в результате аварии с результатами прогноза теплового излучения, можно сделать вывод, что разработанная



▲ Рис. 10. Возможные зоны поражения тепловым потоком более  $7 \text{ кВт/м}^2$  в зависимости от методики

▲ Fig. 10. Possible zones of damage to the territory by a heat flow of more than  $7 \text{ кВт/м}^2$ , depending on the methodology

методика адекватно описывает тепловые нагрузки, возникшие в результате взрыва цистерны с пропаном в Волгограде.

### Заклучение

Основным преимуществом разработанной методики является учет перемещения (кинематики) огневого шара, что достовернее существующих отечественных и зарубежных аналогов. Учет кинематики огневого шара позволяет не только получить зависимости изменения тепловых нагрузок при его движении, но и учесть влияние воздушных потоков, которые могут приводить к существенному изменению поражающих факторов, действующих на людей и строительные конструкции. Также разработанная методика позволяет прогнозировать показатели теплового излучения над поверхностью земли, в отличие от существующих отечественных нормативов. Таким образом, разработанная методика может быть рекомендована к применению.

### Список литературы

1. Развитие методических основ оценки возникновения эффекта BLEVE при авариях на объектах хранения топлив/ А.Н. Елизарьев, Р.Г. Ахтямов, М.А. Киселева и др.// Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2019. — Т. 16. — № 1. — С. 157–167.
2. BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry/ I. Sellami, B. Manescau, K. Chetehouna et al.// Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2018. — Vol. 54. — P. 69–84. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.02.010
3. Hazard analysis on LPG fireball of road tanker BLEVE based on CFD simulation/ Y. Wang, X. Gu, L. Xia et al.// Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2020. — Vol. 68. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104319
4. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 10.03.2022).
5. ГОСТ Р 12.3.047—2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 10.03.2022).
6. Шангараев Р.Р. Математическая модель определения тепловых нагрузок при авариях, сопровождаемых огневыми шарами// Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Всемирному дню гражданской обороны. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. — С. 277–282.
7. Раскрыты детали мощного взрыва на заправке в российском городе. URL: <https://lenta.ru/news/2020/08/11/podrobnosti/> (дата обращения: 10.03.2022).
8. Путилов К.А. Курс физики. Т. I. Механика, акустика, молекулярная физика, термодинамика. — М.: ГИ ФМЛ, 1963. — 560 с.
9. Седов Л.И. Механика сплошной среды. В 2 т. Т. 2. — М.: Лань, 2004. — 560 с.

10. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. — М.: ДМК Пресс, 2012. — 768 с.
11. Комаров А.А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М.: МГСУ, 2001. — 36 с.
12. Комаров А.А. Газодинамические потоки при авариях, сопровождаемых огневыми шарами// Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: сб. тез. докл. IV Всерос. науч.-практ. семинара. — М., 2021. — С. 79.
13. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. — М.: ВНИИПО, 2006. — 93 с.
14. Сечин А.И., Кырмакова О.С. Пожаровзрывозащита: учеб. пособие. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. — 248 с.
15. Martinsen W.E., Marx J.D. An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs. URL: <https://www.questconsult.com/papers/radiant-heat-from-fireballs/> (дата обращения: 10.03.2022).

Robson-rus7@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 18 марта 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 15–21.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-15-21

### Verification of the Methodology for Determining Thermal Loads during Fireballs Formation

A.A. Komarov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Explosion Safety Research Center  
NRU MGSU, Moscow, Russia  
R.R. Shangaraev, Student of the Post-Graduate Course,  
Robson-rus7@yandex.ru  
I.R. Begishev, Dr. Sci. (Eng.), Prof.  
State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

### Abstract

An emergency scenario, in which a fireball is formed, is not uncommon. It happens as the result of rupture of the pressure vessel with the release of the superheated fuel. Hazard of the fireballs is significant thermal loads with a short lifetime. The existing methods of predicting the heat flow during the formation of the fireballs simplify the schematization of the process (assume the immobility of the ball), and, also, do not fully reflect the possible thermal loads. For this reason, the method for determining thermal loads was developed, considering the fireball movement.

The purpose of this study is to verify the developed methodology for determining thermal loads accompanied by the fireballs based on a comparative analysis of the calculation results with the consequences of the explosion that occurred on 10.08.2020 in Volgograd. The objectives of the study: determination of the fireball kinematic parameters; based on the kinematic parameters, the calculation of the thermal loads occurred as the result of an accident; comparative analysis of the emergency consequences with the results of the thermal loads; comparative

analysis of the results of the thermal load calculations with the results of heat flow calculations according to the existing regulatory documents.

To check the operability of the fireball lifting model, the shooting frames of its formation were used. According to the shooting frames, the position of the fireball in space and its kinematic characteristics were tracked. Using kinematic parameters, the thermal loads were determined. To assess the adequacy of the thermal loads calculations, a comparative analysis of the calculation results of the developed methodology with the emergency consequence in Volgograd was used.

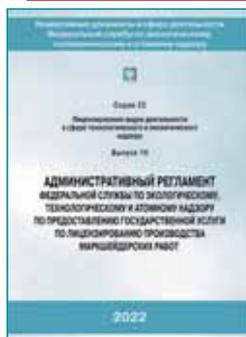
**Key words:** fireball, physical explosion, diffusion combustion, thermal loads, superheated liquid, pressure vessel, calculation method, numerical method.

### References

1. Elizarev A.N., Akhtyamov R.G., Kiseleva M.A., Tarakanov D.A., Tarakanov Dm.A., Yakovlev D.O., Mikhaylov P.A. Development of basic procedures for evaluation of occurrence of BLEVE effect in accidents at fuel storage facilities. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya = Proceedings of Petersburg Transport University*. 2019. Vol. 16. № 1. pp. 157–167. (In Russ).
2. Sellami I., Manescau B., Chetehouna K., de Izarra C., Nait-Said R., Zidani F. BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2018. Vol. 54. pp. 69–84. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.02.010
3. Wang Y., Gu X., Xia L., Pan Y., Ni Y., Wang S., Zhou W. Hazard analysis on LPG fireball of road tanker BLEVE based on CFD simulation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020. Vol. 68. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104319
4. SP 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (accessed: March 10, 2022). (In Russ).
5. GOST R 12.3.047—2012. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (accessed: March 10, 2022). (In Russ).
6. Shangaraev R.R. Mathematical model for determining thermal loads in accidents accompanied by fireballs. *Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti: materialy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy Vsemirnomu dnyu grazhdanskoy oborony* (Civil defense on guard of peace and safety: materials of the Sixth International Scientific and Practical Conference dedicated to the World Civil Defense Day). Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 2022. — С. 277–282. (In Russ).
7. Details of the powerful explosion at a gas station in the Russian city were revealed. Available at: <https://lenta.ru/news/2020/08/11/podrobnosti/> (accessed: March 10, 2022). (In Russ).
8. Putilov K.A. Physics course. Vol. I. Mechanics, acoustics, molecular physics, thermodynamics. Moscow: GI FML, 1963. 560 p. (In Russ).
9. Sedov L.I. Continuum mechanics. In 2 volumes. Vol. 2. Moscow: Lan, 2004. 560 p. (In Russ).
10. Dyakonov V.P. MATLAB. Complete tutorial. Moscow: DMK Press, 2012. 768 p. (In Russ).
11. Komarov A.A. Prediction of loads from emergency deflagration explosions and assessment of the consequences of their effect on buildings and structures: Abstract of the thesis... Doctor of Technical Sciences. Moscow: MGSU, 2001. 36 p. (In Russ).
12. Komarov A.A. Gas-dynamic flows during accidents accompanied by the fireballs. *Sovremennye problemy gidravliki i gidrotekhnicheskogo stroitelstva: sb. tez. dokl. IV Vseros. nauch.-prakt. seminara* (Modern problems of the hydraulics and hydro-technical construction: collection of abstracts of the Fourth All-Russian Scientific and Practical Seminar). Moscow, 2021. p. 79. (In Russ).
13. Guidelines on the fire risk assessment for industrial enterprises. Moscow: VNIPO, 2006. 93 p. (In Russ).
14. Sechin A.I., Kyrmakova O.S. Fire and explosion protection: textbook. Tomsk: Izd-vo Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta, 2015. 248 p. (In Russ).
15. Martinsen W.E., Marx J.D. An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs. Available at: <https://www.questconsult.com/papers/radiant-heat-from-fireballs/> (accessed: March 10, 2022).

Received March 18, 2022

СЕРИЯ 22. ВЫПУСК 16



## АДМИНИСТРАТИВНЫЙ РЕГЛАМЕНТ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ ПО ПРЕДОСТАВЛЕНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОЙ УСЛУГИ ПО ЛИЦЕНЗИРОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВА МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ

Приведен приказ Ростехнадзора от 25.11.2020 № 456, утвердивший прилагаемый к нему Административный регламент Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по предоставлению государственной услуги по лицензированию производства маркшейдерских работ.

Административный регламент приведен в редакции, действующей с 01.03.2022.

**ЭТУ КНИГУ И ДРУГИЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ МОЖНО ПРИОБРЕСТИ ПО АДРЕСУ:**

Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14, а также заказать в отделе распространения по тел/факсам: +7(495) 620-47-53 (многоканальный), +7(495) 620-47-47, +7(495) 620-47-46. E-mail: ornd@safety.ru.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-22-28

УДК 614.841.334.2

© Коллектив авторов, 2022

# Новые требования к огнестойкости строительных конструкций и средств огнезащиты



**А.В. Пехотиков,**  
канд. техн. наук,  
начальник отдела,  
pehotikov.a@mail.ru



**В.С. Горшков,**  
канд. техн. наук,  
начальник сектора



**А.В. Гомозов,**  
канд. техн. наук,  
ст. науч. сотрудник



**О.В. Фомина,**  
науч. сотрудник

ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, Россия

Представлены основные итоги разработки комплекса новых требований по обеспечению огнестойкости строительных конструкций и средств их огнезащиты, позволяющие обеспечить эффективное применение положений Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», а также положений вступившего в силу технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017), детализацию и дополнение положений этих документов с учетом особенностей конструкций и их отдельных элементов, узлов примыкания, области применения этих конструкций, способов и средств огнезащиты, положенные в основу формирования новой редакции свода правил «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

**Ключевые слова:** огнестойкость, строительные конструкции, класс пожарной опасности, пожарная секция, проект огнезащиты, несущие элементы здания, деформационный шов, междуэтажный пояс, простенок.

**Для цитирования:** Пехотиков А.В., Горшков В.С., Гомозов А.В., Фомина О.В. Новые требования к огнестойкости строительных конструкций и средств огнезащиты // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 22–28. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-22-28

## Введение

Исследования по разработке новых требований к огнестойкости строительных конструкций и средств их огнезащиты обусловлены необходимостью эффективного применения положений Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»<sup>1</sup> (далее — Федеральный закон № 123-ФЗ), а также вступившего в силу технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (далее — ТР ЕАЭС 043/2017)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. URL: <https://base.garant.ru/12161584/> (дата обращения: 24.03.2022).

<sup>2</sup> Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017). URL: <https://docs.cntd.ru/document/456080708> (дата обращения: 24.03.2022).

Цель статьи — обзор новых, изложенных в [1], требований к огнестойкости строительных конструкций и средств огнезащиты, которые не зависят от функциональной пожарной опасности здания, в котором эти конструкции использованы, и базируются на положениях технических регламентов, а также обеспечивают развитие положений этих регламентов.

## Направления разработки новых требований к огнестойкости строительных конструкций и средств их огнезащиты

Новые требования к огнестойкости строительных конструкций и средств их огнезащиты разрабатывались по следующим направлениям:

детализация положений Федерального закона № 123-ФЗ в части обеспечения огнестойкости несущих, самонесущих и ограждающих строительных конструкций, не указанных в табл. 21 данного закона, а также не имеющих однозначного толкования положений этой таблицы вне зависимости от функ-

циональной пожарной опасности здания, в котором эти конструкции использованы;

детализация положений Федерального закона № 123-ФЗ в части выбора метода испытаний строительных конструкций на огнестойкость;

детализация положений ТР ЕАЭС 043/2017 применительно к требованиям, регламентирующим применение и контроль средств огнезащиты, позволяющих обеспечить эффективное использование данного регламента;

разработка требований по огнестойкости к элементам конструкций — светопропускающим элементам, междуэтажным поясам, простенкам, деформационным швам и др., для которых положениями Федерального закона № 123-ФЗ не установлены данные требования;

разработка требований к конструктивному исполнению противопожарных преград, узлов примыкания преград к строительным конструкциям и т.д.

При этом описанные выше направления работ не включали в себя разработку специфических требований к огнестойкости строительных конструкций конкретных зданий (общественных, сельскохозяйственных, жилых, автостоянок и др.), поскольку последние обоснованы в статье [2] и нормативно закреплены в [1].

#### Детализация положений технических регламентов

В рамках данного направления исследований разработаны и внесены в [1] следующие основные актуализированные требования к пределам огнестойкости и классам пожарной опасности строительных конструкций, позволяющие детализировать положения Федерального закона № 123-ФЗ и обеспечить его эффективное применение.

Поскольку Федеральный закон № 123-ФЗ не содержит определения понятия «несущие элементы здания», дано полное определение данного понятия, т.е. несущих конструкций, гарантирующих общую прочность и пространственную устойчивость здания, а также предотвращающих прогрессирующее (лавинообразное) разрушение его конструкций за пределами очага пожара. Понятие позволяет объективно и точно формировать повышенные (относительно других несущих конструкций) требования по огнестойкости только к строго определенной группе конструкций и исключить неэффективные затраты на повышение пределов огнестойкости тех конструкций, потеря огнестойкости которых не обуславливает потерю общей прочности и пространственной устойчивости, а также прогрессирующее разрушение.

С учетом того, что в табл. 21 Федерального закона № 123-ФЗ содержатся требования к пределам огнестойкости только наружных несущих стен, разработаны новые требования, согласно которым предел огнестойкости наружных несущих стен по потере целостности (Е), а также предел огнестойкости конструкций наружных светопрозрачных стен (в том

числе навесных, междуэтажного заполнения) должен быть не менее требуемого предела огнестойкости для наружных несущих стен.

Аналогичным образом, поскольку положениями Федерального закона № 123-ФЗ не определены условия, регламентирующие возможность устройства в наружных стенах зданий элементов с ненормируемым пределом огнестойкости (окон, ленточного остекления и т.д.), а также требования к размерам этих элементов и местам их расположения, разработаны и внедрены в практику противопожарного нормирования понятия «междуэтажный пояс» и «простенок», включая разработку требований к их размерам и пределам огнестойкости.

Согласно этим требованиям междуэтажный пояс должен быть запроектирован как глухой (без применения открывающихся конструкций) участок наружной стены высотой не менее 1,2 м, расположенный между смежными по высоте проемами (оконными или иными проемами) или участками светопрозрачной конструкции с ненормируемым пределом огнестойкости. Предел огнестойкости междуэтажного пояса по признаку потери целостности (Е) должен быть предусмотрен не менее требуемого предела огнестойкости примыкающего перекрытия, но не более Е 60.

Простенок должен быть запроектирован как глухой (без применения открывающихся конструкций) участок наружной стены, имеющий предел огнестойкости не менее требуемого предела огнестойкости для наружных стен. Его ширина должна составлять не менее 0,8 м в случае примыкания к нему нормируемых по огнестойкости внутренних стен (в случае примыкания к простенку стен лестничных клеток и противопожарных преград предусмотрены дополнительные требования).

Для возможности варьирования архитектурных решений фасадов разработаны новые требования по огнестойкости, позволяющие обеспечить необходимый уровень пожарной безопасности здания при устройстве всего фасада в светопрозрачных конструкциях. Согласно вышеуказанным требованиям, если междуэтажные пояса и простенки выполняются частично или полностью светопрозрачными, то они в пределах установленных размеров должны быть выполнены глухими (неоткрывающимися) и иметь предел огнестойкости с численными значениями: по признаку (Е) — как для примыкающего перекрытия или огнестойкой горизонтальной конструкции и по признакам (I, W) — как для наружных стен.

Кроме того, в рамках данного направления исследований разработаны требования к пределам огнестойкости несущих конструкций лестниц 2-го типа исходя из степени огнестойкости здания и класса функциональной пожарной опасности помещений, в которых они находятся.

Часть 9 ст. 87 Федерального закона № 123-ФЗ предусматривает, что пределы огнестойкости стро-

ительных конструкций должны определяться в условиях стандартных испытаний по методикам, установленным нормативными документами по пожарной безопасности, но не указывает, какой из режимов пожара должен быть применен для подтверждения требований данного закона. В настоящее время различают следующие нормированные температурные режимы пожаров, позволяющие оценить предел огнестойкости строительных конструкций: стандартный температурный режим по [3], углеводородный температурный режим, а также режим медленно развивающегося (тлеющего) пожара. С учетом этого разработаны и изложены в [1] требования, регламентирующие порядок применения различных методов испытания строительных конструкций на огнестойкость, согласно которым для подтверждения требований табл. 21 данного закона, а также при реализации положений [1] необходимо руководствоваться только стандартным температурным режимом по [3]. Для определения пределов огнестойкости при альтернативных, регламентируемых стандартом [4], режимах (в том числе реальных температурных режимах пожара) нужно разрабатывать иные требования к степени огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности зданий, размерам пожарных отсеков относительно положений Федерального закона № 123-ФЗ и нормативных документов по пожарной безопасности, включая [1].

Для формирования и развития современных требований по противопожарной защите объектов на основе эффективного применения противопожарных преград в [1] и Федеральном законе № 123-ФЗ введено понятие «пожарная секция», которое позволяет обеспечить более результативные и гибкие решения по ограничению распространения пожара в зданиях и сооружениях, оптимизировать зоны оповещения и эвакуации при пожаре без устройства дополнительных пожарных отсеков.

С учетом положений ст. 58 Федерального закона № 123-ФЗ, а также вступления в силу ТР ЕАЭС 043/2017 разработаны и внесены в [1] современные требования к средствам огнезащиты строительных конструкций, конструктивной огнезащите, вспучивающимся огнезащитным покрытиям, проекту огнезащиты, штукатурным составам и др. Данные требования прошли широкую практическую многолетнюю апробацию, а также учитывают результаты зарубежных исследований, в том числе для стальных конструкций, конструкций из железобетона и средств огнезащиты для них [5–8].

В частности, разработано требование о том, что проект огнезащиты должен содержать обоснование принятых проектных решений по способам и средствам огнезащиты строительных конструкций для обеспечения их предела огнестойкости с учетом экспериментальных данных по огнезащитной эффективности средства огнезащиты, а также результатов прочностных и теплотехнических расчетов

строительных конструкций с нанесенными средствами огнезащиты. Перед испытаниями средства огнезащиты (огнезащитного состава) должна быть проведена его идентификация методом термического анализа в соответствии с [9]. Для средств огнезащиты стальных конструкций одновременно с испытаниями по определению огнезащитной эффективности должны проводиться испытания по контрольному методу в соответствии с [10].

Пределы огнестойкости несущих строительных конструкций с огнезащитой определяют одним из следующих методов: испытаниями строительных конструкций с нанесенной огнезащитой при воздействии нагрузки в соответствии с ГОСТ 30247.1—94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции»; расчетно-аналитическим методом, включающим совместное решение прочностной задачи с учетом заданных условий нагружения и опирания конструкции и теплотехнической задачи с использованием экспериментальных данных по огнезащитной эффективности средства огнезащиты, результаты апробации которых приведены в [11, 12].

При этом для стальных конструкций дополнительно должно быть проведено огневое испытание образца стальной колонны или горизонтальной балки с учетом приложения к ним статической нагрузки в соответствии с методами, указанными в приложениях Б и В [10].

Сформулировано требование о том, что огнестойкость конструкций противопожарных стен и перекрытий, как правило, должна обеспечиваться за счет их конструктивных решений, применения соответствующих строительных материалов. В случае использования средств огнезащиты для обеспечения требуемого предела огнестойкости несущих конструкций противопожарных стен и перекрытий 1-го типа не допускается применять вспучивающиеся огнезащитные покрытия. Эти положения позволяют также реализовать требования ТР ЕАЭС 043/2017 к средствам огнезащиты, а также к технической документации на средства огнезащиты, в том числе ст. 19, 20 указанного технического регламента о том, что техническая документация на средства огнезащиты должна содержать информацию о технических показателях, характеризующих область их использования, условия и срок эксплуатации огнезащитных покрытий и т.д.

Кроме того, достижение описанных целей указанных статей данного технического регламента обеспечивается требованиями, согласно которым выбор вида огнезащиты конструкций осуществляется с учетом режима эксплуатации объекта защиты и установленных сроков эксплуатации огнезащитного покрытия. Такая информация должна быть указана в проекте огнезащиты. В случае применения средств огнезащиты 1–3-й групп огнезащитной эффективности, в соответствии с [10], на объектах, имеющих

более 1000 м<sup>2</sup> поверхности металлоконструкций (и для каждых последующих 1000 м<sup>2</sup>), средств огнезащиты 4–6-й групп огнезащитной эффективности на объектах, имеющих более 3000 м<sup>2</sup> поверхности металлоконструкций (и для каждых последующих 3000 м<sup>2</sup>), а также в иных случаях по усмотрению собственника (арендатора, субарендатора) объекта защиты перед нанесением (монтажом) средства огнезащиты следует проводить процедуру его идентификации. В технической документации на средства огнезащиты и в проекте огнезащиты должен быть указан порядок контроля их огнезащитной эффективности в процессе эксплуатации. В случае строительства зданий и сооружений в сейсмическом районе при применении средств огнезащиты должны выполняться требования [13].

Если требуемый предел огнестойкости конструкции (за исключением конструкций в составе противопожарных преград) установлен R 15 (RE 15, RE I15), допускается использовать незащищенные стальные конструкции при условии, что их предел огнестойкости по результатам испытаний или расчетов составляет R 8 и более, либо независимо от их фактического предела огнестойкости, если их приведенная толщина металла, в соответствии с [10], составляет не менее 4 мм. Для структурных конструкций (ферм, структурных колонн и т.д.) оценивается на огнестойкость каждый элемент этих конструкций. В случае если один или несколько элементов структурных конструкций не удовлетворяют вышеуказанным условиям, допускается проводить огнезащитную обработку только для данного элемента (элементов) до предела огнестойкости не менее R 8, включая узлы крепления и сочленения с другими элементами.

Положения ст. 18 ТР ЕАЭС 043/2017 предусматривают, что средства огнезащиты должны обладать огнезащитной эффективностью, обеспечивающей снижение пожарной опасности и (или) повышение огнестойкости защищаемых объектов до нормируемого уровня. В Российской Федерации нормируемый уровень огнестойкости строительных конструкций устанавливается ст. 35, 87 и табл. 21 Федерального закона № 123-ФЗ, а также нормативными документами по пожарной безопасности.

#### **Разработка требований к противопожарным преградам и элементам конструкций**

В рамках данного направления исследований разработаны и внесены в [1] следующие требования к конструктивному исполнению противопожарных преград и элементов конструкций.

Часть 7 ст. 88 Федерального закона № 123-ФЗ предусматривает, что конструктивное исполнение мест сопряжения противопожарных стен с другими стенами зданий и сооружений должно исключать возможность распространения пожара в обход этих преград. Разработанными требованиями учтено, что, если при размещении противопожарных стен или

противопожарных перегородок 1-го типа в местах примыкания одной части здания к другой образуется внутренний угол менее 135°, необходимо принять следующие меры:

участок наружной стены одной из частей здания, примыкающих к противопожарной стене или перегородке, длиной не менее 4 м от вершины угла должен быть класса пожарной опасности К0 и иметь предел огнестойкости, равный пределу огнестойкости противопожарной стены или противопожарной перегородки;

карнизный свес крыши на данном участке наружной стены следует выполнять из негорючих материалов либо с обшивкой листовыми негорючими материалами;

проемы на данном участке наружной стены должны иметь соответствующее противопожарное заполнение.

Кроме того, поскольку Федеральный закон № 123-ФЗ не содержит требований к узлам примыкания противопожарных преград к наружным стенам, разработаны следующие новые требования:

противопожарные стены 2-го типа и перегородки 1-го типа должны примыкать к глухим участкам наружных стен с нормируемым пределом огнестойкости шириной не менее 1 м, а противопожарные перегородки 2-го типа — к глухим участкам наружных стен с нормируемым пределом огнестойкости шириной не менее 0,8 м;

противопожарные стены 1-го типа должны разделять наружные стены классов К1, К2 и К3 и выступать за наружную плоскость стены не менее чем на 30 см. Допускается не разделять указанные стены в случае, если противопожарная стена 1-го типа примыкает к глухому участку наружной стены шириной не менее 1,2 м, имеющей предел огнестойкости не менее E 60 и класс К0;

при наружных стенах со светопрозрачными участками, имеющими ненормируемый предел огнестойкости, в том числе с ленточным остеклением, противопожарные стены 1-го типа должны разделять эти светопрозрачные участки стен. Допускается не разделять указанные стены в случае, если противопожарная стена 1-го типа примыкает к глухому участку наружной стены шириной не менее 1,2 м, имеющей предел огнестойкости не менее E 60 и класс К0.

Противопожарные перекрытия 1-го типа, как правило, должны разделять наружные стены и выступать за наружную плоскость стены не менее чем на 30 см. При этом должен быть предусмотрен междуэтажный пояс высотой не менее 1,2 м с пределом огнестойкости не менее E 60.

Допускается не разделять противопожарными перекрытиями 1-го типа наружные стены, если одновременно выполняются следующие условия: высота междуэтажного пояса должна быть не менее 1,5 м; предел огнестойкости междуэтажного пояса (в том числе узла примыкания) предусмотрен не менее

Е1 150; класс пожарной опасности междуэтажного пояса (в том числе узла примыкания) должен быть не менее К0; внешняя теплоизоляция, облицовка и отделка толщиной более 0,5 мм наружных стен зданий на уровне противопожарного перекрытия должны разделяться противопожарной отсечкой, выполненной из негорючих материалов, вертикальным размером не менее толщины перекрытия.

Часть 6 ст. 88 Федерального закона № 123-ФЗ предусматривает, что места сопряжения противопожарных стен, перекрытий и перегородок с другими ограждающими конструкциями здания, сооружения, пожарного отсека должны иметь предел огнестойкости не менее предела огнестойкости сопрягаемых преград. Для реализации данного положения разработаны требования, согласно которым пределы огнестойкости конструкций, обеспечивающих устойчивость противопожарной преграды, конструкций, на которые она опирается, а также узлов крепления конструкций между собой по признаку R, а узлов примыкания по признакам EI, должны быть не менее предела огнестойкости противопожарной преграды. Предел огнестойкости узлов крепления и примыкания строительных конструкций между собой определяется в рамках оценки огнестойкости стыкуемых строительных конструкций. Данные требования также распространены на стены лестничных клеток.

Для конструкций, которые не являются противопожарными преградами, установлены требования, согласно которым предел огнестойкости узлов крепления (по признаку R) и примыкания (по признакам E, EI) должен быть не ниже минимального требуемого предела огнестойкости стыкуемых строительных конструкций и определяться в рамках оценки огнестойкости этих конструкций.

С учетом многочисленных запросов проектных организаций дополнительно на основе положений [14] разработаны требования к устройству в здании деформационного шва (отсутствуют в Федеральном законе № 123-ФЗ). В соответствии с требованиями данный шов не должен снижать предел огнестойкости каждой из смежных конструкций, а материалы, применяемые для заполнения деформационных швов, должны обеспечивать требуемый класс пожарной опасности каждой из конструкций.

В отношении фасадных систем введено новое положение — для зданий всех классов функциональной пожарной опасности допускается нанесение на негорючую внешнюю поверхность наружных стен (в том числе на облицовку и отделку фасадных систем), а также на металлические элементы каркасов навесных фасадных систем горючих защитно-декоративных покрытий толщиной до 0,3 мм (окрашивание, напыление и т.п.). Данное положение допускает применение указанных видов фасадов в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф 1.1 и Ф 4.1 всех степеней огнестойкости при выполнении других требований нормативных документов.

Для зданий и сооружений I–III степеней огнестойкости, кроме малоэтажных (до трех этажей включительно) жилых домов, дополнительно указано, что материалы ветровлагозащитных мембран не должны относиться к группе горючих легковозгораемых материалов по [15], что дает возможность не нормировать их по группе горючести.

#### Заключение

Для эффективного применения Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» разработаны современные требования по обеспечению огнестойкости строительных конструкций и средств их огнезащиты, которые детализируют положения данных технических регламентов, дополняют и дают однозначное их толкование.

В итоге в новую редакцию СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» внедрены следующие положения, регламентирующие: трактование табл. 21 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (дают однозначное понимание требований этой таблицы); требования по огнестойкости к элементам конструкций (светопропускающим элементам, междуэтажным поясам, простенкам, деформационным швам и др.), для которых положениями Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» эти требования не установлены; требования к конструктивному исполнению противопожарных преград, узлов примыкания преград к строительным конструкциям и др.; выбор методов испытаний строительных конструкций на огнестойкость; применение и контроль средств огнезащиты строительных конструкций; методы оценки пределов огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой.

#### Список литературы

1. СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565248963> (дата обращения: 24.03.2022).
2. Основные итоги актуализации положений свода правил «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» с учетом новых требований сводов правил в области строительства/ В.С. Горшков, А.В. Гомозов, В.В. Павлов, О.В. Фомина// Пожаровзрывобезопасность. — 2021. — Т. 30. — № 4. — С. 5–13. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.5-13
3. ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9055248> (дата обращения: 24.03.2022).

4. *ГОСТ Р ЕН 1363-2—2014*. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113419> (дата обращения: 24.03.2022).

5. *Nause P.* Brandschutztechnische Bewertung tragender Bauteile im Bestand. URL: <https://docplayer.org/2762246-Brandschutztechnische-bewertung-tragender-bauteile-im-bestand.html> (дата обращения: 24.03.2022).

6. *Fire protection for structural steel in buildings*. URL: <https://docplayer.net/23624577-Fire-protection-for-structural-steel-in-buildings.html> (дата обращения: 24.03.2022).

7. *Zhang Q.* Durable Spray-Applied Fire-Resistive material for Enhanced Safety of Steel Structures: thesis submitted ... for the Degree of Doctor of Philosophy (Civil Engineering). — Ann Arbor, 2015. — 172 p.

8. *Stucchi R., Amberg F.* A Practical Approach for Tunnel Fire Verification// Structural Engineering International. — 2020. — Vol. 30. — № 1. — P. 515–529. DOI: 10.1080/10168664.2020.1772697

9. *ГОСТ Р 53293—2009*. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071912> (дата обращения: 24.03.2022).

10. *ГОСТ Р 53295—2009*. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071913> (дата обращения: 24.03.2022).

11. *Стандартизация и внедрение расчетных методов в области огнезащиты несущих стальных конструкций/ В.И. Голованов, В.В. Павлов, А.В. Пехотиков, Д.Г. Пронин// Актуальные проблемы пожарной безопасности. Материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф.: сб. тр. конф. — Балашиха: ВНИИПО, 2019. — С. 26–29.*

12. *Расчетные методики оценки огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций/ А.В. Пехотиков, В.В. Павлов, И.Р. Хасанов, В.И. Голованов// Актуальные проблемы пожарной безопасности: тез. докл. XXX Междунар. науч.-практ. конф. — Балашиха: ВНИИПО, 2018. — С. 359–361.*

13. *СП 14.13330.2018*. Строительство в сейсмических районах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571> (дата обращения: 24.03.2022).

14. *Огнестойкость железобетонной конструкции с деформационным швом при знакопеременных нагрузках/ В.А. Прусаков, М.В. Гравит, А.В. Пехотиков, В.В. Павлов// Пожарная безопасность. — 2020. — № 1 (98). — С. 63–71. DOI: 10.37657/vniipo.2020.98.1.007*

15. *ГОСТ Р 56027—2014*. Материалы строительные. Метод испытаний на возгораемость под воздействием малого пламени. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110772> (дата обращения: 24.03.2022).

**pekhotikov.a@mail.ru**

Материал поступил в редакцию 24 марта 2022 г.

«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 22–28.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-22-28

## New Requirements for the Fire Resistance of the Building Structures and Fire Protection Equipment

**A.V. Pekhotikov**, Cand. Sci. (Eng.), Department Head,  
pekhotikov.a@mail.ru

**V.S. Gorshkov**, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Sector

**A.V. Gomozov**, Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Assistant

**O.V. Fomina**, Research Associate

**FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, Balashikha, Russia**

### Abstract

Set of the new requirements for ensuring fire resistance of the building structures and means of their fire protection described in the article was developed considering the provisions of the Federal Law № 123-FZ of July 22, 2008 «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» and Technical Regulations of the Eurasian Economic Union «On the Requirements for Means Ensuring Fire Safety and Fire Extinguishing» (TR EAEU 043/2017).

As part of the studies, the need was substantiated in applying more detailed and differentiated requirements to the fire resistance limits of the load bearing, self-supporting and enclosing building structures, as well as to the individual parts of the structures and their junctions — light-transmitting elements, inter-floor belts, partition walls, expansion joints, etc.

The set of new requirements on ensuring fire resistance of the building structures includes the requirements for building structures fire resistance limits that are not specified in Table 21 of the Federal Law № 123-FZ of July 22, 2008 «Technical Regulations on Fire Safety Requirements», as well as unambiguous interpretations of the provisions of this Table in relation to both individual structures and the elements of these structures.

The developed requirements also supplement and disclose the number of provisions of the Federal Law № 123-FZ of July 22, 2008, regarding the choice of the method of testing building structures for fire resistance, the design of fire walls, the limits of fire resistance of the junction points, etc.

As part of the conducted studies, the new provisions were substantiated that regulate the use of fire protection means for the building structures based on the fire protection project and differentiated methods for assessing the fire resistance limits of steel structures with fire protection.

**Key words:** fire resistance, fire resistance limit, fire hazard class, degree of fire resistance, structural fire hazard class, fire section, fire protection project, load-bearing elements of the building, deformation seam, inter-story belt, partition wall.

### References

1. SP 2.13130.2020. Systems of fire protection. Fire-resistance security of protecting units. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/565248963> (accessed: March 24, 2022). (In Russ.).

2. Gorshkov V.S., Gomozov A.V., Pavlov V.V., Fomina O.V. The key effects of the revised provisions of the set of rules «Fire protection systems. Fire resistance of protected items» with regard for the new requirements introduced into building regulation codes. *Pozharovzryvobezопасnost = Fire and Explosion Safety*. 2021. Vol. 30. № 4. pp. 5–13. (In Russ). DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.5-13

3. GOST 30247.0—94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/9055248> (accessed: March 24, 2022). (In Russ.).
4. GOST R EN 1363-2—2014. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200113419> (accessed: March 24, 2022). (In Russ.).
5. Nause P. Brandschutztechnische Bewertung tragender Bauteile im Bestand. Available at: <https://docplayer.org/2762246-Brandschutztechnische-bewertung-tragender-bauteile-im-bestand.html> (accessed: March 24, 2022).
6. Fire protection for structural steel in buildings. Available at: <https://docplayer.net/23624577-Fire-protection-for-structural-steel-in-buildings.html> (accessed: March 24, 2022).
7. Zhang Q. Durable Spray-Applied Fire-Resistive Material for Enhanced Safety of Steel Structures: thesis submitted ... for the Degree of Doctor of Philosophy (Civil Engineering). Ann Arbor, 2015. 172 p.
8. Stucchi R., Amberg F. A Practical Approach for Tunnel Fire Verification. Structural Engineering International. 2020. Vol. 30. № 1. pp. 515–529. DOI: 10.1080/10168664.2020.1772697
9. GOST R 53293—2009. Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200071912> (accessed: March 24, 2022). (In Russ.).
10. GOST R 53295—2009. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200071913> (accessed: March 24, 2022). (In Russ.).
11. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V., Proinin D.G. Standardization and implementation of the calculation methods in the field of fire protection of load-bearing steel structures. *Aktualnye problemy pozharnoy bezopasnosti. Materialy XXXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: sb. tr. konf.* (Actual problems of fire safety. Materials of the Thirty First International Scientific and Practical Conference: proceedings of the conference). Balashikha: VNIPO, 2019. pp. 26–29. (In Russ.).
12. Pekhotikov A.V., Pavlov V.V., Khasanov I.R., Golovanov V.I. Calculation methods for assessing the fire resistance and fire hazard of the building structures. *Aktualnye problemy pozharnoy bezopasnosti: tez. dokl. XXX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Actual problems of the fire safety: abstracts of the Thirties International Scientific and Practical Conference). Balashikha: VNIPO, 2018. pp. 359–361. (In Russ.).
13. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/550565571> (accessed: March 24, 2022). (In Russ.).
14. Prusakov V.A., Gravit M.V., Pekhotikov A.V., Pavlov V.V. Fire Resistance of Reinforced Concrete Structure with an Expansion Joint at Variable Loads. *Pozharnaya bezopasnost = Fire Safety*. 2020. № 1 (98). pp. 63–71. (In Russ.). DOI: 10.37657/vniipo.2020.98.1.007
15. GOST R 56027—2014. Building materials. Small-flame test. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200110772> (accessed: March 24, 2022). (In Russ.).

*Received March 24, 2022*

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Технологии техносферной безопасности (научный интернет-журнал)

**Актуализация проблем управления техническим обеспечением территориальных органов МЧС России на основе анкетирования и экспертного опроса/ В.А. Аристархов, А.П. Сатин, В.А. Дайнес и др. — 2021. — № 4. — С. 172–183.**

Проведено исследование факторов, влияющих на организацию управления техническим обеспечением подразделений территориальных органов МЧС России. Разработана анкета, проведены отбор и опрос сотрудников, занимающих должности на различных уровнях иерархии системы управления техническим обеспечением территориальных органов МЧС России, начиная с отдельного подразделения и до центрального аппарата МЧС России включительно. Произведено ранжирование факторов, влияющих на организацию технического обеспечения с применением метода экспертного опроса. Выявлены наиболее существенные факторы, негативно влияющие на процесс управления техническим обеспечением подразделений. Полученные в ходе работы результаты

возможно использовать при разработке предложений по совершенствованию системы управления техническим обеспечением подразделений и определению перспективных направлений исследований в данной области.

**Кузьминская А.М., Бузаева М.В., Агеева О.В. Современные методы снижения испарения и обеспечения безопасности при хранении нефтепродуктов в резервуарах. — 2021. — № 4. — С. 65–75.**

Сделаны выводы о возможности использования поверхностно активных веществ в качестве присадок для снижения испарения бензинов при длительном хранении в резервуарах. Проведен анализ основных компонентов и методов синтеза поверхностно-активных композиций, способных создавать на границе раздела фаз «жидкость — атмосфера» пленку поверхностно-активного вещества, защищающую жидкость от испарения. Показано, что снижение испаряемости бензинов с использованием недорогих и эффективных присадок, вводимых в топливо в небольших количествах, не только снижает взрывопожароопасность при хранении в больших резервуарах, уменьшает потери, но и предотвращает негативное воздействие на окружающую среду от попадания в нее низкомолекулярных углеводородов.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-29-34

УДК 622.692.4.053

© Коллектив авторов, 2022

## К вопросу повышения надежности работы магистральных газопроводов



**Э.И. Велиулин,**  
ген. директор



**И.И. Велиулин,**  
д-р техн. наук, гл. инженер —  
первый зам. ген. директора



**М.Ю. Митрохин,**  
д-р техн. наук, зам. ген.  
директора



**В.А. Александров,**  
зам. ген. директора,  
aleksandrov@eksikom.ru

ООО ГК «ВЭС», Москва, Россия

ООО «ЭКСИКОМ», Москва, Россия

Рассматривается проблема безопасности находящихся в длительной эксплуатации магистральных газопроводов, анализируются статистические данные их аварийности и причины возникновения дефектов металла труб. Основными методами капитального ремонта магистральных газопроводов являются ремонт газопровода методом сплошной переизоляции в трассовых условиях, замена участка газопровода на участок из новых труб с демонтажем старого или выборочный ремонт локальных участков. Анализируется опыт проведения ремонтных работ различными методами, в том числе и с использованием труб, бывших в эксплуатации и подготовленных к дальнейшей работе в заводских условиях. Даются предложения по поддержанию работоспособности газопроводов на высоком уровне.

**Ключевые слова:** магистральные газопроводы, надежность, коррозия труб, стресс-коррозионные дефекты, сплошная переизоляция, замена труб, капитальный ремонт.

**Для цитирования:** Велиулин Э.И., Велиулин И.И., Митрохин М.Ю., Александров В.А. К вопросу повышения надежности работы магистральных газопроводов// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 29–34. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-29-34

### История аварийности магистральных газопроводов

В 1960–80-е годы основной проблемой на газопроводах была коррозия труб, вызванная применением в качестве противокоррозионной защиты полиэтиленовых липких лент холодного нанесения и несвоевременным вводом в эксплуатацию средств электрохимзащиты. В последующем в 1990-е годы на первый план вышла проблема образования и развития стресс-коррозионных дефектов, которые охватили северные регионы и среднюю полосу.

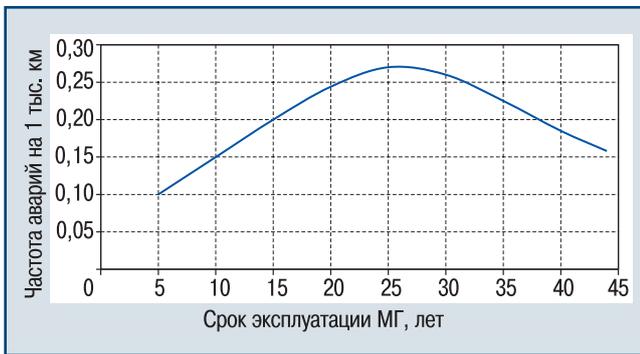
Аварийность на линейной части (ЛЧ) магистральных газопроводов (МГ) принято оценивать по частоте аварий, рассчитываемой как число аварий в год на тысячу километров трассы газопроводов. До середины 1990-х годов на долю отказов по причине коррозии приходилось 55–70 %, следующий период характеризуется превалированием отказов, вызванных стресс-коррозией, уровень которых составлял 40–50 %.

На газопроводах, построенных в 1950–70-х годах, процесс эксплуатации можно охарактеризовать как классический с периодом приработки (5–7 лет),

периодом нормализации эксплуатационных параметров (15–20 лет) и периодом старения системы. При этом в течение первого периода, когда уложенный трубопровод после закачки газа, нагрева металла, нагруженный внутренним давлением «выбирает» наиболее оптимальное положение в формирующемся околотрубном пространстве, в сварных соединениях (как и в целом по трубопроводу) происходят процессы сжатия, растяжения и изгиба. Анализ показывает, что в течение этого периода наблюдается наибольшее число отказов по сварным стыкам.

В целом по ПАО «Газпром» доля отказов, относящаяся на сварные соединения, невелика и составляет 11–12 % [1]. При этом через 15–16 лет эксплуатации газопроводов отказы практически прекращаются. Статистические данные по аварийности МГ, представленные в виде графика частоты аварий на рис. 1, показывают, что в конце XX в. наибольшая интенсивность аварий имела место при сроках эксплуатации МГ от 22 до 30 лет.

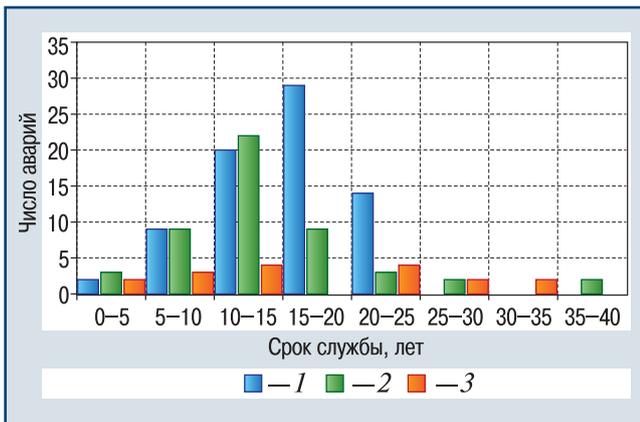
В более поздний период картина несколько поменялась: наибольший показатель отказов наблюдался



▲ Рис. 1. График частоты аварий МГ в зависимости от сроков эксплуатации

▲ Fig. 1. Graph of the frequency of the main gas pipeline accidents depending on the service life

с 14-го по 25-й год эксплуатации. При этом присутствовал значительный разброс отказов в зависимости от регионов, что отображено на рис. 2 (здесь 1 — север; 2 — центр; 3 — юг).



▲ Рис. 2. Динамика распределения аварий на ЛЧ МГ по регионам в зависимости от срока службы газопроводов

▲ Fig. 2. Dynamics of the distribution of accidents at the main gas pipeline linear part by region depending on the gas pipelines service life

### Причины и статистика критических дефектов труб

Проведенный анализ опыта использования труб с различным сроком эксплуатации показал, что постепенное накопление усталостных повреждений в трубах при длительной эксплуатации в конечном итоге может привести к возникновению макротрещин [2], вызывающих нарушение их герметичности, внезапное разрушение отдельных элементов при появлении высоких статических нагрузок, снижение местной прочности материала, недопустимое при последующем действии высоких статических нагрузок.

Наличие при эксплуатационных нагрузках амплитуд напряжений различного уровня требует введения в расчеты ресурса общепринятой гипотезы суммирования повреждений.

В настоящее время предложено достаточно много методов суммирования усталостных повреждений,

однако экспериментальные проверки показали, что полученные с их помощью результаты зависят от характера процесса нагружения, конструктивных особенностей и свойств применяемых материалов.

Наибольшего распространения в инженерных расчетах получила линейная теория накопления усталостных повреждений, которая является наиболее универсальной и простой в реализации. Разрушение должно наступать, когда отношение накопленного числа циклов  $n_i$  к предельному  $N_i$  достигает единицы:

$$P = \sum (n_i / N_i) = 1,$$

где  $P$  — средние значения накопленного повреждения;  $N_i$  — разрушающее число циклов при действии продольного напряжения в трубопроводах  $\sigma_1$ .

Исследования, проведенные различными авторами, показали, что линейная гипотеза накопления повреждений является наиболее распространенной в практических приложениях моделью, которая должна рассматриваться в статическом аспекте. Средние значения накопленного повреждения и его дисперсия (или среднее квадратичное отклонение) являются функциями: усталостных свойств материала деталей, характера нагруженности, метода схематизации случайного процесса, разброса параметров нагрузочных режимов.

Среднее значение накопленного повреждения при большом числе опытов и чередовании режимов в ходе эксплуатации стремится к единице, а среднее квадратичное отклонение является многопараметрической функцией материала деталей, технологии изготовления и условий эксплуатации.

Если усталостные свойства материала и разброс параметров условий эксплуатации конструкции являются естественными причинами, вызывающими разброс значений накопленного повреждения, то методы схематизации, вносящие существенную долю в эти отклонения, служат искусственным приемом приведения реального процесса к возможности сопоставления с предельным по усталости состоянием, должны быть по возможности устранены.

Условно существуют две группы гипотез накопления повреждений: основанные на изменении или математическом описании работы пластических деформаций, основанные на учете термодинамических свойств материала и полагающие наличие аналогии между процессами разрушения и плавления. Анализ этих гипотез показывает, что в настоящее время не найден универсальный энергетический критерий, позволяющий достаточно полно описать процесс циклического нагружения. Совпадение экспериментальных и расчетных долговечностей достигается путем введения экспериментально определяемых коэффициентов.

В процессе эксплуатации газопроводов металл труб, находясь под воздействием постоянных и циклических нагрузок, подвергается естественному и

деформационному старению. В структуре металла происходит накопление повреждений, что приводит к изменению физико-механических характеристик металла, в конечном итоге к разрушению [3].

В течение ряда лет выполнялись комплексные экспериментальные исследования на трубах с различным сроком эксплуатации в целях определения изменения их физико-механических свойств и остаточного ресурса. Исследования проводились как на отечественных, так и на импортных трубах, изготовленных из сталей различных марок и имеющих разные прочностные характеристики. Диаметр испытываемых труб — от 325 до 1420 мм. Трубы для проведения экспериментов отбирались как из аварийного запаса, так и с трасс различных МГ.

В процессе эксплуатации газопроводов происходит изменение физико-механических свойств стали рабочей трубы по сравнению с трубой, отобранной из аварийного запаса, в обоих направлениях.

В продольном направлении в процессе эксплуатации при практически неизменном пределе текучести происходит уменьшение истинного напряжения разрушения, предельной пластической деформации и удельной работы пластического разрушения  $W_{\sigma}$ .

Изменение механических свойств металла в процессе эксплуатации в направлении, перпендикулярном оси трубы, происходит аналогичным образом (за исключением равномерной пластической деформации), но выражено сильнее. Уменьшение таких характеристик, как предельная пластическая деформация и удельная работа пластического разрушения, в направлении, перпендикулярном оси трубы, в 3 раза превышает изменение соответствующих характеристик в продольном направлении. Таким образом, направление, по которому происходит наибольшее изменение механических свойств металла стенки трубы, совпадает с направлением максимальных растягивающих напряжений от действия эксплуатационного давления.

Имеющаяся в исходном металле значительная анизотропия механических свойств, обусловленная технологией изготовления труб, сохраняется и после 20 лет эксплуатации газопроводов. Причем для таких показателей, как предельная пластическая деформация разрушений, истинное напряжение разрушения и удельная работа пластического разрушения, исходная анизотропия усиливается за счет более интенсивного уменьшения этих показателей в период эксплуатации в направлении, перпендикулярном оси трубы.

При расчетах прочности отечественных трубопроводов закладывается практически двойной запас прочности. Важно привести данные, отмеченные в [4], где показано, что в России условия нагруженности трубопроводов в зависимости от предела текучести металла в 1,5–2 раза ниже, чем в западных странах. Тем не менее там трубопроводы эксплуатируются до 100 лет и более.

Анализ причин разрушения газопроводных труб в различных регионах России [5] позволил выявить наиболее опасные дефекты, влияющие на разрушение газопроводов. Значительная доля аварий связана с наружной коррозией металла труб, при этом существенная часть отказов обусловлена образованием коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) металла труб.

К настоящему времени суммарная протяженность участков газопроводов с выявленными (по данным внутритрубной диагностики (ВТД) и в процессе ремонта) стресс-коррозионными дефектами составляет около 67 тыс. км с числом дефектов около 80 тыс. Внутритрубная диагностика позволяет выявить стресс-коррозионные дефекты только с глубиной от 15 %. Так, во многих случаях при информации об отсутствии таких дефектов (по данным ВТД) на участках в процессе ремонта выявлено до нескольких десятков тысяч дефектов. Это стало возможным благодаря внедрению в практику отбраковки высокоэффективных наружных сканеров-дефектоскопов, которые позволяют обнаружить дефекты глубиной от 0,5 мм при длине от 40 мм. Как показал анализ, расхождение между данными ВТД и числом выявленных стресс-коррозионных дефектов в процессе ремонта на различных участках МГ составляет от 30 до 100 раз и более. С учетом вышеизложенного число стресс-коррозионных дефектов на действующих газопроводах может составлять примерно 30 тыс. Практически все дефекты такого рода приводят к вырезке труб из газопроводов.

В отличие от коррозионного процесс развития стресс-коррозионных дефектов во многом еще не изучен, скорость роста дефектов непредсказуема. Но очевидно одно — трещины значительно опасней других типов дефектов.

В большинстве случаев проявление стресс-коррозионных процессов отмечено в газотранспортных организациях (ООО «Газпром трансгаз Югорск», ООО «Газпром трансгаз Ухта», ООО «Газпром трансгаз Чайковский» и др.).

В настоящее время при строительстве МГ в основном используют трубы диаметром 1020–1420 мм, рассчитанные на давление 5–10 МПа.

Разрушению по причине КРН подвергались трубы диаметром 1020 мм: как прямошовные (ПШ), так и спирально-шовные (СШ) (см. таблицу).

Строительство МГ диаметром 1220 мм началось в самом конце 1960-х — начале 1970-х годов. При строительстве в основном использовались трубы отечественных заводов [6].

Наибольшее число аварий МГ диаметром 1220 мм связано с КРН металла труб (53 %). Разрушения происходили как в северных, так и в южных областях России. Толщина стенок труб составляла от 10,5 до 15,4 мм. Разрушению подвержены трубы как отечественных заводов-производителей, так и

Толщина стенки, мм	Конструкция трубы	ТУ	Сталь (категория прочности)	Страна-производитель
9,0	СШ	ТУ 14-3-311-74	17Г2СФ	Россия
9,0	СШ	ТУ 14-3-721-78	17Г1С	Нет данных
9,0	ПШ	ТУ 40/48-73	Нет данных	Франция
10,0	ПШ	ТУ 14-3-109-73	16Г2САФ	Россия
10,0	ПШ	ТУ 40/48-73	Нет данных	Франция
12,9	ПШ	ТУ 20-28-40-48-56-79	X70	Япония
12,9	ПШ	ТУ 20-28-40-48-79 Fr	Нет данных	Франция
16,0	ПШ	ТУ 20-28-40-48-79 Fr	Нет данных	Франция

зарубежной поставки, изготовленные по различным технологиям.

С учетом того, что у труб после 25–35 лет эксплуатации из-за дефектов снижаются ресурсные возможности, решение о дальнейшем использовании труб должно приниматься с учетом таких факторов, как условия работы, предполагаемая длительность эксплуатации, требования по надежности и т.д. В плане износа и снижения ресурса труб существенное значение имеют регион и коридор, в которых эксплуатировались трубы. Так, в южном регионе практически на всех газопроводах суточное колебание уровня давления находится в пределах от 1 до 3 %, что не оказывает влияния на снижение ресурсных характеристик труб. В то же время в северных регионах это колебание составляет от 4 до 10 %, что приводит к незначительному снижению параметров трещиностойкости в первые 10 лет эксплуатации газопроводов и к существенному изменению после 20 лет эксплуатации. Но, к сожалению, в современных условиях технико-экономические соображения уходят на второй план.

#### Аспекты эффективности ремонтных работ на магистральных газопроводах

Наиболее эффективным средством для обеспечения надежной безаварийной работы газопроводов является капитальный ремонт (КР) дефектных участков, определяемых на базе диагностических обследований [7] и анализа параметров технического состояния объектов. Достаточно напомнить, что по сравнению со второй половиной 1990-х и началом 2000-х годов после масштабного КР аварийность снизилась в 5–6 раз.

Для поддержания установленного технического состояния газопроводов в ПАО «Газпром» разрабатываются и реализуются программы КР МГ: Программа по ремонту изоляционных покрытий магистральных газопроводов ОАО «Газпром» на 2004–2010 годы [8], Программа комплексного капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов ОАО «Газпром» на 2011–2015 годы [9] и далее до 2031 г.

Основные методы КР МГ: ремонт газопровода методом сплошной переизоляции в трассовых условиях, замена участка газопровода на участок из новых

труб с демонтажем старого или выборочный ремонт локальных участков.

При ремонте газопроводов методом сплошной переизоляции в трассовых условиях трубы, не подлежащие ремонту по результатам обследования, отбраковываются и заменяются новыми. По фактическим данным (по результатам КР МГ 2004–2010 гг.), средневзвешенный процент заменяемых труб на новые (суммарно по всем диаметрам) в целом по ПАО «Газпром» составил 23,12. В последующие годы

темп ремонтных работ был резко снижен (рис. 3), в настоящее время средневзвешенный годовой объем работ составляет около 750–800 км, при этом в отрасли без обоснования практически перешли на вариант с полной заменой труб.



▲ Рис. 3. Объем КР в ПАО «Газпром»  
▲ Fig. 3. The volume of PAO Gazprom overhauls

При замене изоляционных покрытий в трассовых условиях применяют битумно-мастичные покрытия горячего и холодного нанесения. Работы ведутся на участке газопровода, когда объект обработки (труба) сохраняет пространственное положение, а обрабатываемый инструмент перемещается относительно обрабатываемой поверхности. Срок безопасной эксплуатации отремонтированных участков газопроводов методом сплошной переизоляции по заявленным характеристикам антикоррозионного покрытия должны составлять 20–22 года.

Возросшая протяженность длительное время эксплуатирующихся газопроводов при их одновременном старении неизбежно приведет к снижению производительности системы газоснабжения и повышению вероятности возникновения аварийных ситуаций, что потребует одновременного вывода значительного числа участков ЛЧ МГ в комплексный КР [1, 10].

Прогноз изменения технического состояния ЛЧ МГ и анализ динамики ввода МГ в эксплуатацию в сочетании со статистикой аварийности на МГ в зависимости от сроков их эксплуатации указывают на необходимость проведения более масштабных и качественных ремонтных работ.

Задача увеличения объемов и повышения качества ремонтных работ может быть решена за счет разработки более эффективных методов и технологий КР МГ с использованием труб, бывших в эксплуатации и подготовленных к дальнейшей работе в заводских условиях. Использование труб повторного применения позволит увеличить срок безопасной эксплуатации прошедших КР участков МГ, значительно снизить затраты и повысить качество ремонтных работ [11].

Возвращаясь к вопросу снижения объемов КР газопроводов, следует отметить, что если выстраивать систему поддержания работоспособности по техническому состоянию объекта, то, основываясь на данных ВТД [12], действительно можно оправданно снизить объемы ремонта, но это потребует пересмотра ряда нормативных документов. Исходя из того, что обоснованным уровнем безопасной эксплуатации труб с дефектами вне зависимости от их типа является наличие дефектов с глубиной, не превышающей 20 % толщины стенки, можно точно работать на участках с дефектами, превышающими указанную глубину. При этом нельзя забывать о динамике роста дефектов и о том, что локальный ремонт всегда дороже и не всегда при этом имеется возможность полной механизации работ.

Если проводить параллель с нефтепроводами, то, с одной стороны, нефтяники имеют преимущество в добротности диагностики труб с использованием классических ультразвуковых приборов, устранение дефектов возможно в качестве превентивного подхода на начальной стадии их развития, с другой — с учетом загрязнения внутренней поверхности труб их повторное применение усложняется из-за необходимости удаления парафинистых отложений и промывки полости. Создание и эксплуатация на газопроводах приборов, использующих электромагнитно-акустические технологии, в некоторой степени позволяют рассчитывать на повышение качества диагностических работ в ближайшей перспективе.

### Заключение

Поддержание работоспособности газопроводов на высоком уровне может быть обеспечено за счет существенного увеличения объемов капитального ремонта на основе всестороннего анализа технического состояния участков.

### Список литературы

1. Велиюлин И.И., Городниченко В.И. Анализ статистических данных критических размеров дефектов труб, ставших причинами разрушения газопроводов// Территория Нефтегаз. — 2020. — № 3–4. — С. 80–85.
2. Зорин А.Е. Причины возникновения трещиноподобных дефектов на газопроводах// Газовая промышленность. — 2012. — № 5. — С. 54–57.
3. Зорин А.Е. Об особенностях накопления поврежденности металлом газопроводов в процессе эксплуатации// Нефть, газ и бизнес. — 2012. — № 8. — С. 69–71.

4. Васильев Г.Г., Леонович И.А. Ретроспективный анализ методологии прочностных расчетов магистральных трубопроводов// Газовая промышленность. — 2019. — № 7. — С. 78–86.

5. Анализ причин разрушения газопроводных труб большого диаметра в различных регионах России/ И.И. Велиюлин, С.А. Лубенский, Э.И. Велиюлин, А.Д. Решетников. — М.: МАКС Пресс, 2012. — 232 с.

6. Структурирование процессов подготовки строительного производства при капитальном ремонте газопроводов/ А.С. Левачев, С.П. Шаронов, М.Ю. Митрохин, П.В. Крылов// Газовая промышленность. — 2008. — № 3. — С. 40–42.

7. Будзуляк Б.В., Лопатин А.С., Ляпичев Д.М. Техническое диагностирование оборудования и трубопроводов объектов нефтегазового комплекса с применением инновационных технологий// Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. — 2019. — № 11 (556). — С. 21–26.

8. Аксютин О.Е. О мерах по повышению надежности функционирования газотранспортной системы ОАО «Газпром». URL: <https://www.neftegas.info/upload/iblock/64e/64ed1af14d077b23740f7d5f725d9fe2.pdf> (дата обращения: 24.08.2021).

9. Правление утвердило программы реконструкции и капитального ремонта объектов газотранспортной системы ОАО «Газпром» на 2011–2015 годы. URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/2011/april/article110788/> (дата обращения: 24.08.2021).

10. ASME B31G-2012. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. URL: <https://www.asme.org/getmedia/7336b61b-5762-47ca-bdcb-8a4e0de6f162/33501.pdf> (дата обращения: 24.08.2021).

11. К вопросу о целесообразности повторного применения труб с длительными сроками эксплуатации/ И.И. Велиюлин, В.И. Городниченко, В.А. Александров, В.А. Войтенко// Территория Нефтегаз. — 2020. — № 7–8. — С. 118–124.

12. Алимов С.В., Митрохин М.Ю., Харионовский В.В. Система диагностического обслуживания магистральных газопроводов ОАО «Газпром»: состояние и перспективы// Территория Нефтегаз. — 2009. — № 9. — С. 42–49.

aleksandrov@eksikom.ru

Материал поступил в редакцию 26 января 2022 г.

Доработанная версия — 26 марта 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 29–34.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-29-34

### On the Issue of Improving Reliability of the Main Gas Pipelines

E.I. Veliyulin, General Director

LLC «Group of companies «Vertical economic strategy», Moscow, Russia

I.I. Veliyulin, Dr. Sci. (Eng.), Chief Engineer — First Deputy General Director

M.Yu. Mitrokhin, Dr. Sci. (Eng.), Deputy General Director

V.A. Aleksandrov, Deputy General Director,  
aleksandrov@eksikom.ru

LLC «EXICOM» («Expert Engineering Company»), Moscow,  
Russia

#### Abstract

According to the statistics, until the mid-90s, the share of failures on the linear part of the main gas pipelines due to corrosion accounted for 55–70 %. The next period is characterized by the prevalence of failures caused by the stress corrosion, the level of which was 40–50 %. The failure rate attributable to the welded joints was about 11–12 %.

In this regard, for the purpose of maintaining the established level of the gas pipelines technical condition, PAO Gazprom develops and implements the programs for the main gas pipelines overhauls for the periods until 2031. The program can be solved by developing new, more efficient methods and technologies for the overhauls using pipes that were in operation and prepared for further work in the plant conditions. A significant proportion of accidents are associated with the pipe metal external corrosion, while a significant part of failures is caused by the formation of corrosion cracking under stress of the pipe metal. The most efficient means of ensuring reliable trouble-free operation of the gas pipelines is the overhaul of defective sections determined based on diagnostic surveys and analysis of the parameters of the objects technical condition. The decision on the possibility of further use of the pipes should be made considering such factors as working conditions, expected duration of operation, reliability requirements, etc. From the point of view of wear and reduction of the pipes service life, the region, and the conditions in which the pipes were operated are of great importance. Maintaining the operability of gas pipelines at a high level can be ensured by significantly increasing the volume of capital repairs based on the in-depth analysis of the sections technical condition.

**Key words:** main gas pipelines, reliability, pipe corrosion, stress-corrosion defects, continuous re-insulation, pipe replacement, overhaul.

#### References

1. Veliyulin I.I., Gorodnichenko V.I. The Analysis of Statistical Data on the Critical Sizes of Pipes Defects, Which Causes the Destruction of Gas Pipelines. *Territorija Neftegaz = Oil and Gas Territory*. 2020. № 3–4. pp. 80–85. (In Russ).
2. Zorin A.E. Crack-Like Defects Causes on Gas Pipelines. *Gazovaya promyshlennost = Gas Industry*. 2012. № 5. pp. 54–57. (In Russ).

3. Zorin A.E. About features of metal fault accumulation in use of gas pipelines. *Neft, gaz i biznes = Oil, gas, and business*. 2012. № 8. pp. 69–71. (In Russ).

4. Vasilev G.G., Leonovich I.A. Retrospective analysis of strength calculation methodology for trunk pipelines. *Gazovaya promyshlennost = Gas Industry*. 2019. № 7. pp. 78–86. (In Russ).

5. Veliyulin I.I., Lubenskiy S.A., Veliyulin E.I., Reshetnikov A.D. Analysis of the causes of the destruction of large-diameter gas pipelines in various regions of Russia. Moscow: MAKS Press, 2012. 232 p. (In Russ).

6. Levachev A.S., Sharonov S.P., Mitrokhin M.Yu., Krylov P.V. Structuring the processes of preparing construction production during the overhaul of the gas pipelines. *Gazovaya promyshlennost = Gas Industry*. 2008. № 3. pp. 40–42. (In Russ).

7. Budzulyak B.V., Lopatin A.S., Lyapichev D.M. Technical diagnostics of the equipment and pipelines of oil and gas facilities using innovative technologies. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz v neftyanoy promyshlennosti = Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry*. 2019. № 11 (556). pp. 21–26. (In Russ).

8. Aksyutin O.E. About the measures on improving the reliability of the operation of OAO Gazprom gas transmission system. Available at: <https://www.neftgas.info/upload/iblock/64e/64ed1af14d077b23740f7d5f725d9fe2.pdf> (accessed: August 24, 2021). (In Russ).

9. Management Committee approved the programs for the reconstruction and overhaul of OAO Gazprom gas transmission system facilities for 2011–2015. Available at: <https://www.asme.org/getmedia/7336b61b-5762-47ca-bdcb-8a4e0de6f162/33501.pdf> (accessed: August 24, 2021). (In Russ).

10. ASME B31G-2012. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. Available at: <https://www.asme.org/getmedia/7336b61b-5762-47ca-bdcb-8a4e0de6f162/33501.pdf> (accessed: August 24, 2021).

11. Veliyulin I.I., Gorodnichenko V.I., Aleksandrov V.A., Voytenko V.A. On the Question of the Feasibility of Reusing Pipes with Long Service Lives. *Territorija Neftegaz = Oil and Gas Territory*. 2020. № 7–8. pp. 118–124. (In Russ).

12. Alimov S.V., Mitrokhin M.Yu., Kharionovskiy V.V. The system of diagnostic maintenance of OAO Gazprom main gas pipelines: state and prospects. *Territorija Neftegaz = Oil and Gas Territory*. 2009. № 9. pp. 42–49. (In Russ).

Received January 26, 2022  
In Final form — March 26, 2022



DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-35-41

УДК 331.46

© О.А. Локтионов, О.Е. Кондратьева, 2022

# Определение характеристик наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов с точки зрения летального исхода



**О.А. Локтионов,**  
канд. техн. наук, доцент,  
LoktionovOA@mpei.ru



**О.Е. Кондратьева,**  
д-р техн. наук,  
зав. кафедрой

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва, Россия

Определены характеристики наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов, пострадавших в несчастных случаях с летальным исходом. Сформированы кластерные группы с характеристиками для профессий, охватывающих 80 % несчастных случаев с летальным исходом в электроэнергетике. Предложен методологический подход, который можно использовать в любой отрасли, где работник подвергается воздействию вредных и опасных производственных факторов, для определения возраста, стажа, периодичности проверки знаний по охране труда, класса условий труда пострадавших в несчастных случаях с различными типами исхода для разработки адресных мер по снижению числа случаев травмирования.

**Ключевые слова:** безопасность труда, производственный травматизм, травмоопасные профессии, летальный исход, электроэнергетика, психофизиологические причины, организационные причины.

**Для цитирования:** Локтионов О.А., Кондратьева О.Е. Определение характеристик наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов с точки зрения летального исхода // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 35–41. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-35-41

## Введение

Сокращение числа несчастных случаев (НС) и определение механизмов перехода предприятий на концепцию нулевого травматизма — задачи, поставленные перед бизнесом и государством в 2018 г. после подписания Минтрудом России и Международной ассоциацией социального обеспечения меморандума о сотрудничестве в области продвижения концепции нулевого травматизма (Vision Zero).

В настоящее время показатель смертельного травматизма на промышленных объектах России практически соответствует европейскому уровню и демонстрирует тенденцию к постоянному снижению, темп которого в последние годы замедлился [1]. Сложившаяся ситуация объясняется тем, что традиционные подходы к уменьшению числа НС фактически исчерпали свои резервы, поэтому необходима разработка принципиально новых превентивных мероприятий по сокращению травматизма [2].

В электросетевом комплексе и на генерирующих предприятиях традиционно фиксируются высокие показатели смертельного травматизма [3, 4], влекущие социальные и материальные потери как для организации, так и для государства в целом. Необходимо отметить, что вклад технических причин в общую структуру травматизма в энерге-

тике постоянно уменьшается в связи с развитием технологий и совершенствованием средств индивидуальной и коллективной защиты работников. Наиболее перспективны с точки зрения улучшения ситуации мероприятия, направленные на снижение влияния организационных и психофизиологических причин [3, 5]. Идентификация коренных причин возникновения НС и формирование модели прогнозирования показателей смертельного травматизма — ключевые этапы, необходимые для разработки и внедрения предупредительных и адаптационных мер по снижению риска травмирования работников [6].

На протяжении многих десятилетий в России [1, 2, 6, 7] и за рубежом [3–5, 8] проводятся исследования, направленные на совершенствование системы учета, анализа и предупреждения НС. В настоящее время эта сложная и мультипликативная задача остается актуальной.

Традиционно принято выделять четыре основные группы причин производственного травматизма: технические, организационные, санитарно-гигиенические и психофизиологические [2]. Каждую из них можно описать показателями, однозначно связанными с производственным травматизмом и способными выступать в том числе и характеристикой

пострадавшего работника. В последние годы НС чаще всего вызваны комплексом причин, связанных прежде всего с человеческим фактором — индивидуальными особенностями работника и тех людей, которые отвечают за его безопасность. Это значительно осложняет разработку мероприятий, направленных на дальнейшее снижение уровня производственного травматизма.

Цель исследования — определение характеристик наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов, пострадавших при НС с летальным исходом.

### Формирование перечня характеристик работников наиболее травмоопасных профессий

Анализ причин НС, разработка соответствующих механизмов профилактики и предупреждения производственного травматизма — неотъемлемая часть Концепции демографической политики Российской Федерации<sup>1</sup>. Госпрограмма «Безопасный труд» на 2018–2025 гг. в свою очередь направлена на обеспечение приоритета предупреждения производственного травматизма и регламентирует повышение заинтересованности работодателей и работников в обеспечении безопасности труда и сохранении здоровья. Процедура формирования превентивных мер и адаптационных мероприятий по минимизации числа НС, в том числе с летальным исходом, в основном направлена на работников, находящихся в группах повышенного риска производственного травматизма. В зависимости от вида производственной деятельности, отрасли производства и внутреннего законодательства страны отечественные [6, 7, 9–12] и зарубежные [3, 5, 8, 13–15] исследования в области безопасности труда выделяют различные характеристики, используемые для отнесения к группам с повышенным риском производственного травматизма.

Наиболее распространенные характеристики представлены в табл. 1. В соответствии с ней установлено, что, несмотря на различия между нормативно-правовыми базами стран Евросоюза, Соединенных Штатов Америки и России в областях промышленной безопасности и обеспечения безопасного труда на производстве, исследователи рассматривают схожие характеристики, описывающие в основном организационные и психофизиологические особенности работников, подверженных повышенному риску травматизма. Следует отметить такую

особенность, как отсутствие комплексного учета нескольких характеристик в разрезе укрупненных групп, что свидетельствует о нерепрезентативности формируемых паттернов пострадавших в НС.

В представленном исследовании выделен перечень предпочтительных характеристик с совместным межгрупповым учетом на основании характеристик, наиболее часто используемых в отечественных и зарубежных исследованиях и позволяющих наилучшим образом сформировать представление о работниках, подверженных повышенному риску производственного травматизма (профессия, возраст, стаж, срок после проверки знаний по охране труда, класс условий труда).

Для определения перечня наиболее травмоопасных профессий работников электроэнергетической отрасли проведен анализ 697 НС со смертельным исходом, в том числе 27 групповых, происшедших на подведомственных Ростехнадзору энергоустановках в 2011–2020 гг. За указанный период зафиксирована гибель 714 человек (рис. 1).

Анализ данных, приведенных в актах расследования НС по категориям персонала, регламентируемым Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок<sup>1</sup> и Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей<sup>2</sup>, свидетельствует, что электротехнический персонал (90,6 %) гибнет более чем в 9 раз чаще, чем неэлектротехнический (9,4 %) (рис. 2, а, здесь 1–4 — персонал соответственно ремонтный (54,7 %), оперативно-ремонтный (27,1 %), неэлектротехнический (9,4 %), административно-технический (8,8 %)). При изучении

Таблица 1

Причины (укрупненная группа)	Характеристики работников	Исследования, проведенные в данном направлении	
		Отечественные	Зарубежные
Организационные	Профессия, число нарушений, срок после проверки знаний, наличие средств индивидуальной защиты	[6, 9, 10]	[8, 14, 15]
Персональные	Возраст, стаж, психофизиологические особенности	[6, 7, 9–11]	[3, 5, 13–15]
Санитарно-гигиенические	Класс условий труда и (или) состояние рабочего места в рамках производственного контроля	[6, 11, 12]	[8]
Технические	Используемое оборудование	[9]	[13]

<sup>1</sup> Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок: приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 дек. 2020 г. № 903н. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264184> (дата обращения: 22.03.2022).

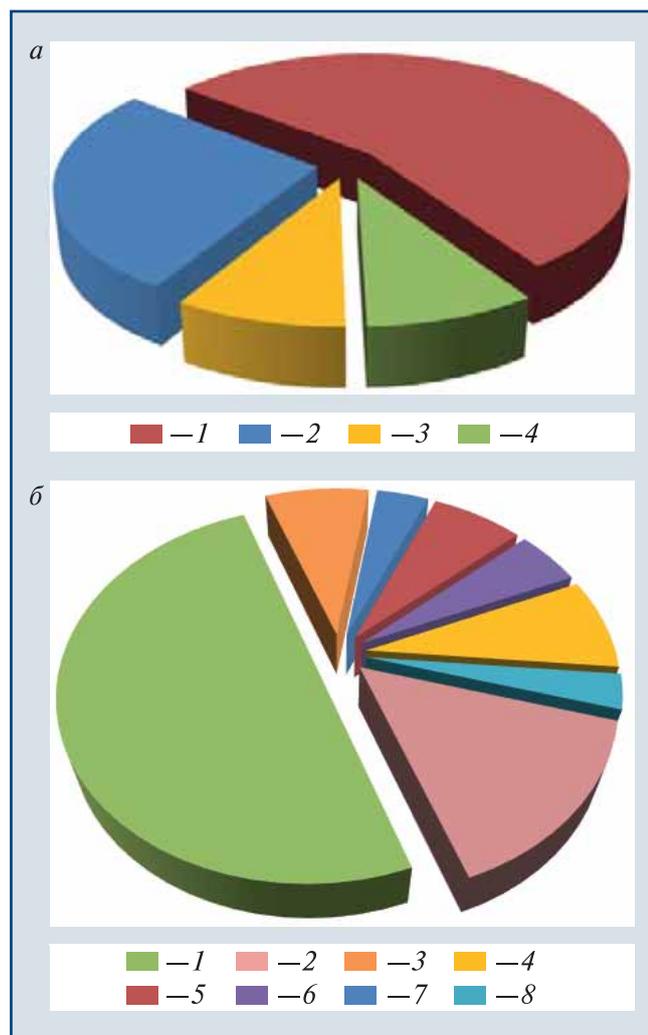
<sup>2</sup> Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (с изменениями и дополнениями): приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 13 янв. 2003 г. № 6. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901839683> (дата обращения: 22.03.2022).

<sup>1</sup> Об утверждении Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Рос. Федерации от 9 окт. 2007 г. № 1351. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902064587> (дата обращения: 22.03.2022).



▲ Рис. 1. Число пострадавших при НС со смертельным исходом за 2011–2020 гг. на объектах электроэнергетической отрасли, подведомственных Ростехнадзору

▲ Fig. 1. Number of victims in the fatal injuries for the period 2011–2020 at the facilities of the electric power industry subordinated to Rostekhnadzor



▲ Рис. 2. Распределение числа пострадавших при НС за 2011–2020 гг.:

*a* — по категории персонала; *б* — по профессиям

▲ Fig. 2. Distribution of the number of injured victims for the period 2011–2020:

*a* — by the category of personnel; *б* — by profession

числа пострадавших наиболее показательное распределение по профессиям, приведенное на рис. 2, б (здесь 1 — электромонтер (50,4 %); 2 — электрослесарь (14,7 %); 3 — электромонтажник (8,3 %); 4 — мастер (7,9 %); 5 — представитель прочих профессий (6,9 %); 6 — начальник подразделения (4,9 %); 7 — специалист (рабочий) (4,2 %); 8 — водитель (2,8 %).

Наиболее часто при НС с летальным исходом за период 2011–2020 гг. пострадавшими выступали электромонтеры (50,4 %). Столь высокий процент обусловлен должностными обязанностями, которые подразумевают обслуживание и ремонт линий электропередачи, а также выполнение операций на электроустановках открытого типа. В результате возникают повышенные риски, связанные с пора-

жением электрическим током среднего и высокого класса напряжения, а также с проведением работ на высоте. Помимо электромонтеров, высокая доля летальных исходов свойственна электрослесарям (14,7 %), электромонтажникам (8,3 %) и мастерам (7,9 %). Четыре указанные профессии охватывают более 80 % случаев смертельного травматизма среди всех рассматриваемых НС и выбраны в качестве основных наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов.

#### Методологический подход к определению характеристик наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов

Характеристики наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов определены с помощью многофакторного кластерного анализа для рассматриваемых исходных данных. К ним относятся возраст, стаж, срок после проверки знаний по охране труда, класс условий труда с агрегацией по профессиям (электромонтер, электрослесарь, мастер, электромонтажник).

В настоящее время общепринятая классификация для кластерного анализа не установлена. Тем не менее существует ряд наиболее распространенных подходов к обработке числовых данных, зарекомендовавших себя на протяжении десятков лет исследований: иерархические методы и метод *k*-средних с модификациями.

Иерархическая кластеризация заключается в упорядочивании данных с помощью агломеративного или дивизионного алгоритмов и построении дендрограммы. Наиболее предпочтительным способом определения расстояний между кластерами в рамках проведения иерархического кластерного анализа исходных данных, необходимых для формирования

характерных групп пострадавших в рамках выборки, выступает метод Уорда, наилучшим образом формирующий кластеры с типичными значениями, он может быть использован для задач, поставленных в данной работе. Цель метода  $k$ -средних при кластерном анализе — разделение объектов на  $k$  кластеров, при этом каждое наблюдение относится к тому кластеру, центроид которого ближе всего. Рассматриваемый подход, в качестве меры сходства использующий Евклидово расстояние, признан наиболее предпочтительным для формирования характерных групп пострадавших в разрезе выбранных профессий, так как обладает более быстрым алгоритмом с понятными этапами реализации и наглядным представлением результатов.

Выбор наилучшего числа кластеров относится к задаче оптимизации, при которой минимизируется среднее внутрикластерное расстояние и максимизируется среднее межкластерное. В рамках исследования выявлены основные пути определения наилучшего числа кластеров: метод локтя, метод силуэта и метод разрыва (англ. gap analysis).

Таким образом, для более объективного и точного определения характеристик при формировании групп пострадавших в электроэнергетической отрасли использованы:

агломеративная иерархическая кластеризация с применением метода определения расстояний Уорда и меры сходства между объектами, определенной с помощью Евклидова расстояния;

кластеризация по усовершенствованному методу  $k$ -средних с мерой сходства между объектами, определенной с помощью Евклидова расстояния.

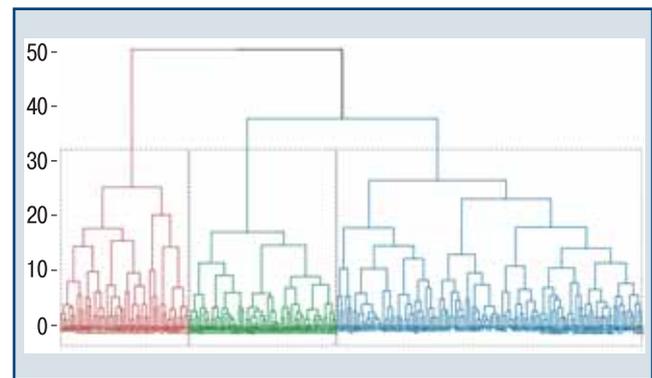
**Результаты и обсуждение**

Апробация разработанного методологического подхода с использованием интерпретируемого языка программирования R проведена для пострадавших в НС с летальным исходом на промышленных энергетических объектах за период 2011–2020 гг. Информация о НС получена из открытых источников Минэнерго России и Ростехнадзора.

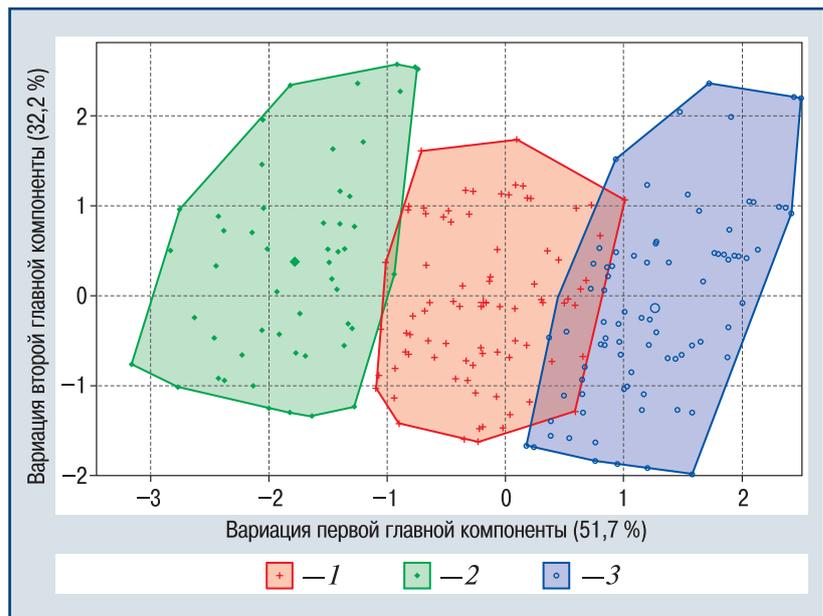
При поиске оптимального числа кластеров методами локтя, силуэта и разрыва установлено, что исходные данные наилучшим образом описываются тремя кластерами для электромонтера, тремя кластерами для электрослесаря, двумя кластерами для мастера и двумя кластерами для электромонтажника.

Двумя способами проведена кластеризация следующих характеристик: возраст, стаж, срок после проверки знаний по охране труда, класс условий труда в рамках наиболее травмоопасных

профессий. На рис. 3 представлен результат агломеративной иерархической кластеризации с использованием метода определения расстояний Уорда и меры сходства между объектами, определенной с помощью Евклидова расстояния, в виде плоских дендрограмм для профессии электромонтера. Цветами выделены кластеры, которые соответствуют пострадавшим работникам с наиболее характерными паттернами. На рис. 4 (здесь 1–3 — кластеры соответственно № 1–3) показаны итоги кластеризации по усовершенствованному методу  $k$ -средних с мерой сходства между объектами, определенной с помощью Евклидова расстояния, для профессии электромонтера, занятого на предприятиях электроэнергетической отрасли.



▲ Рис. 3. Пример дендрограммы агломеративной иерархической кластеризации пострадавших по методу определения расстояний Уорда для электромонтера  
▲ Fig. 3. Example of the dendrogram of agglomerative hierarchical clustering of victims by the method of determining Ward distances for an electrician



▲ Рис. 4. Пример кластеризации пострадавших по усовершенствованному методу  $k$ -средних с мерой сходства между объектами, определенной с помощью Евклидова расстояния, для электромонтера  
▲ Fig. 4. Example of the victim clustering using the improved  $k$ -means method with a measure of similarity between the objects determined using the Euclidean distance for an electrician

Полученные результаты четко коррелируют со сделанными ранее выводами по оптимальному числу кластеров, так как визуальное распределение паттернов групп пострадавших не является слишком избыточным или, наоборот, недостаточно детализированным для всех профессий.

По результатам кластеризации в рамках каждой из рассматриваемых профессий сформированы характерные группы пострадавших при НС с летальным исходом за период 2011–2020 гг. В табл. 2 приведены интервалы для возраста, стажа, срока после проверки знаний по охране труда и класса условий труда, полученные с помощью определения моды, медианы, а также первого и третьего квартилей (диапазоны значений характеристик для наиболее травмоопасных профессий работников промышленных энергетических объектов за период 2011–2020 гг. по кластерам). Если каждая из характеристик, свойственных работнику, попадает в обозначенные диапазоны рассматриваемых кластерных групп, то данный работник относится к группе с наиболее высоким риском травматизма с летальным исходом.

да 2, 3.1 и 3.2; возраст 41–50 лет, стаж более 10 лет, проверка знаний по охране труда более 10 мес назад, рабочие места с классами условий труда 2 и 3.1; возраст 51 год и более, стаж до 5 лет, проверка знаний по охране труда менее 3 мес назад, рабочие места с классами условий труда 2 и 3.1;

для профессии мастера: возраст до 40 лет, стаж до 2 лет, проверка знаний по охране труда более 10 мес назад, рабочие места с классом условий труда 2; возраст 41 год и более, стаж более 7 лет, проверка знаний по охране труда более 6 мес назад, рабочие места с классами условий труда 2 и 3.1;

для профессии электромонтажника: возраст до 35 лет, стаж до 2 лет, проверка знаний по охране труда менее 3 мес назад, рабочие места с классом условий труда 2; возраст 36 лет и более, стаж более 5 лет, проверка знаний по охране труда более 6 мес назад, рабочие места с классами условий труда 2 и 3.1.

Полученные результаты в дальнейшем можно использовать как исходные данные для построения риск-ориентированной модели предиктивной оценки смертельного травматизма работников промышлен-

Таблица 2

Показатель	Профессия									
	Электромонтер			Электрослесарь			Мастер		Электромонтажник	
№ кластера	К.1	К.2	К.3	К.1	К.2	К.3	К.1	К.2	К.1	К.2
Возраст, лет	Менее 34	35–45	46–65	Менее 40	41–50	51–65	Менее 40	41–65	Менее 35	36–65
Стаж, лет	Менее 4	5–10	Более 11	Менее 3	Более 10	Менее 5	Менее 2	Более 7	Менее 2	Более 5
Срок после проверки знаний по охране труда, мес	Менее 3 и 10–12	4–6	Менее 3 и 10–12	Менее 3	10–12	Менее 3	10–12	6–12	Менее 3	6–12
Класс условий труда	2; 3.1	2–3.2	2; 3.1	2–3.2	2; 3.1	2; 3.1	2	2; 3.1	2	2; 3.1

### Заключение

Предложен методологический подход к формированию с помощью кластерного анализа групп наиболее травмоопасных профессий работников, занятых на промышленных энергетических объектах и пострадавших в несчастных случаях с летальным исходом. Определены показатели возраста, стажа, срока после проверки знаний по охране труда, класса условий труда для сформированных кластерных групп:

для профессии электромонтера: возраст до 34 лет, стаж до 4 лет, проверка знаний по охране труда менее 3 мес и более 10 мес назад, рабочие места с классами условий труда 2 и 3.1; возраст 35–45 лет, стаж 5–10 лет, проверка знаний по охране труда 4–6 мес назад, рабочие места с классами условий труда 2, 3.1 и 3.2; возраст 46 лет и более, стаж более 11 лет, проверка знаний по охране труда менее 3 мес и более 10 мес назад, рабочие места с классами условий труда 2 и 3.1;

для профессии электрослесаря: возраст до 40 лет, стаж до 3 лет, проверка знаний по охране труда менее 3 мес назад, рабочие места с классами условий тру-

ленных энергетических объектов при определении вероятности попадания в группу с наиболее высоким риском летального исхода. Предложенный методологический подход применим в любой отрасли, где работник подвергается воздействию вредных и опасных производственных факторов, для определения возраста, стажа, срока после проверки знаний по охране труда, класса условий труда пострадавших в несчастных случаях с различными типами исхода для разработки адресных мер по сокращению числа случаев травмирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых в рамках научного проекта № МК-1816.2022.4 «Создание интерактивного прототипа экосистемы well-being на энергетических предприятиях».

### Список литературы

1. *Safety and labor protection: USA and Russian experience/* E.M. Bronnikova, O.S. Kulyamina, M.V. Vinogradova et al./

Journal of Environmental Treatment Techniques. — 2019. — Vol. 7. — Spec. Iss. — P. 1134–1140.

2. Локтионов О.А., Кондратьева О.Е. Совершенствование подходов к анализу травматизма на промышленных предприятиях// Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 11. — С. 76–81. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-11-76-81

3. Narine G. Human Factors in Electrical Power Industry Accident Prevention// International Journal of Engineering and Technical Research. — 2020. — Vol. 10. — Iss. 5. — P. 27–37. DOI: 10.31873/IJETR.10.5.89

4. Gammon T., Vigstol D., Campbell R. Workers at Risk of Fatal and Nonfatal Electrical Injuries// IEEE Transactions on Industry Applications. — 2019. — Vol. 55. — Iss. 6. — P. 6593–6602. DOI: 10.1109/TIA.2019.2936391

5. Examining organizational, cultural, and individual-level factors related to workplace safety and health: A systematic review and metric analysis/ E.W.J. Lee, H. Zheng, H.H. Aung et al.// Health Communication. — 2021. — Vol. 36. — Iss. 5. — P. 529–539. DOI: 10.1080/10410236.2020.1731913

6. Филиппова Н.С., Волохина А.Т., Глебова Е.В. Анализ влияния различных факторов на статистические показатели производственного травматизма на объектах ТЭК// Безопасность жизнедеятельности. — 2020. — № 4 (232). — С. 3–11.

7. Кондратьева О.Е., Кравченко М.В., Локтионов О.А. Разработка методики оценки риска ущерба здоровью работников электроэнергетической отрасли// Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 4. — С. 63–68. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-4-63-68

8. Leading and lagging indicators of occupational health and safety: The moderating role of safety leadership/ C. Sheehan, R. Donohue, T. Shea et al.// Accident; Analysis and Prevention. — 2016. — Vol. 92. — P. 130–138. DOI: 10.1016/j.aap.2016.03.018

9. Иванов В. Факторы риска: к вопросу экспертного прогнозирования производственного травматизма на рабочем месте. URL: <http://www.kiout.ru/info/publish/29098> (дата обращения: 18.03.2022).

10. Михина Т.В. Прогноз производственного травматизма на долгосрочный период (методологические подходы)// Охрана и экономика труда. — 2012. — № 4 (9). — С. 65–75.

11. Севастьянов Б.В., Шадрин Р.О. Прогнозирование числа пострадавших со смертельным исходом и показателей профессиональной заболеваемости в отрасли энергетики Удмуртской Республики// Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. — 2012. — № 1 (53). — С. 102–104.

12. Kondrateva O.E., Kravchenko M.V., Loktionov O.A. Algorithm development for assessing the risk of damage to the health of workers in the energy industry// Proceedings of the 2019 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — Moscow: IEEE, 2019. — P. 1–6. DOI: 10.1109/REEPE.2019.8708844

13. Manuele F.A. Incident investigation: our methods are flawed// Professional Safety. — 2014. — Vol. 59. — P. 34–43.

14. Process safety indicators, a review of literature/ P. Swuste, J. Theunissen, P. Schmitz et al.// Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2016. — Vol. 40. — P. 162–173. DOI: 10.1016/j.jlp.2015.12.020

15. Leading indicators of occupational health and safety: An employee and workplace level validation study/ T. Shea, H. De Cieri, R. Donohue et al.// Safety Science. — 2016. — Vol. 85. — P. 293–304. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.01.015

LoktionovOA@mpei.ru

Материал поступил в редакцию 24 марта 2022 г.

Доработанная версия — 21 апреля 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 35–41.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-35-41

Characteristics Determination for the Most Traumatic Professions of Industrial Power Facilities Employees in Terms of the Fatality

O.A. Loktionov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.,  
LoktionovOA@mpei.ru

O.E. Kondrateva, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia

#### Abstract

Electric power facilities traditionally demonstrate high rates of the fatal injuries. At the same time, the share of technical causes of injuries decreases annually. To reduce occupational injuries, the most promising measures are aimed at decreasing the influence of organizational and psychophysiological causes. Each of the potential causes of an injury can be described by the indicators that are uniquely associated with the work-related injuries and characterize the injured employee.

The purpose of the study is to determine the characteristics of the employees in the most traumatic professions in the electric power industry who suffered as the result of injuries with fatality. Methodological approach is proposed related to the determination of the characteristic parameters of employees of the operating and maintenance personnel in the electric power industry. It consists of several stages. The first is the formation of the most common parameters, assignment to the group with an increased risk of industrial injuries. The second is the definition of a list of the most traumatic professions in the electric power industry. The third is the introduction of a procedure for multivariate cluster analysis of the input statistical data. The fourth is the calculation of the parameters of employees of the most traumatic professions in the electric power industry with distribution by cluster groups. Cluster groups are formed for professions: electrician, electrical fitter, foreman and wireman, which account for 80 % of the fatal injuries in the electric power industry. The relevant characteristics of the employees are determined: age, length of service, period after testing knowledge on the occupational safety, class of the working conditions.

The proposed methodological approach can be used for any industry where the employee is exposed to the harmful and hazardous production factors. The methodology allows to develop and carry out measures for reducing the level of injuries.

**Key words:** occupational safety, occupational injuries, traumatic professions, fatality, electric power industry, psychophysiological causes, organizational reasons.

## References

1. Bronnikova E.M., Kulyamina O.S., Vinogradova M.V., Vishnjakova V.A., Vasilieva L.A., Volkov D.V., Larionova A.A. Safety and labor protection: USA and Russian experience. *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 2019. Vol. 7. Spec. Iss. pp. 1134–1140.
2. Loktionov O.A., Kondrateva O.E. Improving Approaches to the Analysis of Injury Rate at the Industrial Enterprises. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2020. № 11. pp. 76–81. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2020-11-76-81
3. Narine G. Human Factors in Electrical Power Industry Accident Prevention. *International Journal of Engineering and Technical Research*. 2020. Vol. 10. Iss. 5. pp. 27–37. DOI: 10.31873/IJETR.10.5.89
4. Gammon T., Vigstol D., Campbell R. Workers at Risk of Fatal and Nonfatal Electrical Injuries. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2019. Vol. 55. Iss. 6. pp. 6593–6602. DOI: 10.1109/TIA.2019.2936391
5. Lee E.W.J., Zheng H., Aung H.H., Seidmann V., Li C., Aroor M.R., Lwin M.O., Ho S.S., Theng Y.-L. Examining organizational, cultural, and individual-level factors related to workplace safety and health: A systematic review and metric analysis. *Health Communication*. 2021. Vol. 36. Iss. 5. pp. 529–539. DOI:10.1080/10410236.2020.1731913.
6. Filippova N.S., Volokhina A.T., Glebova E.V. Analysis of the influence of various factors on statistical indicators of industrial injuries at the fuel and energy facilities. *Bezopasnost zhiznedeyatelnosti = Life Safety*. 2020. № 4 (232). pp. 3–11. (In Russ.).
7. Kondrateva O.E., Kravchenko M.V., Loktionov O.A. Development of the Methods for Assessing the Risk of Damage to Health of the Employees of the Electric Power Industry. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2019. № 4. pp. 63–68. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2019-4-63-68
8. Sheehan C., Donohue R., Shea T., Cooper B., De Cieri H. Leading and lagging indicators of occupational health and safety: The moderating role of safety leadership. *Accident; Analysis and Prevention* 2016. Vol. 92. pp. 130–138. DOI: 10.1016/j.aap.2016.03.018
9. Ivanov V. Risk factors: to the issue of expert prediction of the occupational injuries at the workplace. Available at: <http://www.kiout.ru/info/publish/29098> (accessed: March 18, 2022). (In Russ.).
10. Mikhina T.V. Long-range forecasting of industrial injuries (Methodological approaches). *Okhrana i ekonomika truda = Occupational Safety and Economics*. 2012. № 4 (9). pp. 65–75. (In Russ.).
11. Sevastyanov B.V., Shadrin R.O. Forecasting the number of fatal victims and indicators of the occupational illness in the energy sector of the Udmurt Republic. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova = Bulletin of Kalashnikov ISTU*. 2012. № 1 (53). pp. 102–104. (In Russ.).
12. Kondrateva O.E., Kravchenko M.V., Loktionov O.A. Algorithm development for assessing the risk of damage to the health of workers in the energy industry. *Proceedings of the 2019 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*. Moscow: IEEE, 2019. pp. 1–6. DOI: 10.1109/REEPE.2019.8708844
13. Manuele F.A. Incident investigation: our methods are flawed. *Professional Safety*. 2014. Vol. 59. pp. 34–43.
14. Swuste P., Theunissen J., Schmitz P., Reniers G., Blokland P. Process safety indicators, a review of literature. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2016. Vol. 40. pp. 162–173. DOI: 10.1016/j.jlp.2015.12.020
15. Shea T., De Cieri H., Donohue R., Cooper B., Sheehan C. Leading indicators of occupational health and safety: An employee and workplace level validation study. *Safety Science*. 2016. Vol. 85. pp. 293–304. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.01.015

Received March 24, 2022  
In final form — April 21, 2022

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Пожарная и техногенная безопасность: проблемы и пути совершенствования (научный журнал)

**Потапенко В.Э., Кучер Т.В. Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции. — 2021. — № 2 (9).**

Рассмотрено поведение различных конструкций при воздействии пожара. Для различных материалов приведены изменения механических свойств под действием высоких температур, возникающие деформации, признаки аварийного состояния конструкций после пожара.

**Бородушко И.В. Возможности и ограничения при эконометрическом моделировании ситуации в области пожарной безопасности. — 2021. — № 3. — С. 60–63.**

Рассмотрены возможные причины получения недостоверных результатов эконометрического моделирования причинно-следственных связей в сфере обеспечения пожарной безопасности. Подчеркивается особая опасность принятия управленческих решений на основе не поддающихся обнаружению искаженных результатов корреляционного анализа.

**Бруслиновская А.И. Превентивное страхование от пожаров в системе экономической безопасности. — 2021. — № 3. — С. 64–68.**

Рассматривается противопожарное страхование хозяйствующих субъектов. Обосновывается необходимость дополнительного качественного анализа роли пожара в системе критериев экономической безопасности хозяйствующих субъектов. Обобщаются способы страхования от пожара в зависимости от тарифов.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-42-47

УДК 621.78.01:621.785-97

© А.В. Корнилова, 2022



**А.В. Корнилова,**  
д-р техн. наук, проф.,  
anna44@yandex.ru

НИУ МГСУ, Москва, Россия

## К вопросу о точности определения температуры огневого воздействия по следам пожара

На основе экспериментальных исследований разработан способ определения величины температурного воздействия по комплексному изменению твердости и коэрцитивной силы строительных металлоконструкций, выступающих в роли естественных термосвидетелей. Предложенный метод позволит повысить надежность экспертных заключений о возможности дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений после пожара.

**Ключевые слова:** огневое воздействие, температура, пожар, металлоконструкции, термосвидетели, вюстит, магнетит, гематит, коэрцитивная сила, твердость.

**Для цитирования:** Корнилова А.В. К вопросу о точности определения температуры огневого воздействия по следам пожара // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 42–47. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-42-47

### Введение

После ликвидации пожара необходимо изучить комплекс параметров, наиболее важный из которых — температура огневого воздействия. Материал строительных металлоконструкций, в том числе опасных производственных объектов, оказавшихся в зоне действия высоких температур, претерпевает изменения. По ним судят о величине температурного воздействия, т.е. металлоконструкции выступают естественными термосвидетелями. Во время пожара возможны различные сочетания факторов, влияющих на температурный режим участков здания или сооружения с учетом процессов газообмена в зонах горения и охлаждающего действия огнетушащих средств.

### Цели выполненной работы

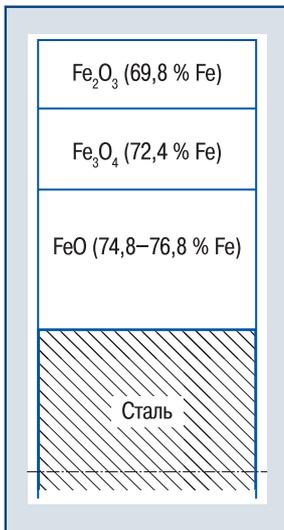
В настоящее время для определения температурного (огневого) воздействия при составлении экспертных заключений о техническом состоянии строительных конструкций после пожара используют способ, описанный, например, в методике [1]. В соответствии с ней величина температурного воздействия оценивается по цветам тонких слоев оксидов, возникающих на поверхности металлоконструкции при действии температуры, которые называются цветами побежалости. Каждому интервалу температуры нагрева соответствует свой цвет побежалости, определяемый визуально (табл. 1).

Исследование величины температурного воздействия по цветам побежалости имеет ряд недостатков. Визуальная оценка носит субъективный характер и не может считаться универсальной для всех типов сталей. Цвета побежалости зависят от толщины и химического состава оксидных пленок, которые, в свою очередь, определяются не только температурой воздействия, но и маркой стали, способами изготовления и обработки конструкции, наличием поверхностных ликваций

Таблица 1

Цвет побежалости стали	Температура нагрева, °С
Светло-желтый	220–230
Соломенно-желтый	231–240
Оранжевый	241–260
Красно-фиолетовый	261–280
Синий	281–300

и т.д. Данный способ имеет ограничение по величине температурного воздействия, так как при превышении температурного порога 500 °С (значение варьируется для различных марок сталей) исчезает визуально определяемая зависимость между температурой и цветом поверхности стальной металлоконструкции после воздействия температуры. Кроме того, современные подходы к определению ресурса конструкций любого назначения, в том числе после ненормативных воздействий, требуют учитывать все закономерности изменения структуры и свойств материалов, а не только свойства поверхностных слоев. При температурной нагрузке и последующем охлаждении в металлах и сплавах одновременно протекают два синергетически влияющих друг на друга процесса: изменение структуры и свойств основного металла, а также появление на поверхности оксидных пленок. При окислении образуются оксиды железа: вюстит (FeO), магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и гематит (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Оксиды расположены слоями, выстроенными от наружного к внутреннему по мере уменьшения содержания кислорода в соединении (рис. 1). Вюстит — наиболее мягкий и рыхлый слой оксидной пленки, имеет гранцентрированную кубическую решетку, устойчив при температурах выше 570 °С (ниже этого значения он распадается). Наибольшее количество FeO образуется в интервале температур 700–900 °С. Магнетит



▲ Рис. 1. Упрощенная схема образования оксидных пленок на поверхности углеродистой стали при нагреве в кислородосодержащей среде

▲ Fig. 1. Simplified scheme of the oxide films formation on the surface of carbon steel when heated in the oxygen-containing medium

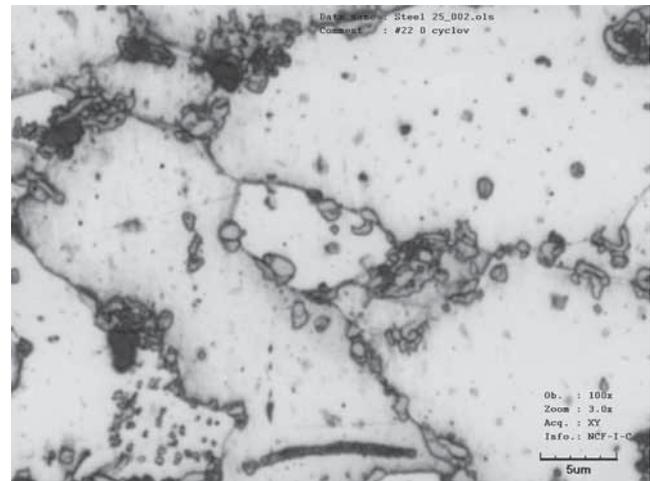
обладает кубической кристаллической решеткой и характеризуется значительной абразивностью. Гематит демонстрирует самую высокую абразивность и практически не растворяется в кислотах [2]. При твердости металла 140 ед. по Виккерсу твердость FeO составляет 270–350 ед., Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> — 420–500 ед., Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1030 ед.

Вопросам состава, толщины, свойств оксидных пленок посвящены публикации по горячей прокатке [3–6], где окалина (высокотемпературная оксидная пленка на поверхности стали) признается браком, а также статьи по переработке окалины и восстановлению из нее железа [7–10]. Металловедческие аспекты температурного воздействия чаще охватывают проблематику изменения свойств основного металла.

Цель данного исследования — определение влияния температурной нагрузки на твердость и магнитные свойства углеродистых строительных сталей. Эти параметры зависят как от процессов, происходящих в основном металле, так и от свойств поверхностных оксидных пленок. Еще одна задача — получение зависимости, позволяющей определять величину температурного воздействия по комплексному изменению свойств металлоконструкций, подвергшихся огневому воздействию в результате пожара, что позволит повысить точность и диапазон надежного определения температуры огневого воздействия.

#### Методика исследований

Наиболее распространенный материал для изготовления строительных конструкций — мало- или среднеуглеродистые стали, относящиеся к группе доэвтектоидных. Для проведения эксперимента использовались специально изготовленные цилиндрические образцы из доэвтектоидной углеродистой стали с содержанием углерода 0,25 %. Образцы получены холодной протяжкой. Структура микрошлифа в поперечном направлении до температурного воздействия показана на рис. 2. Критические точки исследуемой стали приняты  $A_{c1} = 735\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{c3} = 835\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для исследований твердости выбран метод Роквелла, шкала В (HRB), реализованный в стационарном твердомере ТК 14-250.



▲ Рис. 2. Микрошлиф поперечного сечения образца в исходном состоянии

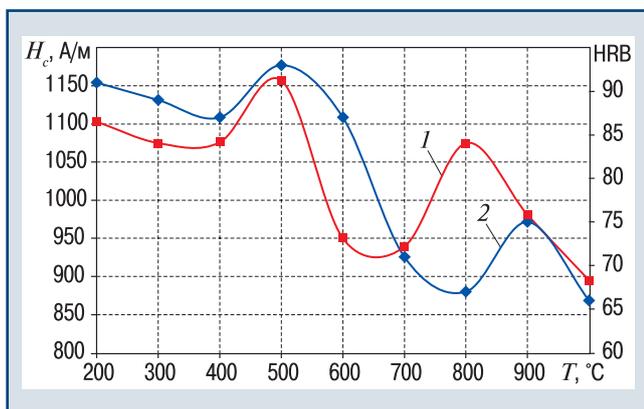
▲ Fig. 2. Microplate of the cross-section of the sample in the initial state

Известно, что наиболее структурочувствительная характеристика ферромагнетиков, к которым относят и доэвтектоидные стали, — коэрцитивная сила  $H_c$ , А/м, т.е. напряженность внешнего магнитного поля, приложенная к намагниченному до насыщения ферромагнетику, чтобы полностью его размагнитить. Первой из всех характеристик (как магнитных, так и механических)  $H_c$  меняет значение при приложении температурной нагрузки. Это изменение фиксируется после снятия температуры. Для исследований  $H_c$  использован поверенный и аттестованный структурскоп (коэрцитиметр) КИМ-2М.

Для нагрева образцов использована лабораторная печь ПМ-16М-1200-В с термостатом. Эксперимент проводили по следующему алгоритму. Образцы закладывали в нагретую до заданной температуры печь, выдерживали 15 мин и охлаждали на спокойном воздухе. Температуру варьировали от 200 до 1000 °С с шагом 100 °С. В каждом образце перед нагревом и после охлаждения измеряли твердость и  $H_c$  в нескольких точках по длине образца, затем значения усреднялись. До нагрева по всем образцам среднее значение твердости составило 89 ед. HRB, среднее значение  $H_c = 1023\text{ А/м}$ .

Образцы 1–6 нагрели до температур ниже  $A_{c1}$ , образец 7 — между  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ , образцы 8 и 9 при нагреве полностью аустенизированы. Все образцы, кроме 1-го, нагреты выше точки Кюри нелегированного цементита (210 °С). Исследованию поведения  $H_c$  при термоциклировании вблизи точки Кюри цементита посвящены работы [11–13]. Однако изучение комплексного влияния процессов в основном металле и в зоне образования оксидных пленок на инженерные характеристики (твердость, магнитные свойства) при единичном нагреве не проводилось.

На рис. 3 (здесь 1, 2 — изменение соответственно твердости и  $H_c$ ) приведены графические зависимости результатов эксперимента. Цвета побежалости

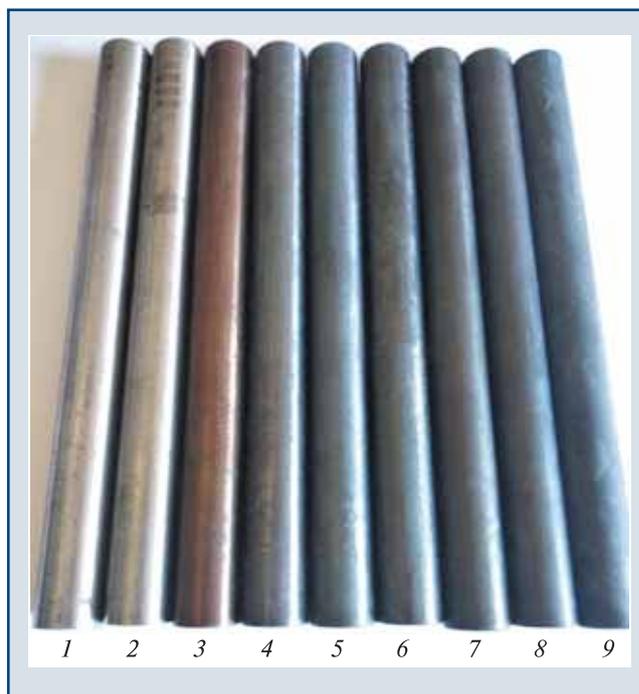


▲ Рис. 3. Зависимости изменения твердости и коэрцитивной силы от величины температурного воздействия  
 ▲ Fig. 3. Dependences of the change in hardness and coercive force on the magnitude of the temperature effect

металла после нагрева и охлаждения показаны на рис. 4 (здесь 1–9 — образцы, нагретые до температуры соответственно 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000 °С). Очевидно, что оценка температуры по цветам побежалости носит субъективный характер. При превышении температурного порога в 500 °С практически исчезает визуально определяемая зависимость между температурой и цветом поверхности образца после ее воздействия.

**Результаты исследований и их обсуждение**

В данном эксперименте  $H_c$  и твердость определялись с учетом свойств основного металла и оксидных пленок поверхности. Глубина намагничивания используемого прибора и глубина проникновения индентора при измерении твердости превышают суммарную толщину оксидных пленок, следовательно, результат измерения — комплексная величина, зависящая от свойств и основного металла, и окси-



▲ Рис. 4. Цвета побежалости образцов после нагрева до разных температур и дальнейшего охлаждения  
 ▲ Fig. 4. The colors of the run of the samples after heating to different temperatures and cooling

дов. Описание процессов, протекающих в исследуемых образцах стали при проведении экспериментов с нагревом и охлаждением, приведено в табл. 2.

Судить о величине температурного воздействия только по изменению  $H_c$  нельзя, так как при нагреве от 20 °С до температуры, близкой к температуре плавления (около 1400 °С), и дальнейшем охлаждении сталь претерпевает ряд фазовых и структурных превращений. Это приводит к тому, что одной и той же  $H_c$  могут соответствовать несколько температур.

Таблица 2

Температура нагрева, °С	Изменения твердости (HRB) и $H_c$	Изменения в стали (основной металл)
200	Незначительное падение относительно ненагруженного температурой состояния	Снижение остаточных напряжений, появление тонкой однослойной оксидной пленки на поверхности
300	То же	То же
400	Падение значений обоих параметров	Выравнивается деформированная кристаллическая решетка, в структуре поверхностных оксидов преобладает гематит (образец 3, см. рис. 4)
500	Увеличение значений обоих параметров	Протекает процесс типа неполного отжига, на поверхности увеличивается толщина особо твердого слоя (гематит)
600	Падение твердости, лавинообразное падение $H_c$ из-за появления в структуре поверхностных оксидных пленок неферромагнитных элементов	Происходит неполный отжиг основного металла, в структуре поверхностных слоев преобладает рыхлый вюстит, появившийся при температуре 570 °С
700	То же	То же
800	Падение твердости, рост $H_c$ за счет преобладания ферромагнитной составляющей вюstitа в структуре оксидов, отслоение окалин от основного металла	Переход при нагреве в GSF-область диаграммы Fe-Fe <sub>3</sub> C, где существуют одновременно два типа твердых растворов — аустенит и феррит; нарастание толщины оксидных пленок на поверхности

Окончание табл.

Температура нагрева, °С	Изменения твердости (HRB) и $H_c$	Изменения в стали (основной металл)
900	Рост твердости, резкое падение $H_c$	Полная аустенизация основного металла при нагреве. При охлаждении проходит упрочнение благодаря процессу, подобному нормализации, на поверхности наблюдается частичное отслоение оксидных пленок
1000	Резкое падение твердости и $H_c$	Перегрев основного металла, неконтролируемый рост зерна аустенита при нагреве, интенсивное отслоение окалины с поверхности в процессе охлаждения

Твердость — более консервативная характеристика металлов и сплавов, но при приложении и снятии температуры также возникает ситуация, когда одному значению твердости могут соответствовать несколько температур.

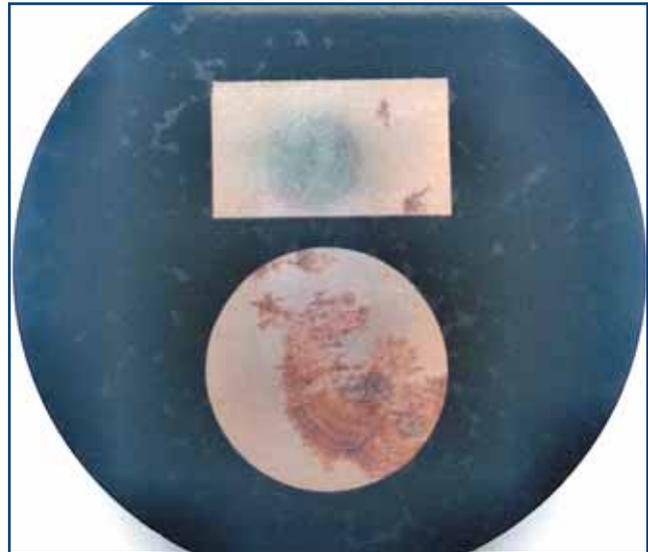
Проведенное исследование показало, что твердость и  $H_c$  коррелируют между собой не на всех температурных интервалах нагрева, однако каждой температуре соответствует только одна пара их значений. По итогам экспериментов разработан способ определения температурного воздействия по изменению твердости и  $H_c$  стальных металлоконструкций, заключающийся в следующем. В не поврежденной температурным воздействием металлоконструкции измеряют  $H_{c1}$  и твердость HRB<sub>1</sub> по Роквеллу, шкала В. Далее определяют аналогичные параметры  $H_{c2}$  и HRB<sub>2</sub> после огневого воздействия и вычисляют его температуру  $T$ , °С, по формуле:

$$T = (1341\Delta_1^2 - 1376\Delta_1 + 491,9)(8,5\Delta_2^2 + 1,3\Delta_2 + 0,9),$$

где  $\Delta_1$  — относительное изменение  $H_c$  после температурного воздействия,  $\Delta_1 = (H_{c2} - H_{c1})/H_{c1}$ ;  $\Delta_2$  — относительное изменение твердости по Роквеллу, шкала В,  $\Delta_2 = (HRB_2 - HRB_1)/HRB_1$ .

Если при обследовании после температурного воздействия остались неизвестными первоначальные значения  $H_c$  и твердости, используют измерения на аналогичных конструкциях или справочные данные.

Предложенный способ прошел апробацию в лабораторных условиях и показал относительную погрешность 7 %. Тем не менее следует учитывать, что мало- и среднеуглеродистые стали не рассчитаны на нахождение в условиях повышенных температур. В результате высокотемпературного воздействия после его снятия возможна не только депланация сечений, которая очевидна и проявляется сразу после пожара, но и межкристаллитная коррозия основного металла (рис. 5), развивающаяся постепенно и существенно ухудшающая несущую способность конструкций. Но и здесь существует возможность, что часть конструкций, случайно оказавшихся в определенных температурно-временных условиях пожара, получит естественную пассивацию, т.е. поверхность металла перейдет в пассивное состояние, связанное с образованием тонких поверхностных слоев соединений, препятствующих коррозии. В проведенном исследовании произошла пассивация образца 3 (см. рис. 4).



▲ Рис. 5. Межкристаллитная коррозия, вышедшая на поверхность микрошлифа, развившаяся после завершения эксперимента при хранении в лабораторных условиях

▲ Fig. 5. Intercrystalline corrosion that emerged on the surface of the microplate, which developed after the experiment was completed during storage in the laboratory conditions

Дальнейшее направление исследований — создание математических, статистических, регрессионных моделей поведения конструкций при пожаре и прогнозирование их свойств после пожара с учетом: продолжительности воздействия и нагрузок на конструкции; параметров типа Холломона — Яффе или Ларсона — Миллера [14–16], описывающих эффект влияния высокой температуры в течение определенного времени. Это позволит существенно увеличить надежность экспертных заключений о возможности дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений после пожара, что особенно актуально для опасных производственных объектов.

#### Выводы

1. Визуальная оценка температуры по цветам побежалости носит субъективный характер. При превышении температурного порога 500 °С (для исследуемой стали в заданных режимах) исчезает визуально определяемая зависимость между температурой и цветом поверхности образца после ее воздействия. Следовательно, рекомендации по определению температуры огневого воздействия

по цветам побежалости стальных конструкций (например, после пожара) нельзя считать достаточно надежными.

2. При приложении температурной нагрузки и последующем охлаждении в углеродистой доэвтектидной стали одновременно протекают два синергетически влияющих друг на друга процесса: изменение структуры и свойств основного металла, а также появление оксидных пленок на поверхности. Твердость и коэрцитивная сила коррелируют между собой не на всех температурных интервалах нагрева. Однако каждой температуре воздействия соответствует только одна пара значений твердости и коэрцитивной силы, что позволяет однозначно определять величину температурного воздействия по комплексному изменению этих параметров.

3. В результате высокотемпературного воздействия возможна не только деформация сечений, которая очевидна и проявляется сразу после пожара, но и межкристаллитная коррозия основного металла, развивающаяся постепенно и существенно ухудшающая несущую способность конструкций.

### Список литературы

1. *Определение температур огневого воздействия по следам пожара.* URL: <http://lse.expert/opredeleniye-temperatur-ognevoego-vozdeystviya-po-sledam-pozhara> (дата обращения: 25.03.2022).
2. *Исследование травимости окалины сталей в соляной кислоте/* В.С. Панченко, Е.В. Мержинская, Е.В. Кардаильская, Д.Н. Згера// *Сталь.* — 2013. — № 10. — С. 42–44.
3. *Гарбер Э.А., Гатиятуллин Д.З.* Причины образования на поверхности горячекатаных стальных широких полос дефекта «остаточная окалина» и методы его устранения// *Механическое оборудование металлургических заводов.* — 2017. — № 2 (9). — С. 18–21.
4. *Покачалов В.В.* Фазовый состав окалины и дефекты, возникающие при волочении проволоки// *Метизы.* — 2006. — № 3 (13). — С. 30–33.
5. *Идентификация дефекта поверхности листового проката типа «Вкатанная окалина»/* А.Б. Сычков, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова и др.// *Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. — Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. — Вып. 24. — С. 12–18.*
6. *Меркулов А.А., Ефимов С.А., Королев А.В.* Математическое моделирование процесса роторной очистки металлического проката от окалины// *Математические методы в технике и технологиях — ММТТ.* — 2014. — № 5 (64). — С. 133–137.
7. *Друзь О.Н., Никитин Ю.Н.* Совершенствование технологий переработки окалины в порошковый материал// *Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении.* — 2020. — № 4 (33). — С. 28–39.
8. *Пат. RU 2279491 C2.* Способ подготовки замасленной окалины к переработке/ А.С. Дегай, М.В. Зуев, А.Л. Засухин и др.; заявл. 08.07.2004; опубл. 10.07.2006, Бюл. № 19.
9. *Корц Т., Вульферт Х.* Экономически эффективный процесс переработки и использования маслосодержащей прокатной окалины// *Черные металлы.* — 2012. — № 2. — С. 25–30.
10. *Липаткина Т.Н.* Получение металлизированного продукта из окалины// *Литье и металлургия.* — 2016. — № 1 (82). — С. 72–75.
11. *A method of determination of the service life of a die tool with application of magnetic methods of nondestructive control and diagnostics/* A.V. Kornilova, I.M. Idarmachev, T. Paing, C. Zayar// *Journal of Machinery Manufacture and Reliability.* — 2014. — Vol. 43. — Iss. 5. — P. 439–444. DOI: 10.3103/S1052618814050082
12. *Zaya K., Paing T., Kornilova A.* The effects of operational thermal cycling on mechanical and magnetic properties of structural steels// *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* — 2019. — Vol. 675. — P. 012041. DOI: 10.1088/1757-899X/675/1/012041
13. *Применение магнитных методов неразрушающего контроля как способа экспресс-оценки прочностных свойств и остаточного ресурса металла/* А.В. Корнилова, Р.В. Батарин, Н.А. Галов и др.// *Производство проката.* — 2018. — № 5. — С. 31–37.
14. *Rajput S.K., Chaudhari G.P., Nath S.K.* Characterization of hot deformation behavior of a low carbon steel using processing maps, constitutive equations and Zener-Hollomon parameter// *Journal of Materials Processing Technology.* — 2016. — Vol. 237. — P. 113–125. DOI: 10.1016/J.JMATPROTEC.2016.06.008
15. *Effect of Zener-Hollomon parameter on hot deformation behavior of CoCrFeMnNiC0.5 high entropy alloy/* Y. Wang, J. Li, Y. Xin et al.// *Materials Science and Engineering: A.* — 2019. — Vol. 768. — P. 138483. DOI: 10.1016/j.msea.2019.138483
16. *Impact of Zener-Hollomon parameter on substructure and texture evolution during thermomechanical treatment of iron-containing wrought aluminium alloys/* E. Aryshenskii, R. Kawalla, U. Pral et al.// *Transactions of Nonferrous Metals Society of China.* — 2019. — Vol. 29. — № 5. — P. 893–906. DOI: 10.1016/S1003-6326(19)64999-X

anna44@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 29 марта 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 42–47.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-42-47

To the Issue of Accuracy of Determining the Temperature of Fire Exposure by Fire Traces

A.V. Kornilova, Dr. Sci. (Eng.), Prof., anna44@yandex.ru  
Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

### Abstract

After the fire is extinguished, it is required to study a set of the parameters, the most important of which is the temperature of fire exposure. The material of building metal structures, including hazardous production facilities that are in the zone of high temperatures, is undergoing changes. According to them, the

magnitude of the temperature effect is determined, that is, metal structures act as natural thermal witnesses. Currently, the temperature effect is assessed visually by the colors of thin oxide films (tint colors) on the metal structures surface. It is experimentally proven that such an assessment is subjective. Recommendations based on this method cannot be considered sufficiently reliable. The purpose of the conducted study is to determine the effect of temperature loading on the hardness and magnetic properties of the carbon building steels. During heating and subsequent cooling, two synergetically affecting each other processes occur simultaneously in steel: a change in the structure and properties of the base metal, as well as the appearance of oxide films on the surface. It is established that the characteristics of the metal — hardness and coercive force do not correlate with each other in all the temperature ranges of heating. However, each exposure temperature corresponds to only one pair of hardness and coercive force values. Based on the results of the conducted experiments, the method was developed for determining the temperature effect by a complex change in the hardness and coercive force of the steel structures. The proposed method will allow to improve the reliability of expert opinions on the possibility of further operation of the buildings and structures after a fire.

**Key words:** fire exposure, temperature, fire, metal structures, thermal witnesses, wustite, magnetite, hematite, coercive force, hardness.

#### References

1. Determination of fire exposure temperatures by fire traces. Available at: <http://lse.expert/opredeleniye-temperatur-ognevo-go-vozdeystviya-po-sledam-pozhara> (accessed: March 25, 2022). (In Russ.).
2. Panchenko V.S., Merzhinskaya E.V., Kardailskaya E.V., Zgera D.N. Investigation of etchability of steel scale in the hydrochloric acid. *Stal = Steel*. 2013. № 10. pp. 42–44. (In Russ.).
3. Garber E.A., Gatiyatullin D.Z. Factors that cause residual scale surface defects on hot-rolled wide strips and methods of their elimination. *Mekhanicheskoe oborudovanie metallurgicheskikh zavodov = Mechanical Equipment of Metallurgical Plants*. 2017. № 2 (9). pp. 18–21. (In Russ.).
4. Pokachalov V.V. Phase composition of the scale and defects that occur during wire drawing. *Metizy = Metalwares*. 2006. № 3 (13). pp. 30–33. (In Russ.).
5. Sychkov A.B., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Zhloba A.V., Kamalova G.Ya. Identification of the surface defects of sheet «Rolled scale». *Modelirovanie i razvitie protsessov obrabotki metallov davleniem: mezhdunar. sb. nauch. tr.* (Modeling and Development of the Metalworking Processes by Pressure: International collection of the scientific papers). 2018. № 24. pp. 12–18. (In Russ.).
6. Merkulov A.A., Efimov S.A., Korolev A.V. Mathematical modeling of the process of rotary cleaning of the rolled metal from scale. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh — MMTT = Mathematical Methods in Technique and Technologies — MMTT*. 2014. № 5 (64). pp. 133–137. (In Russ.).
7. Druz O.N., Nikitin Yu.N. Improvement of technology for processing scale into powder material. *Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva i obrabotki davleniem materialov v mashinostroenii = Resource Saving Technologies for Production and Pressure Shaping of Materials in Machine-Building*. 2020. № 4 (33). pp. 28–39. (In Russ.).
8. Degay A.S., Zuev M.V., Zasukhin A.L., Karmanov O.B., Mikurova M.I., Orekhov O.E., Gusev R.V. The method for preparing oiled scale for processing. Patent RU 2279491 C2. Applied: July 8, 2004. Published: July 10, 2006. Bulletin № 19. (In Russ.).
9. Korts T., Vulfert Kh. Cost-effective process of processing and use of the oil-containing rolling scale. *Chernye metally = Ferrous Materials*. 2012. № 2. pp. 25–30. (In Russ.).
10. Lipatkina T.N. Receiving and iron-rich product from scale. *Lityo i metallurgiya = Foundry Production and Metallurgy*. 2016. № 1 (82). pp. 72–75. (In Russ.).
11. Kornilova A.V., Idarmachev I.M., Paing T., Zayar C. A method of determination of the service life of a die tool with application of magnetic methods of nondestructive control and diagnostics. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2014. Vol. 43. Iss. 5. pp. 439–444. DOI: 10.3103/S1052618814050082
12. Zaya K., Paing T., Kornilova A. The effects of operational thermal cycling on mechanical and magnetic properties of structural steels. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 675. pp. 012041. DOI:10.1088/1757-899X/675/1/012041
13. Kornilova A.V., Batarin R.V., Galov N.A., Vygovskiy A.M., Paing T. Magnetic method application of nondestructive inspection as express-evaluation way of strength properties and residual life of metal. *Proizvodstvo Prokata = Rolled Products Manufacturing*. 2018. № 5. pp. 31–37. (In Russ.).
14. Rajput S.K., Chaudhari G.P., Nath S.K. Characterization of hot deformation behavior of a low carbon steel using processing maps, constitutive equations and Zener-Hollomon parameter. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. Vol. 237. pp. 113–125. DOI: 10.1016/J.JMATPROTEC.2016.06.008
15. Wang Y., Li J., Xin Y., Li C., Cheng Y., Chen X., Rashad M., Liu B., Liu Y. Effect of Zener-Hollomon parameter on hot deformation behavior of CoCrFeMnNiC0.5 high entropy alloy. *Materials Science and Engineering: A*. 2019. Vol. 768. pp. 138483. DOI: 10.1016/j.msea.2019.138483
16. Aryshenskii E., Kawalla R., Pral U., Hirsch J., Bazhin V. Impact of Zener-Hollomon parameter on substructure and texture evolution during thermomechanical treatment of iron-containing wrought aluminium alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2019. Vol. 29. № 5. pp. 893–906. DOI: 10.1016/S1003-6326(19)64999-X

Received March 29, 2022



DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-48-56

УДК 614.849

© А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов, 2022

# Оценка опасности для работников угольных предприятий Кузбасса при возникновении чрезвычайных ситуаций



**А.И. Фомин,**  
ncvostnii@yandex.ru,  
д-р техн. наук, проф., вед.  
науч. сотрудник  
(АО «НЦ ВостНИИ»,  
Кемерово, Россия),  
зав. кафедрой  
(КузГТУ, Кемерово, Россия)



**Д.А. Бесперстов,**  
канд. техн. наук, доцент  
(ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный  
университет», Кемерово,  
Россия)

В работе выведены функции изменения числа чрезвычайных ситуаций и их последствий, в том числе для угольных предприятий, во времени. Приведены теоретические основы расчета рисков для угольных предприятий. Построены математические модели изменения во времени рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, числа пострадавших и погибших от них работников предприятий угольной промышленности на территории Кузбасса. Математическое моделирование чрезвычайных ситуаций и их последствий в угольной промышленности позволит оценить возможность и эффективность внедрения на предприятиях отрасли адресных мероприятий по предупреждению аварий техногенного характера. Оно также позволит более рационально распределять финансовые ресурсы предприятий угольной промышленности на мероприятия, направленные на сохранение жизни и здоровья работников.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, угольные предприятия, риски аварий, математическое моделирование, профилактические мероприятия.

**Для цитирования:** Фомин А.И., Бесперстов Д.А. Оценка опасности для работников угольных предприятий Кузбасса при возникновении чрезвычайных ситуаций // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 48–56. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-48-56

## Введение

В современных условиях процесс трудовой деятельности работников угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий сопряжен со множеством опасных факторов техногенного характера, которые могут стать причиной нарушения надлежащего функционирования производственного процесса и возникновения аварий и пожаров с жертвами и материальными потерями [1, 2]. Из-за присутствия на предприятиях пожароопасных и взрывопожароопасных процессов данные объекты являются потенциально опасными [3]. В целях предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на потенциально опасных объектах МЧС России в отношении них осуществляет федеральный государственный надзор в области защиты населения и территорий от ЧС [4].

При возникновении аварий и пожаров возможно проведение комиссий по ЧС, которые организуют и реализуют необходимые мероприятия силами как отдельных организаций, так и муниципальных образований или субъектов Российской Федерации (РФ). Мониторинг и прогнозирование ЧС проводит МЧС России [5]. На жизнь и здоровье работников особое воздействие оказывают последствия от катастроф и аварий техногенного характера. Это вызывает необ-

ходимость выстраивания и совершенствования на постоянной основе существующей системы защиты от возможных воздействий неблагоприятных факторов ЧС [6].

Как для РФ в целом, так и для Кузбасса в частности, уровень техногенных опасностей достаточно высок. Поэтому для выработки профилактических мероприятий необходимо предвидеть возможные риски и сопутствующие угрозы, совершенствовать методы прогноза, выявления и предупреждения ЧС. Целенаправленная работа в этом направлении позволит добиться снижения показателей гибели и травмирования работников, а также уменьшения ущерба от ЧС [7].

## Обстановка с чрезвычайными ситуациями на территории Кузбасса

Для полного представления о складывающейся обстановке на территории Кузбасса необходимо проанализировать показатели вероятности возникновения ЧС, статистику гибели работников угольных предприятий в результате случившихся ЧС, экономические последствия от ЧС с учетом нанесенного материального ущерба населению и государству в целом. Показатели оперативной обстановки по ЧС и их последствиям на территории Кузбасса приведены в таблице [7]. Как видим, за 12 лет на территории

Кузбасса произошло 35 ЧС (34 ЧС техногенного характера, 1 — природного), в результате которых пострадал 471 чел., 356 из них погибли. Материальный ущерб от ЧС составил почти 13 млрд руб.

В соответствии с законодательством РФ ЧС — это сложившаяся негативная обстановка при возникновении аварии, катастрофы, стихийного бедствия с наличием рисков социальных и (или) экономических потерь [3].

Из 12 ЧС на угольных предприятиях Кузбасса 9 произошло на шахтах, что свидетельствует об особенностях подземной угледобычи и повышенных рисках на данных объектах в сравнении с разрезами и обогатительными фабриками.

Основные причины ЧС на шахтах: взрывы газа, вспышки угольной пыли и пылегазовоздушной смеси, обрушение кровли и вывалы породы в горной выработке. Так, в результате подземного взрыва метановоздушной смеси на шахте ПАО «Распадская», происшедшего в 2010 г. в Кемеровской обл., погиб 91 человек. Подобная ситуация возникла и на шахте «Листвяжная» в 2021 г., в результате чего погиб 51 человек, из них 5 горноспасателей.

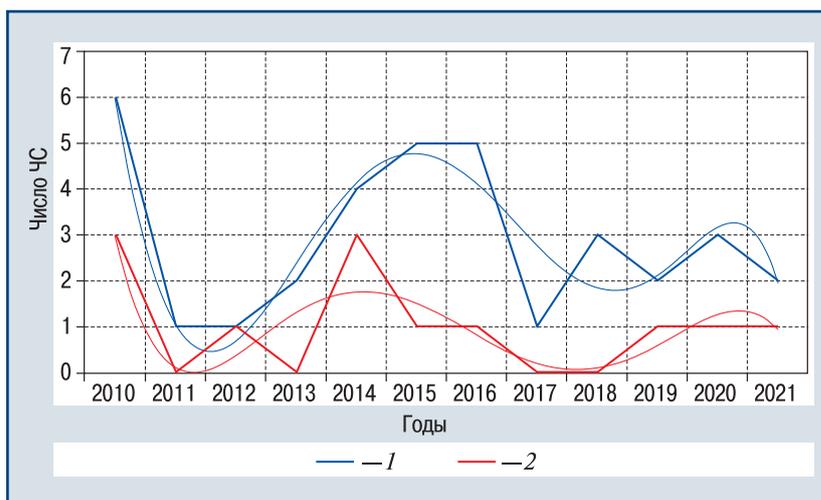
Характер ЧС (в том числе по масштабам последствий и уровню реагирования) определяется на основании критериев, изложенных в постановлении Правительства РФ [8].

#### Построение функций изменения числа чрезвычайных ситуаций и их последствий, в том числе для угольных предприятий, во времени

По статистическим показателям ЧС построим графики изменения во времени числа ЧС и их последствий, в том числе для угольных предприятий, с выводом функций и достоверности изменения негативных параметров (рис. 1–3).

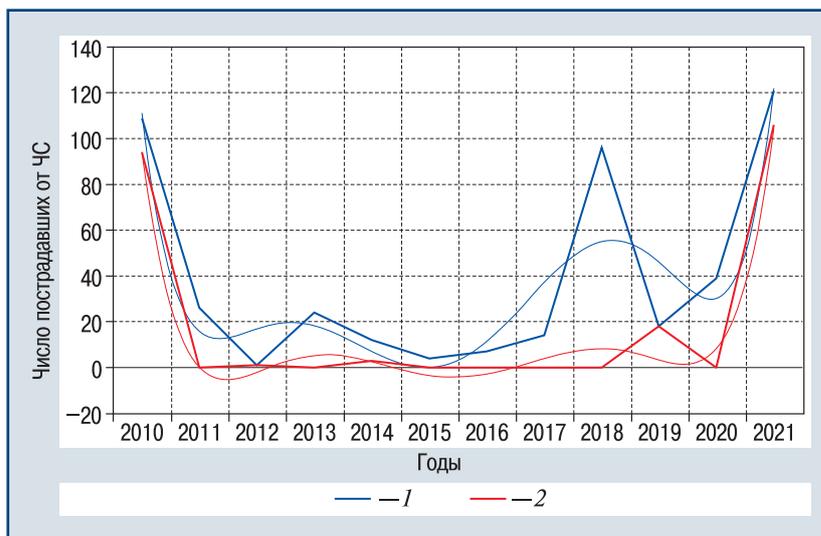
На графиках по оси *x* указан временной интервал по годам за период с 2010 по 2021 г. По оси *y* — количественные показатели рассматриваемых параметров. Для рис. 1: 1 — общее число ЧС; 2 — число ЧС на угольных предприятиях региона. Для рис. 2: 1 — общее число пострадавших от ЧС;

Год	Число ЧС (в том числе на угольных предприятиях)	Пострадало (в том числе на угольных предприятиях)	Погибло (в том числе на угольных предприятиях)	Ущерб, млн руб. (в том числе на угольных предприятиях)
2010	6 (3)	109 (94)	155 (144)	6690,65 (6690,65)
2011	1 (0)	26 (0)	4 (0)	0,75 (0)
2012	1 (1)	1 (1)	3 (3)	21,26 (21,26)
2013	2 (0)	24 (0)	8 (0)	639,39 (0)
2014	4 (3)	12 (3)	10 (4)	105,62 (105,47)
2015	5 (1)	4 (0)	21 (3)	32,72 (0,45)
2016	5 (1)	7 (0)	14 (2)	459,00 (356,80)
2017	1 (0)	14 (0)	0 (0)	0,15 (0)
2018	3 (0)	96 (0)	71 (0)	4450,60 (0)
2019	2 (1)	18 (18)	6 (6)	16,33 (8,030)
2020	3 (1)	39 (0)	9 (2)	8,40 (0)
2021	2 (1)	121 (106)	55 (51)	Не установлен
Всего	35 (12)	471 (222)	356 (215)	12424,87 (7182,66)



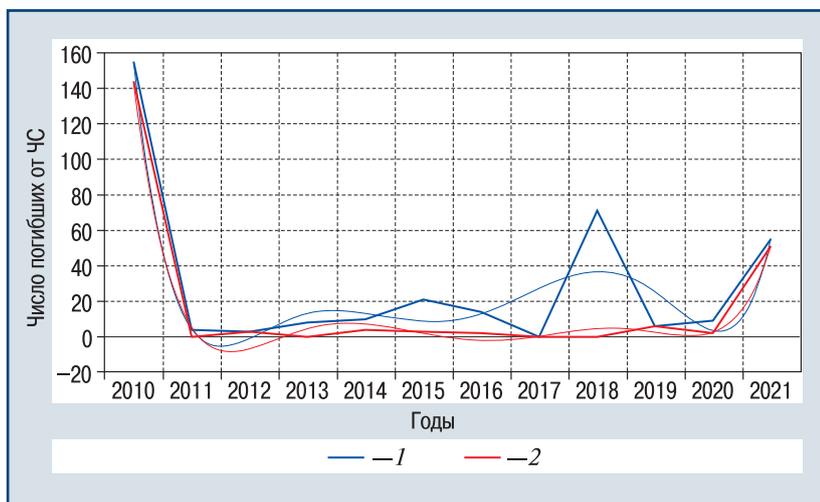
▲ Рис. 1. Изменение числа ЧС, в том числе на угольных предприятиях, с 2010 по 2021 г. в Кузбассе

▲ Fig. 1. Change in the number of emergencies, including at coal enterprises from 2010 to 2021 in Kuzbass



▲ Рис. 2. Изменение числа пострадавших от ЧС, в том числе на угольных предприятиях, с 2010 по 2021 г. в Кузбассе

▲ Fig. 2. Change in the number of victims of emergencies, including at coal enterprises from 2010 to 2021 in Kuzbass



▲ Рис. 3. Изменение числа погибших от ЧС, в том числе на угольных предприятиях, с 2010 по 2021 г. в Кузбассе

▲ Fig. 3. Change in the number of deaths from emergencies, including at coal enterprises from 2010 to 2021 in Kuzbass

2 — число пострадавших от ЧС на угольных предприятиях. Для рис. 3: 1 — общее число погибших от ЧС; 2 — число погибших от ЧС на угольных предприятиях.

При построении полиномиальных линий тренда значение достоверности аппроксимации  $R^2$  указывает на прогнозируемость показателей. Так, прогноз по предупреждению ЧС на угольных предприятиях достаточно низкий. Вместе с тем при возникновении ЧС на данных объектах показатели гибели работников, их травмирования и экономического ущерба более предсказуемы в сравнении с предприятиями неугольного производства. То есть при возникновении ЧС на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях высока вероятность социально-экономического ущерба, что указывает на необходимость повышения защищенности работников и объектов угольной промышленности.

Опишем построение графиков изменения числа ЧС, пострадавших, погибших в результате них, в том числе на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях, за последние 12 лет (с 2010 по 2021 г.). Статистические показатели возникновения ЧС и связанных с ними негативных последствий представлены в виде графиков изменения данных параметров во времени. По этим графикам построены линии тренда, являющиеся сглаживающими показателями изменения рассматриваемых параметров во времени. По данным линиям выведены функции изменения количественных показателей ЧС и их социальных последствий, таких как травмирование и гибель работников угольных предприятий Кузбасса, и значения достоверности изменения этих негативных параметров во времени.

Изменение числа ЧС, происшедших в Кузбассе с 2010 по 2021 г., описывается функцией:

$$y = -0,0004x^6 + 0,0119x^5 - 0,1068x^4 + 0,0293x^3 + 3,7957x^2 - 15,248x + 17,515;$$

$$R^2 = 0,829, \quad (1)$$

в том числе для угольных предприятий:

$$y = 0,00005x^6 - 0,0043x^5 + 0,1109x^4 - 1,255x^3 + 6,6866x^2 - 15,684x + 13,144;$$

$$R^2 = 0,6491. \quad (2)$$

Изменение числа пострадавших от ЧС в указанный период:

$$y = 0,0246x^6 - 0,9435x^5 + 14,134x^4 - 104,54x^3 + 399,52x^2 - 746,35x + 549,29;$$

$$R^2 = 0,8301, \quad (3)$$

в том числе для угольных предприятий:

$$y = 0,0165x^6 - 0,6437x^5 + 9,9423x^4 - 77,019x^3 + 312,37x^2 - 622,2x + 471,7;$$

$$R^2 = 0,9736. \quad (4)$$

Изменение числа погибших от ЧС с 2010 по 2021 г.:

$$y = 0,0226x^6 - 0,9044x^5 + 14,266x^4 - 112,73x^3 + 466,82x^2 - 949,17x + 736,75;$$

$$R^2 = 0,8882, \quad (5)$$

в том числе для угольных предприятий:

$$y = 0,0143x^6 - 0,5895x^5 + 9,6844x^4 - 80,34x^3 + 351,05x^2 - 755,83x + 618,85;$$

$$R^2 = 0,9893. \quad (6)$$

К рассмотрению приняты социальные потери, так как экономические потери подлежат восстановлению. Кроме того, предприятия имеют право рисковать своим имуществом, оборудованием, технологическим производством. А вот жизнью и

здоровьем персонала предприятий рисковать недопустимо. Производство должно быть безопасно для людей [9].

Деятельность любого предприятия, безусловно, направлена на извлечение наибольшей финансовой прибыли. Но при этом должны полностью соблюдаться установленные требования по обеспечению безопасности работников. Нарушение данных требований может привести к административным мерам, вплоть до приостановки производственной деятельности, что отрицательно скажется не только на экономическом состоянии собственника угольного предприятия, но и на благосостоянии его работников. Приостановка работы предприятия повлечет за собой дефицит финансовых средств, необходимых для выплаты заработной платы работникам.

### Теоретические основы расчета рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и их последствий

Для обеспечения безопасности работников угольных предприятий предлагается расчетная методика по определению риска возникновения ЧС и негативных последствий от них. В этой методике риском  $R$  является уровень опасности, возникающий с определенной периодичностью [9, 10].

Фактические риски возникновения ЧС  $R_{ч.с.факт}$ , пострадавших  $R_{п.факт}$  и погибших работников  $R_{г.факт}$  на угольных предприятиях Кузбасса можно представить в следующем виде:

$$R_{ч.с.факт} = N_{ч.с.} / Q_{у.п.} \quad (7)$$

где  $N_{ч.с.}$  — число ЧС, происшедших на угольных предприятиях Кузбасса;  $Q_{у.п.}$  — число угольных предприятий в Кузбассе;

$$R_{п.факт} = N_{п.} / Q_{чел.у.п.} \quad (8)$$

где  $N_{п.}$  — число пострадавших работников угольных предприятий от ЧС в Кузбассе;  $Q_{чел.у.п.}$  — общее число работников угольных предприятий Кузбасса;

$$R_{г.факт} = N_{г.} / Q_{чел.у.п.} \quad (9)$$

где  $N_{г.}$  — число погибших работников от ЧС на территории Кузбасса.

Приведенные параметры представляют фактические показатели рисков ЧС, которые уже произошли. Прогнозируемые риски возникновения негативных событий, связанных с ЧС, на угольных предприятиях Кузбасса получим, применив построение полиномиальных линий регрессии, являющихся оптимальными из-за низких дисперсных ошибок и представляющих собой описание возрастающих и убывающих величин. Значительное число экстремумов (максимумов и минимумов) показателей линии тренда позволяет более точно описать процесс. Полиномиальная аппроксимация дает максимальную

точность рассматриваемых параметров. Коэффициент  $R^2$  — показатель достоверности построенной математической модели, он является дисперсией ошибки или математическим ожиданием.

Прогнозируемые риски возможно определить на основе соответствующих показателей предшествующего периода. С учетом прогнозируемых событий возможна разработка профилактических мероприятий. Достаточность проведенных профилактических мероприятий определяется посредством сравнения прогнозируемых рисков возникновения негативных событий ( $R_{ч.с.п.р.}$ ,  $R_{п.п.р.}$ ,  $R_{г.п.р.}$ ) с фактическими рисками ( $R_{ч.с.факт}$ ,  $R_{п.факт}$ ,  $R_{г.факт}$ ).

Необходимость сравнения относительных параметров рисков, а не их количественных показателей, обусловлена тем, что число угольных предприятий и их работников со временем меняется.

Цель профилактических мероприятий — снижение на действующем предприятии рисков, которые впоследствии будут учтены при осуществлении государственных надзорных функций [11]. В связи с тем, что условия труда разных категорий работников угольных предприятий кардинально различаются, соответственно отличаются между собой и их профессиональные риски. В данном случае при определении фактических рисков пострадавших ( $R_{п.факт}$ ) и погибших ( $R_{г.факт}$ ) работников необходимо учитывать их количественные показатели ( $N_{п.}$ ,  $N_{г.}$ ,  $Q_{чел.у.п.}$ ) по рассматриваемым профессиям.

### Практическая отработка предлагаемой методики расчета рисков чрезвычайных ситуаций и их последствий за 2020 г.

Число предприятий, эксплуатирующих объекты угледобычи и углепереработки ( $Q_{у.п.}$ ) — 110. Число работников угольных предприятий Кузбасса ( $Q_{чел.у.п.}$ ) — 101 200. Число ЧС, происшедших на угольных предприятиях Кузбасса ( $N_{ч.с.}$ ) в 2020 г. — 1. Число пострадавших (травмированных) работников угольных предприятий от ЧС в Кузбассе ( $N_{п.}$ ) в 2020 г. — 0. Число погибших работников от ЧС на территории Кузбасса ( $N_{г.}$ ) в 2020 г. — 2.

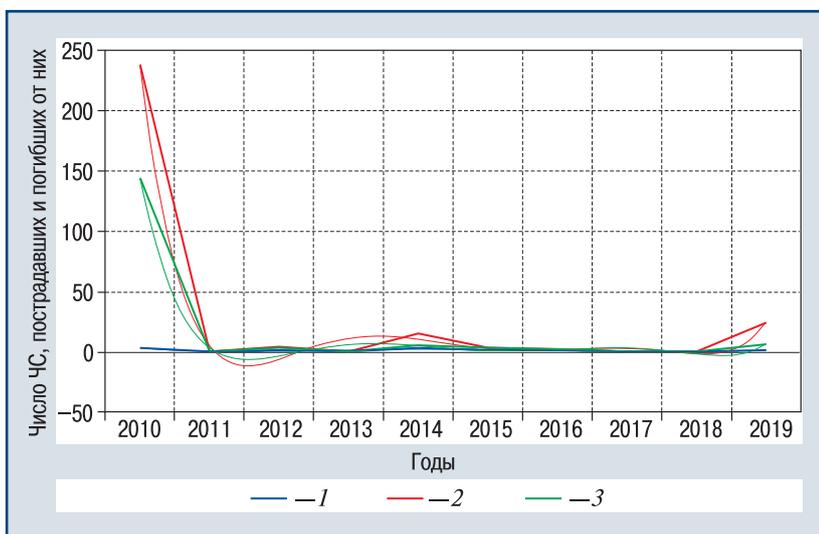
Рассчитаем фактические риски возникновения ЧС  $R_{ч.с.факт}$ , пострадавших  $R_{п.факт}$  и погибших работников  $R_{г.факт}$  на угольных предприятиях Кузбасса за 2020 г.:

$$R_{ч.с.факт} = N_{ч.с.} / Q_{у.п.} = 1/110 = 9 \cdot 10^{-3}; \quad (10)$$

$$R_{п.факт} = N_{п.} / Q_{чел.у.п.} = 0/101\,200 = 0; \quad (11)$$

$$R_{г.факт} = N_{г.} / Q_{чел.у.п.} = 2/101\,200 = 2 \cdot 10^{-5}. \quad (12)$$

Процесс определения прогнозируемых рисков возникновения ЧС  $R_{ч.с.п.р.}$ , пострадавших  $R_{п.п.р.}$  и погибших работников  $R_{г.п.р.}$  на угольных предприятиях Кузбасса за 2020 г. представлен на рис. 4 (здесь 1 — число ЧС; 2 — число пострадавших в результате ЧС; 3 — число погибших).



**▲ Рис. 4. Изменение числа ЧС, пострадавших и погибших от них на угольных предприятиях с 2010 по 2019 г. в Кузбассе**  
**▲ Fig. 4. Change in the number of emergencies, victims and deaths from them at coal enterprises from 2010 to 2019 in Kuzbass**

Так, по статистическим показателям ЧС построены графики изменения числа ЧС и их последствий для угольных предприятий Кузбасса с 2010 по 2019 г. с выводом соответствующих функций и показателей достоверности изменения негативных параметров во времени.

Изменение числа ЧС описывается функцией:

$$y = 0,0482x^6 - 1,762x^5 + 25,838x^4 - 193,07x^3 + 767,68x^2 - 1520,3x + 1158,9; \\ R^2 = 0,9942. \quad (13)$$

Изменение числа пострадавших от ЧС:

$$y = 0,0297x^6 - 1,0861x^5 + 15,88x^4 - 118,12x^3 + 467,23x^2 - 921,56x + 701,07; \\ R^2 = 0,994. \quad (14)$$

Изменение числа погибших от ЧС:

$$y = -0,0003x^6 + 0,0074x^5 - 0,0493x^4 - 0,1866x^3 + 3,1313x^2 - 10,272x + 10,333; \\ R^2 = 0,6782. \quad (15)$$

По выведенным функциям, основанным на статистических показателях 2010–2019 гг., спрогнозируем число ЧС, пострадавших и погибших от них на угольных предприятиях Кузбасса за 2020 г. Фактические и прогнозируемые показатели по ЧС и их последствиям для угольных предприятий на территории Кузбасса в 2020 г. таковы:

соотношение числа фактических и прогнозируемых ЧС составило 1 (1\*); аналогичное соотношение для общего числа пострадавших — 0 (260); для погибших — 2 (78).

В функциях параметры  $x$  принимают значения 1, 2, 3, ... для соответствующих периодов: 2010, 2011, 2012 г. и т.д. Соответственно для 2020 г. переменный параметр  $x$  примет значение 11. Исходя из этого, определим прогнозируемое число ЧС ( $N_{ч.с.пр}$ ), пострадавших ( $N_{п.пр}$ ) и погибших ( $N_{г.пр}$ ) от них на угольных предприятиях Кузбасса в 2020 г.:

$$N_{ч.с.пр} = -0,0003 \cdot 11^6 + 0,0074 \cdot 11^5 - 0,0493 \cdot 11^4 - 0,1866 \cdot 11^3 + 3,1313 \cdot 11^2 - 10,272 \cdot 11 + 10,333 = 0; \quad (16)$$

$$N_{п.пр} = 0,0482 \cdot 11^6 - 1,762 \cdot 11^5 + 25,838 \cdot 11^4 - 193,07 \cdot 11^3 + 767,68 \cdot 11^2 - 1520,3 \cdot 11 + 1158,9 = 260; \quad (17)$$

$$N_{г.пр} = 0,0297 \cdot 11^6 - 1,0861 \cdot 11^5 + 15,88 \cdot 11^4 - 118,12 \cdot 11^3 + 467,23 \cdot 11^2 - 921,56 \cdot 11 + 701,07 = 78. \quad (18)$$

Затем рассчитаем прогнозируемые риски по соответствующим показателям:

$$R_{ч.с.пр} = N_{ч.с.пр} / Q_{ул.п} = 1/110 = 9 \cdot 10^{-3}; \quad (19)$$

$$R_{п.пр} = N_{п.пр} / Q_{чел.ул.п} = 260/101\,200 = 2,6 \cdot 10^{-3}; \quad (20)$$

$$R_{г.факт} = N_{г.факт} / Q_{чел.ул.п} = 78/101\,200 = 7,7 \cdot 10^{-4}. \quad (21)$$

Далее сравним фактические и прогнозируемые показатели рисков по ЧС и их последствиям для угольных предприятий на территории Кузбасса:

соотношение фактических и прогнозируемых рисков ЧС составило  $9 \cdot 10^{-3} / (9 \cdot 10^{-3})$ ;

аналогичное соотношение для рисков возникновения пострадавших в результате ЧС —  $0 / (2,6 \cdot 10^{-3})$ ;

и погибших —  $2 \cdot 10^{-5} / (7,7 \cdot 10^{-5})$ .

\* Число прогнозируемых ЧС откорректировано с учетом наличия значительного числа прогнозируемых параметров — числа пострадавших и погибших при возникновении ЧС на угольных предприятиях.

Из приведенных сравнительных данных следует, что профилактические мероприятия по предупреждению ЧС и их последствий на Кузбассе выполняются в достаточном объеме.

Предлагаемая методика имеет преимущества в сравнении с методикой Ростехнадзора, основанной на присвоении рискам индексов [12], поскольку фактические риски позволяют внести в законодательство понятие нормативного значения риска возникновения ЧС и гибели (травмирования) людей от них на угольных предприятиях, что необходимо для оценки состояния угольной промышленности России в целом.

**Математические модели  
изменения фактических рисков  
возникновения чрезвычайных ситуаций,  
пострадавших и погибших от них  
работников угольной промышленности  
на территории Кузбасса**

Для описания изменения рисков возникновения ЧС, пострадавших и погибших от ЧС работников угольной промышленности на территории Кузбасса во времени необходимо построение математической модели, которая станет описанием поведения реального объекта. С учетом изложенного риска с описанием функций изменения во времени ЧС и их негативных последствий примут следующий вид.

Для описания динамики ЧС:

$$\begin{aligned} R_{\text{ч.с.факт}} &= N_{\text{ч.с}}/Q_{\text{ч.с.у.п}} \Rightarrow \\ Q_{\text{ч.с.у.п}} dR_{\text{ч.с.факт}}/d\tau &= -0,0003\Delta\tau^6 + \\ &+ 0,0074\Delta\tau^5 - 0,0493\Delta\tau^4 - 0,1866\Delta\tau^3 + \\ &+ 3,1313\Delta\tau^2 - 10,272\Delta\tau + 10,333, \end{aligned} \quad (22)$$

где  $dR_{\text{ч.с.факт}}$  — изменение фактических рисков возникновения ЧС на угольных предприятиях во времени;  $d\tau$  — изменение во времени (годовые промежутки);  $\Delta\tau$  — рассматриваемый временной промежуток, год.

Для описания динамики числа пострадавших на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях при возникновении ЧС:

$$\begin{aligned} R_{\text{п.факт}} &= N_{\text{п}}/Q_{\text{чел.у.п}} \Rightarrow \\ Q_{\text{чел.у.п}} dR_{\text{п.факт}}/d\tau &= 0,0482\Delta\tau^6 - \\ &- 1,762\Delta\tau^5 + 25,838\Delta\tau^4 - 193,07\Delta\tau^3 + \\ &+ 767,68\Delta\tau^2 - 1520,3\Delta\tau + 1158,9, \end{aligned} \quad (23)$$

где  $dR_{\text{п.факт}}$  — изменение во времени фактических рисков возникновения пострадавших при ЧС на угольных предприятиях.

Для описания динамики числа погибших на предприятиях угольной промышленности при возникновении ЧС:

$$\begin{aligned} R_{\text{г.факт}} &= N_{\text{г}}/Q_{\text{чел.у.п}} \Rightarrow \\ Q_{\text{чел.у.п}} dR_{\text{г.факт}}/d\tau &= 0,0297\Delta\tau^6 - \\ &- 1,0861\Delta\tau^5 + 15,88\Delta\tau^4 - 118,12\Delta\tau^3 + \\ &+ 467,23\Delta\tau^2 - 921,56\Delta\tau + 701,07, \end{aligned} \quad (24)$$

где  $dR_{\text{г.факт}}$  — изменение фактических рисков возникновения гибели работников при ЧС на угольных предприятиях во времени.

Данный комплекс дифференциальных уравнений представляет собой математическую модель изменения фактических рисков возникновения ЧС, пострадавших и погибших от них работников угольных предприятий в Кузбассе. В уравнениях дифференцированию подлежат параметры, изменяющиеся во времени  $\tau$ .

**Выработка профилактических  
мероприятий для обеспечения безопасных  
условий труда работников угольных  
предприятий при возникновении  
чрезвычайных ситуаций**

Построение математических моделей изменения негативных последствий ЧС на угольных предприятиях и соответствующих дифференциальных уравнений позволило дать научно обоснованную практическую оценку опасности рассматриваемых объектов. Это необходимо для выработки дополнительных мероприятий, преследующих цель не безусловного выполнения требований в области защиты населения и территорий от ЧС, а максимального повышения безопасности работников. Риски присутствуют всегда, полностью исключить их невозможно. Поэтому безусловное выполнение всех требований не исключает рисков возникновения ЧС.

В связи с высокими рисками ЧС на угольных предприятиях выработка адресных профилактических мер не представляется возможной. Поэтому необходима разработка комплексных мероприятий по снижению рисков, а там, где имеются риски с высокими ожидаемыми значениями, такие мероприятия необходимо проводить в первоочередном порядке.

К профилактическим мерам по предупреждению ЧС относится деятельность, направленная на максимальное снижение риска возникновения ЧС. Сюда также можно отнести мониторинг и прогнозирование, недопущение возникновения аварий, взрывов и пожаров на угольных предприятиях, внедрение безопасных инженерно-технических систем, декларирование, лицензирование, страхование, информирование и оповещение персонала, государственный надзор (контроль).

При выработке профилактических мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья людей, необходимо предусмотреть ограничение времени пребывания работников на опасных угольных участках и их числа, повышение уровня обучения персонала в целях правильного его поведения при возникновении ЧС, обеспечение работоспособности технических систем, влияющих на безопасные условия труда. К профилактическим мероприятиям социального характера можно также отнести создание и подготовку сил и средств по предупреждению и ликвидации ЧС, обучение работников угольных предприятий, поддержание в готовности систем оповещения, организацию и проведение спасательных работ, создание резервов ресурсов, необходимых для предупреждения и ликвидации ЧС.

#### Выводы и предложения

Учет рисков при оценке профилактических мероприятий по предупреждению ЧС и их негативных последствий позволит выработать адресные меры профилактики, а значит, скоординировать ресурсы угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий и направить их на обеспечение безопасности работников. Необходимо также активно задействовать такой вид материальной компенсации пострадавшим, как страхование жизни и здоровья работников, имущества угольного предприятия, что получило широкое развитие за рубежом [13]. Несмотря на значительный социально-экономический ущерб от ЧС, страховые компании готовы обеспечить соответствующие выплаты пострадавшим предприятиям [14].

За рубежом, как и в России, распространено мнение, что на все ЧС влиять не представляется возможным, поэтому в случае возникновения ЧС необходимо принять меры по максимальному снижению ущерба от нее, что достигается своевременным планированием и управлением профилактическими мероприятиями [15]. Вместе с тем большинство зарубежных организаций, в том числе задействованных в спасении населения (пожарные, медицинские работники, полиция, специализированные службы экстренной помощи, гражданские службы по ЧС, внутренние службы экстренной помощи), считают, что во время ЧС наиболее важно сохранить жизнь и здоровье людей.

#### Заключение

В работе даны подход, метод и направления оценки, а не безусловный выбор полиномиальной линии тренда. При этом выбрана наиболее точная линия тренда, описание (выбор) которой должно исходить из наиболее достоверных величин аппроксимации.

В выступлении Президента Российской Федерации по итогам анализа причин аварии на шахте «Листвяжная» в Кузбассе указано на необходимость разработки профилактических мероприятий. Применение рисков обусловлено использованием вероятностных критериев оценки наступления неблагоприятных событий для персонала при чрезвычайных ситуациях с учетом человеческого фактора.

Например, заработная плата работников отражает оценку их квалификации работодателем, которая в значительной степени зависит от уровня их обучения.

Задействование датчиков отслеживания содержания метана в воздухе шахт и иных систем предотвращения взрыва также относится к профилактическим мероприятиям технического характера. Оплата труда шахтеров в период простоя угольных предприятий из-за неисправности систем защиты является мерой стимулирования персонала со стороны собственника объекта, которую также можно отнести к предупредительным мерам.

Развитие системы профилактических мероприятий по недопущению и ограничению негативных последствий чрезвычайных ситуаций более эффективно в сравнении с ликвидацией самой аварии и устранением социально-экономических потерь. В Кузбассе особо актуально предупреждение чрезвычайных ситуаций на угольных предприятиях, так как статистические показатели имеют для региона большое значение.

В свою очередь рыночная экономика диктует необходимость разработки адресных (точечных) профилактических мероприятий, а не выполнения всех подряд требований безопасности, большинство из которых незначительно влияют на развитие чрезвычайных ситуаций. Самоопределение в выборе профилактических мероприятий впоследствии позволит увеличить их эффективность за счет снижения рисков возникновения аварий и перераспределения высвободившихся финансовых средств в производство, а со временем — снять тотальный надзор со стороны государства за предприятиями угольной промышленности.

#### Список литературы

1. *Профилактика нарушений обязательных требований в области пожарной безопасности на предприятиях угольной промышленности при возникновении чрезвычайной ситуации в мирное и военное время*/ А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов, А.А. Моисеев, М.В. Просин// Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2021. — № 2. — С. 41–46.
2. *Влияние единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на риск гибели людей при пожарах*/ А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов, В.Б. Попов, С.Ю. Сайбель// Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2018. — № 1. — С. 73–76.
3. *О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера*: федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 68-ФЗ. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/) (дата обращения: 07.04.2022).
4. *О федеральном государственном надзоре в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций*: постановление Правительства Рос. Федерации от 25 июня

2021 г. № 1013. URL: <https://base.garant.ru/401423166/> (дата обращения: 07.04.2022).

5. *О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: постановление Правительства Рос. Федерации от 30 дек. 2003 г. № 794.* URL: <https://base.garant.ru/186620/#friends> (дата обращения: 07.04.2022).

6. *Бесперстов Д.А., Попова Е.А., Сайбель С.Ю.* Режимы функционирования и уровни реагирования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций// *Пищевые инновации и биотехнологии: материалы V Междунар. науч. конф. ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)».* — Кемерово, 2017. — С. 687–689.

7. *Предупреждение чрезвычайных ситуаций.* URL: <https://42.mchs.gov.ru/deyatelnost/napravleniya-deyatelnosti/grazhdanskaya-zashchita/3-preduprezhdenie-chrezvychaynyh-situaciy> (дата обращения: 07.04.2022).

8. *О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: постановление Правительства Рос. Федерации от 21 мая 2007 г. № 304.* URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_68490/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68490/) (дата обращения: 07.04.2022).

9. *Голик Е.С., Афанасьева О.В.* Теория и методы статистического прогнозирования: учеб. пособие. — СПб: Изд-во СЗТУ, 2007. — 182 с.

10. *Гнеденко Б.В.* Курс теории вероятностей. — М.: Наука, 1988. — 455 с.

11. *О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: федер. закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ.* URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_358750/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/) (дата обращения: 07.04.2022).

12. *Методические рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на угольных шахтах: приказ Ростехнадзора от 5 июня 2017 г. № 192.* URL: <https://docs.cntd.ru/document/456073585?marker=7D20K3> (дата обращения: 07.04.2022).

13. *Hand in Hand Fire & Life Insurance Society.* URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hand\\_in\\_Hand\\_Fire\\_%26\\_Life\\_Insurance\\_Society](https://en.wikipedia.org/wiki/Hand_in_Hand_Fire_%26_Life_Insurance_Society) (дата обращения: 07.04.2022).

14. *Bagli C.V.* Insurers Agree to Pay Billions at Ground Zero. URL: <https://www.nytimes.com/2007/05/23/nyregion/23cnd-insure.html> (дата обращения: 07.04.2022).

15. *HM Government.* Emergency Response and Recovery. URL: <https://web.archive.org/web/20070606232027/http://www.ukresilience.info/upload/assets/www.ukresilience.info/emergresponse.pdf> (дата обращения: 07.04.2022).

**ncvostnii@yandex.ru**

*Материал поступил в редакцию 16 марта 2022 г.  
Доработанная версия — 12 апреля 2022 г.*

**«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 48–56.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-48-56**

**Hazard Assessment for the Employees of Kuzbass Coal Enterprises in Case of Emergency Occurrence**

**A.I. Fomin**, [ncvostnii@yandex.ru](mailto:ncvostnii@yandex.ru), Dr. Sci. (Eng.), Prof., Lead Researcher

**АО «NTs VostNII», Kemerovo, Russia**

Head of the Department

**KuzGTU, Kemerovo, Russia**

**D.A. Besperstov**, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.

**ФГБОУ ВО «Kemerovo State University», Kemerovo, Russia**

### Abstract

Statistical indicators of the negative consequences of all the emergencies in Kuzbass, including those at the coal mining and coal processing enterprises in the region are considered in the article. The need in developing a new approach to planning preventive measures based on the predicted risks of emergencies occurrence is substantiated. Efficiency of preventive measures is assessed by the calculations and comparison of actual and predicted risks of emergency situations.

Functions are derived for changing the number of emergencies and their consequences, including for the coal enterprises over time. Theoretical foundations for calculating risks for the coal enterprises are given. Mathematical models are built concerning the changes in time of the risks of emergencies, injured and dead as the result of them employees of the coal industry enterprises in the territory of Kuzbass. Hazard assessment for the employees is based on the calculation of the risk occurrence of both emergencies and the negative consequences of them. Mathematical modeling of emergency situations and their consequences in the coal industry will allow to assess the relevance and efficiency of the implementation of targeted measures at the enterprises of industry on preventing the technogenic accidents. This will make it possible to more rationally allocate financial resources of enterprises to the activities aimed at preserving the employee life and health.

The article also shows practical development of the proposed methodology of preventive measures at the coal mining and coal processing enterprises.

**Key words:** emergency situations, coal enterprises, accident risks, mathematical modeling, preventive measures.

### References

1. Fomin A.I., Besperstov D.A., Moiseev A.A., Prosin M.V. Mandatory Requirements Violation Preventions in the Field of Fire Safety at the Enterprises of the Coal Industry in the Event of an Emergency in Peace and War Time. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezопасnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry.* 2021. № 2. pp. 41–46. (In Russ.).

2. Fomin A.I., Besperstov D.A., Popov V.B., Saybel S.Yu. The impact of the unified state system of prevention and liquidation of emergency situations at the risk of loss of life in fires. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezопасnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry.* 2018. № 1. pp. 73–76. (In Russ.).

3. On the protection of the population and territories from natural and technogenic emergencies: Federal Law of December 21, 1994 № 68-FZ. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/) (accessed: April 7, 2022). (In Russ.).

4. On the federal state supervision in the field of protection of the population and territories from the emergency situations:

Decree of the Government of the Russian Federation of June 25, 2021 № 1013. Available at: <https://base.garant.ru/401423166/> (accessed: April 7, 2022). (In Russ.).

5. On the unified state system for the prevention and elimination of emergency situations: Decree of the Government of the Russian Federation of December 30, 2003 № 794. Available at: <https://base.garant.ru/186620/#friends> (accessed: April 7, 2022). (In Russ.).

6. Besperstov D.A., Popova E.A., Saybel S.Yu. Modes of the operation and levels of response of the unified state system of prevention and liquidation of the emergency situations. *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii: materialy V Mezhdunar. nauch. konf. FGBOU VO «Kemerovskiy tekhnologicheskii institut pishchevoy promyshlennosti (universitet)»* (Food Innovations and Biotechnologies: Materials of the Fifth International Scientific Conference of FGBOU VO Kemerovo technological institute of food industry (university). Kemerovo, 2017. pp. 687–689. (In Russ.).

7. Prevention of the emergency situations. Available at: <https://42.mchs.gov.ru/deyatelnost/napravleniya-deyatelnosti/grazhdanskaya-zashchita/3-preduprezhdenie-chrezvychaynyh-situatsiy> (accessed: April 7, 2022). (In Russ.).

8. On the classification of natural and technogenic emergencies: Decree of the Government of the Russian Federation of May 21, 2007 № 304. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_68490/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68490/) (accessed: April 7, 2022). (In Russ.).

9. Golik E.S., Afanaseva O.V. Theory and methods of the statistical forecasting: textbook. Saint-Petersburg: Izd-vo SZTU, 2007. 182 p. (In Russ.).

10. Gnedenko B.V. A course in the probability theory. Moscow: Nauka, 1988. 455 p. (In Russ.).

11. On the State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation: Federal Law of July 31, 2020 № 248-FZ. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_358750/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/) (accessed: April 7, 2022). (In Russ.).

12. Methodological recommendations for conducting hazard analysis and risk assessment of accidents at the coal mines: Order of Rostekhnadzor of June 5, 2017 № 192. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456073585?marker=7D20K3> (accessed: April 7, 2022). (In Russ.).

13. Hand in Hand Fire & Life Insurance Society. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hand\\_in\\_Hand\\_Fire\\_%26\\_Life\\_Insurance\\_Society](https://en.wikipedia.org/wiki/Hand_in_Hand_Fire_%26_Life_Insurance_Society) (accessed: April 7, 2022).

14. Bagli C.V. Insurers Agree to Pay Billions at Ground Zero. Available at: URL: <https://www.nytimes.com/2007/05/23/nyregion/23cnd-insure.html> (accessed: April 7, 2022).

15. HM Government. Emergency Response and Recovery. Available at: <https://web.archive.org/web/20070606232027/http://www.ukresilience.info/upload/assets/www.ukresilience.info/emergresponse.pdf> (accessed: April 7, 2022).

*Received June March 16, 2022  
In Final Form — April 12, 2022*

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Проблемы управления рисками в техносфере (научно-аналитический журнал)

**Танклевский Л.Т., Бабинов И.А., Танклевский А.Л. Об оценке достоверности обнаружения возгорания. — 2021. — № 3. — С. 28–33.**

Рассмотрена проблема надежности установления факта возгорания в помещении системой пожарной сигнализации путем одновременного использования извещателей пламени и дымовых пожарных извещателей с учетом отсеивания ложных срабатываний. Изложен принцип работы такой системы и приведены математические выражения для оценки вероятности ее успешного срабатывания с учетом восстановления в случае отказов.

**Андрюшкин А.Ю., Мещеряков С.А., Кадочникова Е.Н. Оценка эффективности теплозащитного экрана с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы и теплоотводящими каналами. — 2021. — № 3. — С. 33–38.**

Представлены результаты локализации интенсивных тепловых потоков многослойными теплозащитными экранами с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы. Обоснована эффективность применения в многослойных теплозащитных экранах с теплоизоляционным наполнителем

теплоотводящих каналов. Показано, что эффективность охлаждаемых теплозащитных экранов в несколько раз выше аналогичного неохлаждаемого теплозащитного экрана.

**Иванов К.С., Реснянский С.Г., Широухов А.В. Метод повышения долговечности трибологических пар в механизмах. — 2021. — № 3. — С. 39–45.**

Представлен метод повышения ресурса трущихся деталей машин, подвергающихся абразивному изнашиванию. На основе анализа следов механического взаимодействия деталей и характера абразивного изнашивания разработана динамическая модель, по которой определяется необходимый материал изготовления трибологической пары для повышения долговечности работы деталей машин.

**Винокуров В.А., Новохатка И.С. Чрезвычайные ситуации антропогенного характера: понятие и содержание. — 2021. — № 3. — С. 116–121.**

Рассмотрены нормативные правовые акты, касающиеся понятия антропогенного фактора в контексте чрезвычайных ситуаций, выделены его особенности, проведены параллели со смежными по смысловому значению терминами, разобраны различные подходы к их толкованию. Сформулированы определения понятия «чрезвычайная ситуация антропогенного характера (антропогенная чрезвычайная ситуация)» и «антропогенный фактор». Подготовлены предложения по закреплению в законодательстве указанных терминов.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-57-62

УДК 504.4:622

© Коллектив авторов, 2022

# Обеспечение экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий



**М.М. Хайрутдинов,**  
канд. техн. наук,  
руководитель направления,  
profmarat@gmail.com

Itasca Consultants GmbH,  
Гельзенкирхен, Германия



**П.А. Каунг,**  
канд. техн. наук,  
докторант



**З.Я. Чжо,**  
канд. техн. наук,  
докторант



**Ю.С. Тюлева,**  
студент магистратуры

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Определена концепция геотехнологии, с точки зрения экологической безопасности выявлены закономерности ее развития и последствия освоения георесурсов для природы и общества. Рассмотрены вопросы экологической безопасности современных технологий освоения георесурсов. Поставлены задачи, необходимые для решения при внедрении ресурсозобновляемых технологий, реализация которых позволит обеспечить максимальную экологическую безопасность. Предложено отдельные проектные решения освоения природных и техногенных месторождений оценивать с точки зрения максимальной экологической безопасности всей технологической схемы.

**Ключевые слова:** геотехнология, георесурсы, извлечение из недр, комплексное освоение, ресурсозобновляемые технологии, техногенные отходы, утилизация отходов, экологическая безопасность.

**Для цитирования:** Хайрутдинов М.М., Каунг П.А., Чжо З.Я., Тюлева Ю.С. Обеспечение экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 57-62.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-57-62

## Введение

Увеличение спроса на добываемое минеральное сырье ведет к интенсификации извлечения природных ресурсов, что влечет за собой их истощение с одновременным увеличением складированных техногенных отходов на поверхности [1].

В техногенных хранилищах отходы находятся в условно стабильном состоянии. В результате длительного хранения они активируются, в техногенных массивах происходят различные геохимические процессы, образуются новые техногенные элементы, которые выносятся за пределы техногенных хранилищ, оказывая негативное влияние на экологию и попадая в среду обитания человека [2].

Ввиду того, что срок существования техногенных накоплений неограничен, а разложение и преобразование техногенных отходов во времени бесконечны, то мультипликативный ущерб от их складирования и хранения на поверхности впоследствии можеткратно превысить ценность извлекаемых полезных компонентов [3]. До настоящего времени основной

способ утилизации техногенных отходов — их применение в твердеющих смесях [4, 5].

Накопление техногенных отходов идет параллельно с истощением природных запасов, ограниченностью и невозполнимостью минерально-сырьевой базы. Ввиду снижения среднего содержания полезного компонента в природных месторождениях и сопоставимости с ними по объемам и содержанию полезных компонентов в техногенных накоплениях целесообразно отнести техногенные образования к техногенным месторождениям [6].

Примерный объем запасов техногенных образований Южного Урала представлен в табл. 1.

Содержание полезных компонентов в техногенных образованиях Южного Урала представлено в табл. 2, а химический состав металлургических шлаков — в табл. 3.

Техногенные отходы горнодобывающих, обогатительных и металлургических производств имеют в своем составе полезные компоненты и являются техногенными георесурсами. В условиях увеличения

Таблица 1

Обогатительная фабрика	Содержание элементов					
	Медь, тыс. т	Цинк, тыс. т	Сера, тыс. т	Железо, тыс. т	Золото, т	Серебро, т
Сибайская	34,5	90,0	3650	5900	13,9	344,0
Учалинская	90,0	257,0	6300	8050	16,5	232,0
Бурибаевская	25,0	11,6	1410	1280	6,6	56,8
Гайская	120,0	92,0	10 600	5550	32,0	160,0
Всего	269,5	450,6	21 960	20 780	69,0	792,8

Таблица 2

Обогатительная фабрика	Содержание элементов					
	Медь, %	Цинк, %	Сера, %	Железо, %	Золото, г/т	Серебро, г/т
Сибайская	0,21	0,50	22,7	32,7	0,85	18,5
Учалинская	0,22	0,63	23,1	29,5	0,60	8,5
Бурибаевская	0,45	0,21	25,6	23,1	1,20	10,3
Гайская	0,30	0,23	26,6	13,9	0,70	4,0

Таблица 3

Металлургический комбинат	Химический состав металлургических шлаков, %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	SO <sub>3</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Другие
Чусовской	31,1	10,2	50,6	4,3	1,4	0,2	—	—	—	2,2
Орско-Халиловский	34,5	8,5	47,2	3,1	—	2,9	2,3	1,4	1,9	0,5
Челябинский	39,6	9,3	41,0	6,9	0,1	0,5	0,4	—	—	2,2
Медногорский	37,0	12,1	35,4	8,9	1,6	1,8	0,6	—	—	2,6
Череповецкий	30,9	11,1	41,9	11,4	0,7	1,1	—	0,5	0,6	1,8
Западно-Сибирский	33,7	17,1	27,5	15,7	2,3	—	1,2	0,9	—	1,6
Нижнетагильский	35,3	16,8	38,0	5,8	1,1	—	0,7	0,9	—	1,4
Новолипецкий	33,6	17,4	40,0	5,9	1,7	—	0,9	—	0,4	0,1
Нижнетагильский <sup>1</sup>	30,9	19,0	29,9	9,7	0,5	—	0,4	0,7	—	9,9

<sup>1</sup> Ванадиевый передел.

потребительского спроса на добываемое сырье необходимо повысить требования к полноте и комплексности использования минерально-сырьевой базы и разработать новый научно-методологический подход к комплексному освоению недр и их сохранению [7].

Без сохранения природного разнообразия Земли, сбережения богатств ее недр, строгого контроля экологического состояния невозможны развитие общества, рост его благосостояния и формирование здорового поколения. В данных условиях важнейший вектор повышения эффективности горнодобывающих и перерабатывающих производств — обеспечение экологической безопасности.

#### От идеи комплексного освоения до ресурсозобновляемых технологий

Обеспечение экологической безопасности в последнее время выступает парадигмой развития общества. При этом экологическая безопасность, сохраняя традиционные комплексные меры, исключая воздействия горнодобывающих и перерабатывающих производств на экологию, должна способствовать внедрению ресурсозобновляемых технологий, восполняющих и увеличивающих минерально-сырьевую базу при комплексности ее освоения.

Идея внедрения ресурсозобновляемых технологий не является новой. В 1923 г. акад. А.Е. Ферсманом выдвинута «комплексная идея» разработки полезных ископаемых. Позднее, ввиду высокой значимости горнодобывающей отрасли в СССР, такая идея получила развитие в векторе комплексного освоения месторождений [8]. В продолжение данных работ предложена новая классификация ресурсов, в которую помимо природных вошли и техногенные, сформированные в ходе ведения горных работ и переработки горного сырья [9]. Далее в исследованиях [10] углублено представление о комплексном освоении недр и введены новые термины: ресурсозобновляемые технологии, ресурсозобновляемые функции горного производства и фактически выявленные ресурсы недр.

Последующее развитие идей комплексного освоения недр и ресурсозобновляемых технологий отражено в работе [11] и связано с тем, что недр воспринимаются многоцелевым, постоянно изменяющимся техногенным ресурсом. Далее в [12, 13] освоение недр подразумевает любую форму их преобразования в ходе извлечения полезного ископаемого и реализации различных мероприятий, связанных с извлечением. Одновременно с комплексным ис-

пользованием георесурсов в работах делается упор на сохранение экологического баланса среды.

В современном научном представлении комплексное освоение недр подразумевает интегральное наличие двух неразрывно связанных условий. Это организация производства продукции, исключая (минимизирующая) образование отходов и определяющая применение промежуточных продуктов (техногенных георесурсов) в замкнутом цикле освоения природных и техногенных георесурсов; освоение георесурсов посредством ресурсовозобновляемых технологий при рациональном сочетании традиционных физико-технических и нетрадиционных физико-химических технологий.

В этой связи основным направлением комплексного освоения георесурсов является выбор технологий, исключающих трансформационное вырождение территорий, деградацию атмосферы и гидросферы в горно-металлургическом регионе при сокращении объемов образования и складирования твердых и жидких техногенных отходов горно-обогажительного и металлургического производств.

Новая развернутая система знаний [14], представляющая возможность создания технологий и применения способов управляемой техногенной трансформации недр при их комплексном освоении и сохранении, не в полной мере отражает экологическую безопасность горно-металлургического производства. С учетом этого необходимо определить новую концепцию геотехнологии — установление закономерностей совершенствования горнотехнических систем с последствиями управляемой техногенной трансформации недр при их комплексном освоении и с учетом экологической безопасности для природы и общества.

#### **Комплексное освоение георесурсов через призму экологической безопасности**

В свете изменившейся концепции геотехнологии подвергается новому восприятию философия комплексного освоения недр, которая предполагает:

сохранение традиционного представления об исчерпаемости (невозобновляемости) природных ресурсов недр, что требует внедрения технологий управляемого техногенного преобразования недр с учетом того, что они являются местом скопления взаимосвязанных георесурсов различных видов и назначений;

признание минерально-сырьевой базы предприятия пополняемой (неисчерпаемой) ввиду ее постоянного прироста за счет вовлечения в отработку забалансовых и техногенных георесурсов и использования их ранее неизвестных полезных свойств по мере появления, расширения и внедрения новейших технологий;

изменение подхода к развитию геотехнологии, предполагающего отказ от монотехнологий в добыче и переработке георесурсов и внедрение ресурсо-

зобновляемых технологий, пропагандирующих их комплексное освоение;

учет техногенных образований при изучении горных объектов и технологических процессов с четким пониманием закономерностей их взаимодействия с природными геосистемами и общего влияния их комплексного освоения на экосистему;

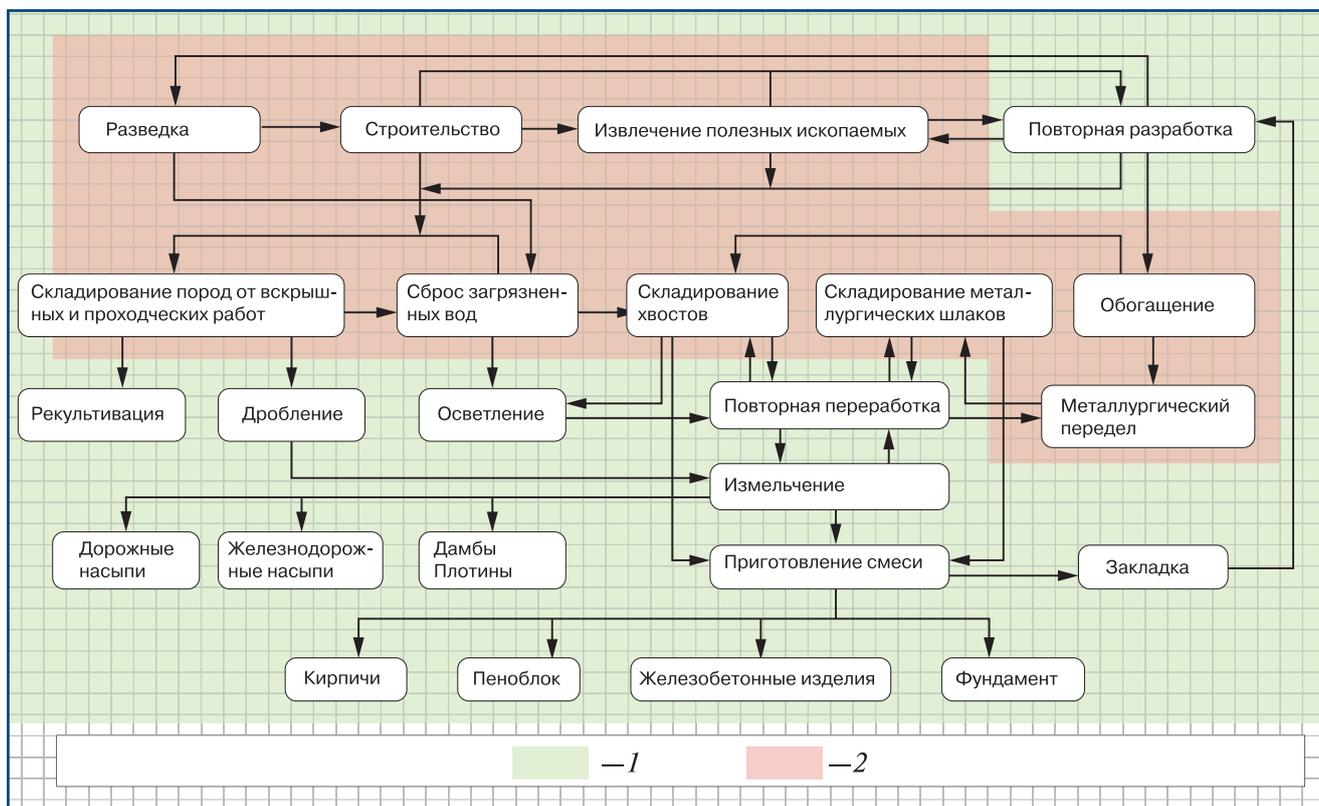
поддержание традиционного использования недр для извлечения полезного ископаемого и утилизации техногенных отходов с воссозданием и преумножением их полезных качеств, с одновременным переходом к сохранению минерального разнообразия недр и снижению вероятности возникновения экологической угрозы.

Экологическая безопасность возможна только при вовлечении в одновременную промышленную отработку природных и техногенных георесурсов. Эффективное промышленное освоение указанных минеральных ресурсов необходимо сочетать с традиционными физико-техническими технологиями на основе открытого и подземного способов и нетрадиционной физико-химической геотехнологией.

Внедрение ресурсовозобновляемых технологий, позволяющих качественно повысить экономическую эффективность и экологическую безопасность, предполагает: использование технологического пространства карьеров и отработанных блоков (камер) для осуществления процессов физико-химической геотехнологии; применение для вскрытия некондиционных запасов ранее пройденных открытых и подземных выработок; использование минерализованных горнопромышленных стоков в качестве активатора растворения ценных компонентов; применение техногенных отходов после глубокой переработки в геотехнологии с закладкой выработанного подземного пространства; использование техногенных отходов после глубокой переработки для производства продукции, не сопряженной с горнопромышленным сектором.

Все эти меры позволяют снизить кондиционный порог вовлекаемых в освоение природных и техногенных георесурсов, получить дополнительный товарный продукт, утилизировать после глубокой переработки техногенные отходы, что в общей сложности усилит финансовую эффективность горно-перерабатывающего предприятия и обеспечит высокую экологическую безопасность.

Для повышения экологической безопасности и увеличения полноты и комплексности освоения георесурсов необходимо на стадии проектирования горно-перерабатывающего комбината сформировать единый комплекс по добыче, обогащению, металлургическому переделу, глубокой переработке руд и техногенных георесурсов. Схема организации полного цикла горно-перерабатывающего производства приведена на рисунке (здесь 1 — зона экологической безопасности; 2 — зона влияния горно-перерабатывающего производства на экологию).



▲ **Схема организации полного цикла горно-перерабатывающего производства**  
 ▲ **Scheme of organizing the full cycle of mining and processing production**

Организация полного цикла горно-перерабатывающего производства одновременно с эксплуатацией балансовых природных запасов месторождения традиционными физико-техническими технологиями позволяет вовлечь: в освоение забалансовые природные запасы обедненных руд; в отработку руды сложного вещественного состава, расположенные как в недрах, так и в отвалах; в повторную отработку техногенные георесурсы обогатительного и металлургического производств методами физико-химических технологий.

Исследования по дополнительному извлечению полезного компонента из техногенных отходов (отходы обогатительной фабрики Гайского горно-обогатительного комбината и металлургических шлаков Западно-Сибирского металлургического комбината) проводились с использованием активационной обработки (2) и без нее (1) (табл. 4). Исследуемое техногенное сырье орошали рабочим раствором со-

ляной кислоты дифференциальной концентрации. Результаты анализа продемонстрировали уменьшение конечного содержания металлов в техногенных отходах. В целях получения более достоверных результатов по каждому виду исследуемых отходов проводили эксперименты, средние значения которых вынесены в табл. 4.

При этом необходимо принять во внимание ряд ограничений применения физико-химических технологий, существенно снижающих промышленную и экологическую безопасность.

Механохимическая технология повторной переработки и рационального применения техногенных отходов обогатительного и металлургического производств с точки зрения достижения максимальной экологической безопасности является наиболее перспективной. Она комбинирует механический и химический методы в активационной установке или дезинтеграторе.

Таблица 4

Металл	Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %, при экспериментах															
	4		6		8		10		12		16		20			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Цинк	8,7	16,8	17,7	27,2	26,2	36,6	30,4	61,0	36,7	63,9	39,0	76,0	42,4	81,8		
Железо	13,3	26,2	18,9	43,4	24,1	53,7	27,4	62,8	30,2	71,9	33,4	76,0	36,0	80,2		
Медь	20,1	32,3	31,4	47,5	42,3	58,0	47,0	71,8	53,1	75,1	56,9	85,2	60,9	89,9		
Алюминий	12,3	26,1	18,0	33,5	23,4	43,7	26,9	54,9	30,1	62,0	33,2	66,0	36,0	70,2		
Магний	6,7	10,7	12,7	18,6	20,6	26,5	24,4	30,8	28,7	34,3	31,9	39,9	36,3	45,8		

Использование активационных установок в ресурсовозобновляемой технологии исключает непосредственный контакт агрессивных растворителей и продуктивных растворов с окружающей средой ввиду того, что растворение и улавливание происходят непосредственно в дезинтеграторе, что минимизирует нарушение экологического баланса.

После извлечения полезного компонента из техногенного сырья (отходов обогатительного и металлургического производств) техногенные отходы могут быть использованы без ограничений по санитарно-экологическим и технологическим критериям.

Принцип экологической безопасности обязывает входить в практику освоения месторождений при комплексности использования природных ресурсов и последующей переработке сырья. Обязательное внедрение данного принципа позволит применить инновационные технологические решения добычи, переработки и глубокой утилизации георесурсов при требуемой адаптации к горно-геологическим условиям разрабатываемого месторождения и необходимому учету особенностей вещественно-минерального состава руд и химического состава техногенных отходов.

#### Заключение

Для высокоэффективного внедрения ресурсовозобновляемых технологий при комплексности освоения георесурсов необходимо на стадии проектирования горно-перерабатывающего предприятия учитывать требования экологической безопасности.

Реализация требований экологической безопасности при комплексном освоении природных георесурсов и вовлечении в повторную переработку и промышленное применение техногенных георесурсов становится возможной только на принципах парадигмального подхода к исследованию и внедрению инновационных технологических решений. При этом отдельно взятая технологическая задача не может являть собой обособленный, законченный субъект, а рассматривается как отдельный элемент единой технологической схемы горнодобывающего предприятия в целом.

Экологическая безопасность отдельных проектных решений освоения природных и техногенных месторождений должна оцениваться с точки зрения максимальной экологической безопасности всей технологической схемы горно-металлургического предприятия в рамках единой ресурсовозобновляемой технологии.

#### Список литературы

1. *Бесцементные* закладочные смеси на основе водорастворимых техногенных отходов/ М.М. Хайрутдинов, Ч.Б. Конгар-Сюрюн, Ю.С. Тюляева, А.М. Хайрутдинов// Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. — № 11. — С. 30–36. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2883
2. *Ensuring the Environmental Safety of MSW by Using Fiber Optical Sensors Based on Oxyfluoride Glasses*/ D.S. Agafonova,

D. Sherimov, A.O. Belorus et al.// 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus. — 2021. — P. 1298–1300. DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396230

3. *Khairutdinov A., Ubysz A., Adigamov A.* The concept of geotechnology with a backfill is the path of integrated development of the subsoil// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 684 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012007

4. *Формализация* процесса выбора технологий отработки месторождений полезных ископаемых/ П.А. Каунг, В.В. Зотов, М.А. Гаджиев и др.// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2022. — № 2. — С. 124–138. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_2\_0\_124

5. *Прогнозирование* геомеханического состояния массива при отработке соляных месторождений с закладкой/ Я. Рыбак, М.М. Хайрутдинов, Д.А. Кузиев и др.// Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — № 1. — С. 61–70. DOI: 10.31897/PMI.2022.2

6. *Geotechnology* using composite materials from man-made waste is a paradigm of sustainable development/ Ch. Kongar-Syuryun, A. Ivannikov, A. Khayrutdinov, Y. Tyulyaeva// Materials Today: Proceedings. — 2021. — Vol. 38. — P. 2078–2082. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.145

7. *Голик В.И.* Технологии выщелачивания металлов — путь реанимации горного производства Осетии// Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — № 2 (44). — С. 273–282. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-273-282

8. *Мельников Н.В.* Проблемы использования природных ресурсов. — М.: Изд-во АН СССР, 1967. — 53 с.

9. *Агошков М.И.* Развитие идей и практики комплексного освоения недр. — М.: ИПКОН АН СССР, 1982. — 19 с.

10. *Трубецкой К.Н.* Развитие новых направлений в комплексном освоении недр. — М.: ИПКОН, 1990. — 11 с.

11. *Kaplunov D.R.* Problems of planning theory for developing bowels with underground mining of ore deposits// Journal of Mining Science. — 1999. — № 35. — P. 286–290.

12. *The effectiveness* of combining the stages of ore fields development/ V. Golik, V. Komashenko, V. Morkun, Z. Khasheva// Metallurgical and Mining Industry. — 2015. — Vol. 7. — № 5. — P. 401–405.

13. *Рыльникова М.В., Радченко Д.Н.* Разработка комбинированных геотехнологий полного цикла комплексного освоения месторождений с формированием систем управления потоками природного и техногенного сырья// Проблемы недропользования. — 2014. — № 3 (3). — С. 105–112.

14. *Трубецкой К.Н.* Междисциплинарные направления и задачи горных наук для решения проблем освоения недр земли в XXI веке// Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 4. — С. 7–12.

profmarat@gmail.com

Материал поступил в редакцию 25 марта 2022 г.

Доработанная версия — 30 мая 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 57–62.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-57-62

### Ensuring Environmental Safety in the Implementation of the Resource-renewable Technologies

M.M. Khayrutdinov, Cand. Sci. (Eng.), Head of the direction, profmarat@gmail.com

Itasca Consultants GmbH, Gelsenkirchen, Germany

P.A. Kaung, Cand. Sci. (Eng.), Ph.D. Candidate

Z.Ya. Chzho, Cand. Sci. (Eng.), Ph.D. Candidate

Yu.S. Tyulyaeva, Student

NUST«MISiS», Moscow, Russia

#### Abstract

Theoretical and experimental studies carried out by the scientists in the field of mining development as a science are summarized. It is noted that any science, including geotechnology, is not a constant, absolute, and static value. It is noticed that the scientific picture of mining as a science is created by combining disparate scientific concepts and principles into a single whole, generalizing previously obtained knowledge and giving a common vector of ideas about the patterns and properties of reality. The unifying vector of its development from simple extraction from the subsoil towards renewable resource technologies is analyzed. The conditions are revealed, the integral presence and inseparable connection of which predetermines the concept of the georesources integrated development. The concept of geotechnology is defined from the point of view of the environmental safety, as well as the patterns of its development and the consequences of the georesources for nature and society. Measures are indicated that can significantly increase the economic efficiency and environmental friendliness of mining operations and contribute to the introduction of the resource renewable technologies in the integrated development of georesources. Issues of the environmental safety of modern technologies for the georesources exploitation are considered. The tasks are set that are required for the solution at introduction of the resource renewable technologies, which implementation will allow to provide the maximum ecological safety. The principle of environmental safety is determined, which must enter into the practice of deposit development with the integrated use of natural and technogenic georesources. It is proposed to evaluate the individual design solutions for the development of natural and technogenic deposits from the point of view of maximum environmental safety of the entire technological scheme of a mining enterprise.

**Key words:** geotechnology, georesources, extraction from the bowels, comprehensive exploitation, resource-renewable technologies, industrial waste, waste disposal, environmental safety.

#### References

1. Khayrutdinov M.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Tyulyaeva Yu.S., Khayrutdinov A. Cementless Backfill Mixtures Based on Water-Soluble Manmade Waste. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2020. Vol. 331. № 11. pp. 30–36. (In Russ). DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2883
2. Agafonova D.S., Sherimov D., Belorus A.O., Plesha-nov I.M., Timchenko A.V. Ensuring the Environmental Safety of MSW by Using Fiber Optical Sensors Based on Oxyfluoride Glasses. 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus. 2021. pp. 1298–1300. DOI:10.1109/EIConRus51938.2021.9396230
3. Khairutdinov A., Ubysz A., Adigamov A. The concept of geotechnology with a backfill is the path of integrated development of the subsoil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 684 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012007
4. Kaung P.A., Zotov V.V., Gadzhiev M.A., Artemov S.I., Gireev I.A. Formalization of selection procedure of mineral mining technologies. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten = Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022. № 2. pp. 124–138. (In Russ). DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_2\_0\_124
5. Rybak Ya., Khayrutdinov M.M., Kuziev D.A., Kongar-Syuryun Ch.B., Babyr N.V. Prediction of the geomechanical state of the rock mass when mining salt deposits with stowing. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 253. № 1. pp. 61–70. (In Russ). DOI: 10.31897/PMI.2022.2
6. Kongar-Syuryun Ch., Ivannikov A., Khayrutdinov A., Tyulyaeva Y. Geotechnology using composite materials from man-made waste is a paradigm of sustainable development. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 38. pp. 2078–2082. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.145
7. Golik V.I. Metal Leaching Technologies — the Way of Reanimation of Mining Ossetia. *Ustoychivoe razvitie gornykh territoriy = Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. Vol. 12. № 2 (44). pp. 273–282. (In Russ). DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-273-282
8. Melnikov N.V. The problems of natural resources use. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1967. 53 p. (In Russ).
9. Agoshkov M.I. Development of the ideas and practice of the integrated subsoil development. Moscow: IPKON AN SSSR, 1982. 19 p. (In Russ).
10. Trubetskoy K.N. New directions development in the subsoil integrated development. Moscow: IPKON, 1990. 11 p. (In Russ).
11. Kaplunov D.R. Problems of planning theory for developing bowels with underground mining of ore deposits. *Journal of Mining Science*. 1999. № 35. pp. 286–290.
12. Golik V., Komashenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7. № 5. pp. 401–405.
13. Rylnikova M.V., Radchenko D.N. Development of Combined Mining Technologies for Full Cycle of Comprehensive Exploitation Mineral Resources' Deposits with Mineral Material Flows Management Systems. *Problemy nedropolzovaniya = Subsoil use problems*. 2014. № 3 (3). pp. 105–112. (In Russ).
14. Trubetskoy K.N. Interdisciplinary directions and tasks of mining sciences for solving the problems of the development of bowels of the earth in the twenty first century. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten = Mining informational and analytical bulletin*. 2008. № 4. pp. 7–12. (In Russ).

Received June March 25, 2022  
In Final Form — May 30, 2022

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-63-68

УДК 614.844

© Коллектив авторов, 2022

# Противопожарная защита резервуаров с метанолом самовспенивающейся газоаэрозоленасыщенной пеной



**Н.П. Копылов,**  
д-р техн. наук, проф.,  
гл. науч. сотрудник,  
np.nanpb@mail.ru



**С.Н. Копылов,**  
д-р техн. наук, гл. науч.  
сотрудник



**Д.В. Федоткин,**  
канд. техн. наук, доцент,  
начальник отдела



**Е.Ю. Сушкина,**  
канд. техн. наук,  
вед. науч. сотрудник

ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, Россия

Проанализированы физико-химические и теплофизические свойства метанола, существенно влияющие на обеспечение противопожарной защиты резервуаров для его хранения. Определены условия проведения экспериментальных работ по тушению пожаров метанола пенными средствами. Получено значение нормативной интенсивности подачи самовспенивающейся газоаэрозоленасыщенной пены для тушения пожара метанола в резервуаре. Для противопожарной защиты резервуаров с метанолом рекомендовано задействовать автономную установку пожаротушения с использованием твердотопливных генераторов давления.

**Ключевые слова:** метанол, физико-химические свойства, теплофизические свойства, горение метанола, тушение метанола, самовспенивающаяся газоаэрозоленасыщенная пена, установка импульсного пожаротушения.

**Для цитирования:** Копылов Н.П., Копылов С.Н., Федоткин Д.В., Сушкина Е.Ю. Противопожарная защита резервуаров с метанолом самовспенивающейся газоаэрозоленасыщенной пеной // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 63–68. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-63-68

## Введение

В различных отраслях промышленности широко распространены пожароопасные полярные жидкости, среди которых особое место занимает метанол. Главные области его применения — производство формальдегида и высокооктановой добавки к моторному топливу. Метанол используется в изготовлении синтетических каучуков, уксусной кислоты, метилметакрилата, пластмасс, растворителей и др. [1]. В газовой сфере метанол помогает в борьбе с гидратообразованием и частично выступает как реагент для осушки природного газа [2].

Как отмечено в публикации [3], нормативная документация по проектированию, изготовлению, строительству, ремонту и защите наземных резервуаров для хранения метанола в основном та же, что и для горючих жидкостей (ГЖ) и легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) (этанол, бензин, бензол, ацетон, толуол и др.). Однако физические и химические свойства метанола уникальны и отличаются от свойств других ГЖ, хранящихся в резервуарах. Его предельно допустимая концентрация в воздухе рабо-

чей зоны производственных помещений составляет  $5 \text{ мг/м}^3$ .

Важная характеристика данного соединения — широкий диапазон воспламеняемости с верхним пределом  $35,5 \%$  об. (у бензина он равен  $6-7 \%$  об.), поэтому пары метанола могут воспламениться и гореть внутри парового пространства резервуара. Коррозионная активность — еще одно отрицательное свойство метанола. Это проводящий полярный растворитель, в то время как бензин, наоборот, непроводящий неполярный [3]. Гальваническая коррозия и коррозия контактирующих разнородных металлов (особенно свинец, алюминий, магний, медь, цинк) в метаноле могут быть очень высокими. В [3] приведен пример, когда в результате коррозии пламегасителя, изготовленного из алюминия, пожар в резервуаре с метанолом не был потушен.

Высокая токсичность метанола при вдыхании его паров, попадании внутрь организма перорально или через кожный покров сильно усложняет условия хранения, использования данного соединения, а также тушения его возгораний.

В отечественной нормативной литературе практически отсутствуют требования по тушению пожаров метанола в резервуарах. Единственный легитимный документ рекомендательного характера по тушению пожаров полярных жидкостей в резервуарах — методические рекомендации [4].

Цели статьи: анализ литературных и экспериментальных данных по тушению пожаров метанола пенными средствами и разработка способа противопожарной защиты резервуаров с метанолом с использованием самовспенивающейся газоаэрозольнаполненной пены (СПП).

#### Анализ данных по тушению пожара метанола пенными средствами

Метанол поглощает влагу из воздуха. Если резервуары с метанолом находятся в регионе с характерной высокой относительной влажностью или в прибрежной морской зоне, то в результате их циклического опорожнения и заполнения метанол начнет высушивать воздух в паровом пространстве резервуара и самовоспламеняться. Для устранения этого эффекта в [3] рекомендовано заполнять паровое пространство резервуара инертным газом, таким как аргон или азот, или сухим природным газом. В отечественной практике используется создание так называемой азотной подушки. Набивка инертным газом снижает, но не исключает необходимости контроля источников воспламенения. Кроме того, она защищает человека от возможного воздействия токсичных паров метанола в окрестности резервуара.

Для тушения пожара метанола можно использовать:

огнетушащую пену, получаемую из спиртоустойчивых пенообразователей (СП) типа AFFF/AR, FFFP/AR, S/AR;

порошковые, углекислотные огнетушители (для небольших проливов метанола);

распыленную воду, компактные водяные струи.

Для каждого огнетушащего вещества (ОВВ), используемого для тушения метанола, необходимо определить расходные характеристики, и прежде всего нормативную интенсивность подачи.

При пенном тушении с применением современных СП не требуется разбавление полярных жидкостей водой (до появления СП тушение полярных жидкостей, включая метанол, проводилось методом разбавления [5]). В [6, 7] отмечено, что температура вспышки метанола зависит от содержания в нем воды. Экспериментально установлено, что водные растворы метанола воспламеняются при объемном содержании воды примерно до 65 % при нормальной комнатной температуре. В [8, 9] с использованием теоретического расчета показано, что 75%-ное разбавление метанола водой соответствует температуре вспышки 35 °С. С другой стороны, в экспериментах, описанных в [6], тушение метанола достигалось уже при 87,5 % содержания воды. В связи с этим можно отметить, что метанол, разбавленный водой на 75 %,

легко воспламеняется от более крупного источника зажигания, например, небольшой горелки или неостывшего борта резервуара. Указанное следует учитывать при анализе экспериментальных данных по определению критической интенсивности при пенном тушении метанола.

Известно, что устойчивость пены существенно влияет на эффективность тушения ею. Этот параметр характеризуется количеством раствора пенообразователя, сохраняющегося в пене в течение определенного времени. Чем медленнее обезвоживается пена, тем выше ее устойчивость и, следовательно, огнетушащая эффективность.

В [4] для СП типа AFFF/AR предложено установить универсальную нормативную интенсивность подачи пены (по раствору пенообразователя) со следующими значениями:

пена низкой кратности — 0,13 л/(м<sup>2</sup>·с) для «мягкой» подачи и 0,2 л/(м<sup>2</sup>·с) для «жесткой»;

пена средней кратности — 0,06 л/(м<sup>2</sup>·с) и 0,1 л/(м<sup>2</sup>·с) соответственно для «мягкой» и «жесткой» подачи.

Универсальность нормативной интенсивности в том, что приведенные выше значения этого параметра распространяются на полярные жидкости, хранящиеся в резервуарах: ацетон, ацетонитрил, бутилацетат, гидразингидрат, дециловый спирт, диэтиловый эфир, масляный альдегид, метиловый спирт, метилацетат, метил-трет-бутиловый эфир, муравьиная кислота, этиловый спирт, этилкарбитол.

Принцип универсальности, заложенный в [4], вряд ли обоснован, потому что, во-первых, устойчивость пены сильно зависит от физико-химических свойств полярной жидкости. Во-вторых, для тушения полярных жидкостей существует несколько типов пенообразователей, следовательно, для них установлены свои показатели интенсивности подачи пены. В-третьих, важнейшим остается вопрос методического обеспечения экспериментального определения значений нормативной интенсивности.

В настоящее время выполнен цикл исследований по тушению видов спиртосодержащего моторного топлива. Изучен процесс их тушения на малоразмерных экспериментальных установках в соответствии с ГОСТ Р 53280.1—2010\*. Опыт проведен с различными фторсодержащими СП типа AFFF/AR, AFFF/AR-LV, AFFF. Полученные результаты подтвердили предположение, что при тушении полярных жидкостей интенсивность подачи пены зависит от типа и конкретной марки пенообразователя. В [10] приведены данные по тушению различных полярных жидкостей пенообразователем «Универсальный П».

\* ГОСТ Р 53280.1—2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водорастворимых горючих жидкостей подачей сверху. Общие технические требования и методы испытаний. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200078686> (дата обращения: 01.04.2022).

Для метанола при тушении пеной низкой кратности критическая интенсивность составила 0,017 л/(м<sup>2</sup>·с), а оптимальная (нормативная) — 0,037 л/(м<sup>2</sup>·с). Наибольшая интенсивность среди спиртов получена для диметилэтилкарбинола: критическая — 0,065 л/(м<sup>2</sup>·с), оптимальная (нормативная) — 0,140 л/(м<sup>2</sup>·с). Эти показатели близки к значениям, указанным в [4].

Проведение испытаний с метанолом в полномасштабном резервуаре объемом 5000 м<sup>3</sup> — трудновыполнимая задача в силу токсичности соединения и невозможности создания водяной подушки в резервуаре из-за высокой растворимости метанола.

В России сертификационные испытания пенообразователей для тушения полярных жидкостей проводятся в соответствии с ГОСТ Р 53280.1—2010, где в качестве модельного горючего используется ацетон. Модельный очаг — круглый противень из стали низкой прочности. Его внутренний диаметр составляет 1480 мм, высота — 150 мм, толщина стенок — 2,5 мм. На противне предусмотрен стальной экран для сбора пены высотой 1000 мм, длиной 1000 мм, толщиной 2,5 мм. Для определения времени повторного воспламенения используется тигель с ручкой, изготовленный из стали низкой прочности, имеющий внутренний диаметр 300 мм, высоту 250 мм и толщину стенок 2,5 мм.

В соответствии с этой методикой в ФГБУ ВНИИ-ПО МЧС России в 2006 г. проведены эксперименты по определению критической интенсивности «мягкой» подачи пены при тушении метанола СП типа АFFF/AR (марки ПО-6ТФ-У, «Полярный — 3 %»), образующим пену низкой кратности. Площадь модельного очага пожара 1,73 м<sup>2</sup>, расход раствора пенообразователя 11,4 л/мин, интенсивность подачи 0,19 л/(м<sup>2</sup>·с). После тушения, длившегося 36 с, концентрация метанола снизилась с 94 до 76 % для ПО-6ТФ-У и с 88 до 74 % для «Полярный — 3 %».

Результаты экспериментов показали, что при выбранных методике испытаний и размере модельного очага (площадь 1,73 м<sup>2</sup>) в процессе тушения реализуется в первую очередь способ разбавления. Выше было показано, что пороговым значением тушения метанола выступает его разбавление до 65–87,5 %. Образование слоя пены предотвращает повторное воспламенение. С учетом этого следует ожидать, что интенсивность подачи 0,19 л/(м<sup>2</sup>·с) может оказаться недостаточной при тушении реальных резервуаров. Следовательно, методики определения критической интенсивности подачи пены на тушение метанола, изложенные в ГОСТ Р 53280.1—2010, дают заниженные результаты.

#### Экспериментальное исследование горения и тушения метанола

В [11] проанализированы условия выбора модельных очагов пожара для определения критической интенсивности подачи раствора пенообразователя при тушении ГЖ и ЛВЖ. Прежде всего необходимо

учитывать теплофизические характеристики ГЖ: тепловое излучение, скорость потери массы, скорость выделения тепла.

Излучение от пожара влияет не только на возможность распространения горения, но и на быстроту выгорания (потеря массы на испарение) топлива и, следовательно, на скорость выделения тепла.

По сравнению с бензином, дизельным топливом, гептаном и этанолом метанол имеет более низкую теплоту сгорания, но сгорает наиболее полно и образует мало сажи, которая обычно делает пламя светложелтым. Только 17 % тепла при горении метанола передается излучением, остальное — конвекцией, т.е. тепловой поток от факела пламени в окружающую среду и к поверхности горящего метанола менее интенсивен, чем у многих ГЖ.

Для различных диаметров резервуаров  $D$  в [7] предложено принимать скорость выгорания равной 0,015 кг/(м<sup>2</sup>·с) при  $D < 0,6$  м; 0,022 кг/(м<sup>2</sup>·с) при  $0,6 < D < 3,0$  м; 0,029 кг/(м<sup>2</sup>·с) при  $D > 3$  м. Относительно небольшое значение этого параметра (у бензина оно составляет 0,081 кг/(м<sup>2</sup>·с) [4]) в сочетании с низкой теплотой сгорания приводит к невысокой скорости выделения тепла с единицы площади. Согласно [6] при горении чистого метанола скорость выделения тепла достигает 400–500 кВт/м<sup>2</sup> (у бензина 2300 кВт/м<sup>2</sup>) для резервуаров площадью 1–7 м<sup>2</sup>.

Приведенные теплофизические характеристики показывают, что при исследовании тушения пожаров метанола в резервуарах модельные очаги должны иметь площадь более 3 м<sup>2</sup>.

В [11] при определении критической интенсивности подачи СГП при тушении метанола выбран модельный очаг пожара площадью 4,6 м<sup>2</sup> с толщиной борта 6 мм (как в резервуаре объемом 5000 м<sup>3</sup>), а не 1,73 м<sup>2</sup> с толщиной борта 2,5 мм, как указано в ГОСТ Р 53280.1—2010. Известно, что сильное влияние на эффективность тушения оказывает температура прогрева борта резервуара.

#### Технология противопожарной защиты резервуаров с метанолом самовспенивающейся газоаэрозоленополненной пеной

В [11] экспериментально получено среднее значение критической интенсивности  $J_{кр} = 0,11$  л/(м<sup>2</sup>·с). Удельный расход ОТВ составил  $q_{уд} = 13$  л/м<sup>2</sup>, а время подачи — 120 с при тушении метанола СГП «мягким» способом. По окончании процесса концентрация метанола в поддоне составила 87 %. Это свидетельствует, что тушение достигнуто не разбавлением, а покрытием СП. Отсюда можно заключить, что размер модельного очага горения выбран правильно. Нормативная интенсивность определяется как  $J_{н} = 2,3J_{кр}$ , а нормативный удельный расход  $q_{н,уд} = 2,3q_{уд}$ , где 2,3 — коэффициент безопасности. Следовательно, при тушении метанола СГП «мягким» способом  $J_{н} = 0,25$  л/(м<sup>2</sup>·с), что в 2 раза больше, чем рекомендовано в [4] ( $q_{н,уд} = 30$  л/м<sup>2</sup>). «Жесткий»

способ применения СГП для метанола оказался неэффективным [11]. На рис. 1 показаны результаты тушения СГП.

Технология тушения неполярных жидкостей в резервуаре объемом 5000 м<sup>3</sup> с использованием СГП в настоящее время хорошо отработана [12]. Ее применение нормативно закреплено в СП 155.13130.2014\*, созданы автономные твердотопливные установки пожаротушения в резервуарных парках, в том числе в арктической зоне. В них отсутствуют пеногенерирующие устройства, пена подается через трубу, что исключает отказ подачи из-за коррозии. Как показали натурные эксперименты, на практике при тушении пожара в резервуарах объемом менее 5000 м<sup>3</sup> реализуется «мягкий» способ подачи ОТВ. Струя пены, выходя из трубы, вмонтированной в борт резервуара заподлицо с его стенкой, попадает по диаметру в противоположный борт и растекается по поверхности горящего нефтепродукта (рис. 2). Тушение бензина происходит менее чем за 100 с.

С учетом обеспечения подачи СГП с определенными выше нормативной интенсивностью и удельным расходом предложенную технологию можно без каких-либо доработок использовать для тушения пожара метанола в резервуарах при времени подачи не более 120 с.

### Выводы

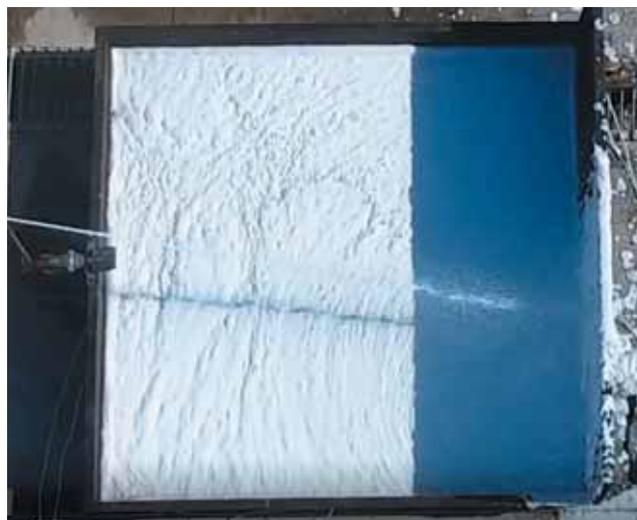
1. Метанол имеет ряд уникальных свойств (широкий диапазон воспламеняемости, коррозионная активность, токсичность), усложняющих обеспечение противопожарной защиты резервуаров, в которых он хранится.

2. В отечественной нормативной документации отсутствуют требования по проектированию систем противопожарной защиты резервуаров с метанолом.

3. Методика испытаний пенообразователей для тушения водорастворимых жидкостей, изложенная в ГОСТ Р 53280.1—2010, не может быть использована для определения критической интенсивности подачи пены на тушение из-за малых размеров модельного очага горения и толщины его стенок, а также некорректных условий подачи пены.

4. Определены теплофизические характеристики метанола при горении в зависимости от размеров резервуара. Выработаны рекомендации по экспериментальному определению критической интенсивности подачи растворов спиртоустойчивых пенообразователей при тушении метанола «мягким» способом.

\* СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948> (дата обращения: 01.04.2022).



▲ Рис. 1. Результаты тушения метанола СГП  
▲ Fig. 1. The results of methanol extinguishing using self-foaming gas-aerosol filled foam



▲ Рис. 2. Подача СГП в резервуар сверху  
▲ Fig. 2. Supply of the self-foaming gas-aerosol filled foam to the tank from above

5. Определены нормативные интенсивность подачи и удельный расход самовспенивающейся газоаэрозоленасыщенной пены при тушении пожара метанола в резервуаре.

6. Предложена технология противопожарной защиты резервуаров объемом 5000 м<sup>3</sup> и более с метанолом на основе автономных твердотопливных установок пожаротушения.

### Список литературы

1. Баркаев М.Р., Адамян В.Л. Производство, пожароопасность и применение метанола// Международный студенческий научный вестник. — 2018. — № 5. — С. 170–176.
2. Грунвальд А.В. Использование метанола в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования и прогноз его потребления в период до 2030 г.// Нефтегазовое дело. — 2007. — № 2. — С. 29–54.
3. Atmospheric Above Ground Tank Storage of Methanol// Methanol Safe Handling Technical Bulletin. URL: <https://www.>

methanol.org/wp-content/uploads/2016/06/AtmosphericAboveGroundTank StorageMethanol-1.pdf (дата обращения: 01.04.2022).

4. *Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах.* — М.: ФГУ ВНИИПО, 2007. — 58 с.

5. *Rasbash D.J., Rogovski Z.W., Stark G.W.V.* Mechanisms of Extinction of Liquid Fires and Water Sprays// *Combustion and Flame.* — 1960. — Vol. 4. — P. 223–234. DOI: 10.1016/S0010-2180(60)80026-0

6. *Evergen F.* proFLASH: Methanol fire detection and extinguishment. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1094660/FULLTEXT02> (дата обращения: 01.04.2022).

7. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.* — 5th Ed. — New York: Springer, 2016. — 3493 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0

8. *Methanol Safe Handling Manual.* — San Diego: Alliance Consulting International, 2008. — 104 p.

9. *Kung H.-C., Stavrianidis P.* Buoyant plumes of large-scale pool fires// *Symposium (International) on Combustion.* — 1982. — Vol. 19. — Iss. 1. — P. 905–912. DOI: 10.1016/S0082-0784(82)80266-X

10. *Тушение пламени полярных горючих жидкостей/ С.С. Воевода, В.П. Молчанов, А.Ф. Шароварников, Д.Л. Бастриков// Пожаровзрывобезопасность.* — 2012. — Т. 21. — № 6. — С. 69–73.

11. *Экспериментальное определение нормативной интенсивности тушения метанола самовспенивающейся газоэрозоленаполненной пеной/ Н.П. Копылов, Д.В. Федоткин, В.И. Безбородов, Б.В. Кононов// Пожарная безопасность.* — 2022. — № 1 (106). — С. 40–51. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2022.28.74.003

12. *Критический анализ и последние разработки в предупреждении и подавлении пожаров в крупных топливных резервуарах/ Н.П. Копылов, С.Н. Копылов, А.В. Карпов, Д.В. Федоткин// Тезисы докл. XV Всерос. симп. по горению и взрыву.* — Черноголовка: Институт проблем химической физики РАН, 2020. — С. 126–127.

np.nanpb@mail.ru

Материал поступил в редакцию 7 апреля 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 63–68.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-63-68

### Fire Protection of the Methanol Tanks with Self-foaming Gas-aerosol Filled Foam

**N.P. Kopylov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Chief Research Associate, np.nanpb@mail.ru

**S.N. Kopylov**, Dr. Sci. (Eng.), Chief Research Associate

**D.V. Fedotkin**, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department

**E.Yu. Sushkina**, Cand. Sci. (Eng.), Lead Researcher

**FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, Balashikha, Russia**

#### Abstract

Polar liquids including methanol are widely used in various industries. It has unique physical and chemical properties: extreme

fire and explosion hazard, corrosive activity, high toxicity. These properties determine the complexity of its extinguishing.

In Russia, there is practically no normative base for the design, construction, and repair of tanks where methanol is stored. In the available recommendations for extinguishing methanol fires by «soft» method the normative intensity of alcohol-resistant foam supply to the fire source is underestimated. Alcohol-resistant foam concentrates such as AFFF/AR, FFF/AR, S/AR allow to ensure reliable extinguishing of polar liquids. To do this, it is required to determine the method of supplying the foaming agent and its standard intensity when extinguishing methanol in the tanks.

Thermophysical properties of the methanol combustion (heat fluxes, burnout rate, heat release rate) determine the possibility of developing methods for its extinguishing on the model fire seats. For these purposes, the pallets with a diameter of more than 3 m can be used with a side thickness of 6 mm.

To extinguish methanol, it is proposed to use a low-expansion self-foaming gas-aerosol filled foam with a standard flow rate of 0.25 l/(m<sup>2</sup>·s). Specific consumption of the fire extinguishing agent was determined: for methanol, it should be 30 l/m<sup>2</sup> with an extinguishing time of 120 s.

Foam generation can take place without the use of traditional foam generators with the help of self-contained solid fuel fire extinguishing installations. When using them, the problem of corrosion resistance of foam generating equipment is solved, and the «soft» fire extinguishing method is also implemented for the tanks with a volume of 5000 m<sup>3</sup> or more.

**Key words:** methanol, physico-chemical properties, thermal and physical properties, methanol extinguishing, self-expanding gas-aerosol filled foam, installation of pulse fire extinguishing.

#### References

1. Barkev M.R., Adamyan L.V. Production of explosion-fire hazard and the use of methanol. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik = International Student Scientific Journal.* 2018. № 5. pp. 170–176. (In Russ.).

2. Grunvald A.V. Use of the methanol in the gas industry as an inhibitor of hydrate formation and the forecast of its consumption in the period up to 2030. *Neftegazovoe delo = Oil and Gas Business.* 2007. № 2. pp. 29–54. (In Russ.).

3. Atmospheric Above Ground Tank Storage of Methanol// *Methanol Safe Handling Technical Bulletin.* Available at: <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/06/AtmosphericAboveGroundTank StorageMethanol-1.pdf> (accessed: April 01, 2022).

4. Recommendations for extinguishing polar liquids in the tanks. Moscow: FGU VNIPO, 2007. 58 p. (In Russ.).

5. *Rasbash D.J., Rogovski Z.W., Stark G.W.V.* Mechanisms of Extinction of Liquid Fires and Water Sprays. *Combustion and Flame.* 1960. Vol. 4. pp. 223–234. DOI: 10.1016/S0010-2180(60)80026-0

6. *Evergen F.* proFLASH: Methanol fire detection and extinguishment. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1094660/FULLTEXT02> (accessed: April 01, 2022).

7. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.* 5th Ed. New York: Springer, 2016. 3493 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0

8. Methanol Safe Handling Manual. San Diego: Alliance Consulting International, 2008. 104 p.

9. Kung H.-C., Stavrianidis P. Buoyant plumes of large-scale pool fires. Symposium (International) on Combustion. 1982. Vol. 19. Iss. 1. pp. 905–912. DOI: 10.1016/S0082-0784(82)80266-X

10. Voevoda S.S., Molchanov V.P., Sharovarnikov A.F., Bastrikov D.L. Extinguishing of the flame of polar combustible liquids. *Pozharovzryvbezopasnost = Fire and Explosion Safety*. 2012. Vol. 21. № 6. pp. 69–73. (In Russ.).

11. Kopylov N.P., Fedotkin D.V., Bezborodov V.I., Kono- nov B.V. Experimental determination of normative intensity

for extinguishing methanol with self-foaming gas-aerosol foam. *Pozharnaja bezopasnost = Fire Safety*. 2022. № 1 (106). pp. 40–51. (In Russ.). DOI: 10.37657/vniipo.pb.2022.28.74.003

12. Kopylov N.P., Kopylov S.N., Karpov A.V., Fedotkin D.V. Critical analysis and recent developments in the prevention and suppression of fires in the large fuel tanks. *Tezisy dokl. XV Vseros. simp. po goreniyu i vzryvu* (Thesis of the Fifteenth All-Russian Symposium on Combustion and Explosion). Chernogolovka: Institut problem khimicheskoy fiziki RAN, 2020. pp. 126–127. (In Russ.).

Received April 7, 2022

**Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России**  
(научно-аналитический журнал)

**Барина Ю.С., Щетка В.Ф. Анализ решения задач управления подразделениями МЧС России при чрезвычайных ситуациях на объектах нефтегазового комплекса. — 2021. — № 1. — С. 58–63.**

Проведен анализ системы поддержки принятия решений, исходя из достаточности мер для выработки и принятия последовательности эффективных управляющих решений, в том числе и по вопросам организации выдвижения сил и средств МЧС России к месту чрезвычайной ситуации на объектах нефтегазового комплекса.

**Моторыгин Ю.Д., Акимова А.Б. Методика управления пожарной безопасностью на автостоянках закрытого типа. — 2021. — № 3. — С. 29–36.**

Описаны основные предложения по обеспечению пожарной безопасности современных автостоянок закрытого типа. На основании результатов моделирования развития опасных факторов пожара в условиях горения элементов пожарной нагрузки основных типов автомобилей на стоянках закрытого типа предложена методика управления пожарной безопасностью автостоянки. Рассмотрены организационные и технические мероприятия для обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре. Показано, что при горении электромобилей требования по эвакуации людей в подземной автостоянке выполнить проблематично из-за высокой скорости распространения опасных факторов пожара и угрозы быстрого перехода пожара на соседние автомобили.

**Ложкина О.В., Комашинский В.И. Информационный процесс мониторинга и прогнозирования эффективности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте. — 2021. — № 4. — С. 18–26.**

Описывается информационный процесс мониторинга и долгосрочного прогнозирования эффектив-

ности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте. Информационный процесс реализуется в трех стратах. Первая включает исходные информационные базы данных, расчетные модели, прогнозные сценарии. Во второй производится расчетное прогнозирование. Третья страта — когнитивная — принятия решений и управляющих воздействий по результатам прогнозной оценки по индикаторным показателям качества воздуха. Разработанный подход апробирован на примере Санкт-Петербурга.

**Малыгин И.Г., Скодтаев С.В. Методика проверки обеспечения безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна при пожаре. — 2021. — № 4. — С. 27–37.**

Предложена методика, позволяющая на стадии проектирования воздушного судна оценить степень обеспечения условий безопасной эвакуации людей при пожаре и заложить оптимальные технические решения, обеспечивающие безопасность пассажиров. Рассмотрены наиболее распространенные сценарии развития пожара в пассажирском воздушном судне. Предложены и обоснованы дополнительные организационно-технические решения, направленные на обеспечение безопасности пассажиров в случае возникновения пожара в воздушном судне.

**Андрюшкин А.Ю., Моисеев Д.И., Кадочникова Е.Н. Повышение энергетической эффективности и безопасности тепловых сетей. — 2021. — № 4. — С. 37–43.**

Предложены повышающие качество и безопасность тепловых сетей конструкторско-технологические решения теплогидроизоляции стыков труб. Применены технология напыления пенополиуретана и технологическая оснастка для улучшения качества пенополиуретановой теплоизоляции стыка труб. Показано, что при послойном напылении формируется монолитный пенополиуретан с высокими показателями прочности и теплостойкости. Технологическая оснастка создает благоприятные условия вспенивания и отверждения заливаемой реакционной смеси. Предложенные технологии допускают контроль качества пенополиуретана и устранение обнаруженных дефектов.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-69-74

УДК 504.55.054:622(470.6)

© Коллектив авторов, 2022

# Оценка запыленности воздуха при производстве железобетонных изделий

**В.А. Дмитриенко**, канд. техн. наук, доцент, vadmitrienko@rambler.ru (ИСОиП (филиал) ДГТУ, Шахты, Россия), **В.И. Голик**, д-р техн. наук, проф. (Московский Политех, Москва, Россия), проф. (ЮРГПУ(НПИ), Новочеркасск, Россия), **С.А. Масленников**, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой (ИСОиП (филиал) ДГТУ, Шахты, Россия), **В.В. Пушкина**, канд. техн. наук, доцент (Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ), Шахты, Россия)

Приведены результаты исследования параметров запыленности на рабочих местах при производстве железобетонных изделий. Установлено содержание мелких фракций минеральных частиц, определяющих опасность загрязнения воздуха. Разработана методика оценки запыленности рабочей зоны. Предложено выделять пылевые частицы фильтрами из различных фильтрующих материалов (например, эффективно разделение частиц при использовании нетканых синтетических материалов). Результаты исследования рекомендованы к использованию для повышения эффективности работы аспирационных систем.

**Ключевые слова:** запыленность воздуха, пыль, железобетонные изделия, размер частиц, фильтрующий материал, содержание пыли, оценка запыленности, фильтр.

**Для цитирования:** Дмитриенко В.А., Голик В.И., Масленников С.А., Пушкина В.В. Оценка запыленности воздуха при производстве железобетонных изделий // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 69–74. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-69-74

## Введение

Глобализация экономики, обусловленная растущими потребностями людей в продовольствии, энергии, жилье, промышленных товарах и т.д., увеличивает нагрузку на окружающую среду, порождая экологические проблемы, что особенно заметно в крупных и средних промышленных городах. Установлено, что на экологию городов влияет много факторов, но наибольший вклад вносят промышленные предприятия, так как производственная деятельность сопряжена с использованием природных ресурсов, их переработкой, транспортировкой и накоплением отходов, являющихся генераторами загрязнителей [1–5].

Около половины общего загрязнения приходится на долю промышленности. Несмотря на совершенствование технологических процессов и систем пылегазоочистки, в атмосферу выбрасывается огромное количество пыли. Среди промышленных предприятий производство строительных материалов по масштабам загрязнения воздуха занимает второе место после черной металлургии [4, 5].

При производстве бетонных и железобетонных изделий используются сыпучие материалы, которые в зонах погрузки и выгрузки образуют золи с большим содержанием высокодисперсных минеральных частиц [6–8].

Поскольку для производства бетонной смеси используется вертикальная схема, то технологическое оборудование в цехе располагается на большой площади и на различной высоте при перемещающемся мостовом кране, обслуживающем технологическую линию, что препятствует эффективной аспирации воздуха. Ингредиенты бетонной смеси образуют аэ-

розоль с частицами различных размеров, область распространения которых существенно различается. Мелкодисперсной пылью загрязняется не только рабочая зона производства, но и близлежащая территория, поскольку мелкие фракции пыли во взвешенном состоянии мигрируют [9, 10].

По степени воздействия на человека наиболее опасны пылевые частицы размером от 2,5 до 10 мкм, поскольку они проникают в легкие и практически не выводятся оттуда [5–8]. Оценка загрязнения воздуха актуальна для разработки мер обеспечения безопасности труда на предприятиях и повышения экологической безопасности регионов.

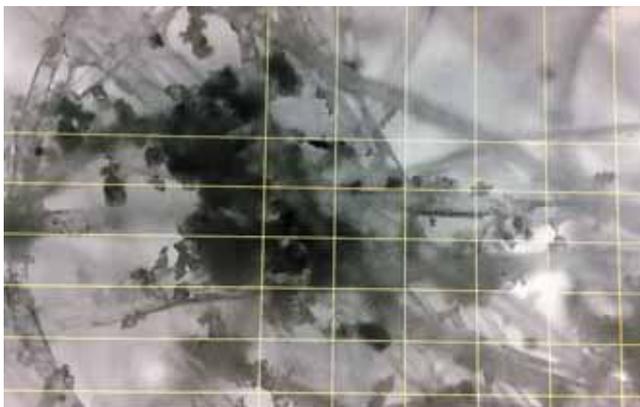
## Методика проведения исследований

Основной метод контроля запыленности рабочих мест — весовой, основанный на определении количества осаждаемой пыли на фильтрующем материале.

Более объективна оценка запыленности с применением статистических методов, характеризующихся выполнением замеров в различных местах и в различное время с минимальным временным интервалом между измерениями [8].

Исследования различных фильтрующих материалов показали, что из-за хаотического расположения волокон гарантировать фильтрацию частиц одного размера нельзя, о чем свидетельствует микроскопический анализ размеров частиц (рис. 1).

Поэтому для выделения наиболее опасной фракции частиц пыли 2,5–10 мкм целесообразно использование трех фильтров: сетки с размером ячеек 0,08 мм для отделения фракций более 80 мкм; фильтра из материала класса F5 из тонких перхлорвиниловых волокон, позволяющего задерживать



▲ Рис. 1. Пыль на волокнах фильтра  
▲ Fig. 1. Dust on the filter fibers

фракции более 10 мкм, и аналитического фильтра из материала Петрянова от 1 до 10 мкм [11]. Компоновка фильтров в специальных блоках позволяет проводить их смену за 10–15 с и сократить время отбора проб.

Таким образом, особенность метода состоит в прокачке воздуха сквозь несколько фильтров, дифференцированно задерживающих частицы определенного размера. Однако фильтры обладают значительным аэродинамическим сопротивлением, следовательно, использование серийно выпускаемых аспираторов нецелесообразно. Поэтому измерительный комплекс смонтирован на основе автомобильного пылесоса мощностью 100 Вт, обладающего необходимыми производительностью и депрессией. Для крепления блока фильтров использована насадка (рис. 2), позволяющая ускорить смену блоков фильтров и значительно упростить процесс отбора проб воздуха.

Точность объема прокачки воздуха за 1 мин работы воздухоудвки составила 4,33 %, а за 4 мин — 1,36 %. Как показали приведенные в табл. 1 исследования, дальнейшее увеличение времени отбора проб воздуха к существенному снижению ошибок не приводит (рис. 3, здесь 1 — без фильтров, 2 — с блоком фильтров), так как основные изменения объема прокачки связаны с моментами включения и выключения воздухоудвки таймером с точностью отсчета времени  $\pm 1$  с. Это позволяет проводить отбор проб воздуха непосредственно на рабочих местах без счетчика. При этом требуется корректировка объема воздуха, прошедшего через фильтры, с учетом температуры, давления и относительной влажности в момент отбора проб.

#### Результаты

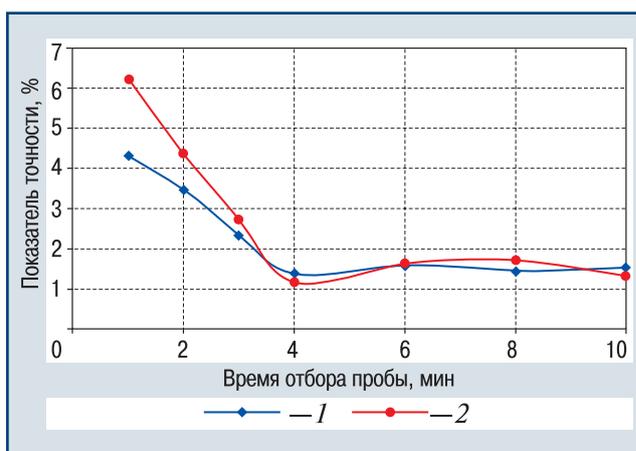
Подключение блоков фильтров при отборе воздуха в течение 4 мин обеспечивает снижение варьирования до 7,9–1,2 дм<sup>3</sup>/мин и приводит к ошибке измерений до 1,19 %, что свидетельствует об адекватности исследований.



▲ Рис. 2. Насадка для крепления фильтров  
▲ Fig. 2. Nozzle for attaching filters

Таблица 1

Параметр	Точность объема прокачки, %, при времени отбора проб воздуха, мин						
	1	2	3	4	6	8	10
Без фильтров	4,33	3,48	2,34	1,36	1,58	1,44	1,51
С блоками фильтров	6,24	4,39	2,75	1,19	1,62	1,74	1,33



▲ Рис. 3. Зависимость точности объема прокачки воздуха от времени работы воздухоудвки

▲ Fig. 3. Dependence of the accuracy of the air pumping volume on the blower operating time

Перепад давления с подключенными блоками фильтров в среднем составил 0,124 кПа и не превышал допустимого значения для применяемых фильтрующих материалов.

В ноябре–декабре высокая влажность заполнителей для бетона при загрузке смесителя снизила объемы пылевыведения. Основным источником пылеобразования в это время является вибропло-

щадка, поскольку излишки бетонной смеси при вибрировании следующего изделия попадали под стальную форму и измельчались, а при повышении температуры образовывали пыль. Проведение исследований начиналось с подготовки фильтров и блоков. Из фильтрующего материала класса F5 изготавливали диски площадью 10 см<sup>2</sup>. Взвешивание чистых фильтров проводилось в лаборатории. Фильтры предварительно взвешивались на торсионных весах ВТ-500 с точностью до 1 мг, затем на аналитических весах с точностью ±0,1 мг и в определенной последовательности устанавливались в боксы с фиксацией специальными кольцами (рис. 4).

Отбор проб воздуха блоком фильтров осуществлялся в течение 2 мин во время работы виброплощадки 45 с и подготовки формы к транспортированию в пропарочную камеру. Увеличение времени отбора проб приводило к загрязнению фильтров и изменению депрессии и объема воздуха. В каждом цикле работы виброплощадки отбиралась одна проба.

Алгоритм расчета включал ввод исходных данных:

средний объем прокачиваемого воздуха через блоки фильтров за 2 мин — 0,1641 м<sup>3</sup>;

масса чистых фильтров;

масса фильтров с пылью;

атмосферное давление, температура и влажность воздуха.

На основании решения уравнения зависимости давления насыщенного пара от температуры проводится расчет приведенного объема воздуха. После определения массы пыли на каждом фильтре блока определяется масса фракций в 1 м<sup>3</sup> приведенного объема.

Содержание фракций пыли определяли как отношение массы пыли на аналитическом фильтре к сумме масс частиц на трех фильтрах.

При работе виброплощадки концентрация пыли достигала 145 мг/м<sup>3</sup>, что многократно превышает предельно допустимую концентрацию минеральной пыли. Невысокое содержание опасных фракций пыли 14,5 % обусловлено высокой влажностью заполнителей бетона и атмосферного воздуха в осенний период. Результаты исследований первого этапа при температуре 11 °С, давлении 763 мм рт. ст. и относительной влажности 88 % сведены в табл. 2. Скорректированный объем прокаченного воздуха через блоки фильтров составил 0,1703 м<sup>3</sup>. При этом среднее



▲ Рис. 4. Блоки фильтров для измерений

▲ Fig. 4. Filter blocks for measurements

Таблица 2

Номер блока	Масса чистого фильтра, мг	Масса фильтра с пылью, мг	Масса пыли, мг	Масса пыли в 1 м <sup>3</sup> , мг	Содержание пыли, мг	Мелкие фракции, %
<b>Фильтр 0,08</b>						
6	374,2	375,1	0,9	5,29	104,55	12,36
3	373,8	374,4	0,6	3,52	92,80	14,56
2	365,4	366,1	0,7	4,11	111,01	17,46
1	374,1	375,9	1,8	10,57	101,61	10,98
4	369,7	370,2	0,5	2,94	85,75	19,86
5	366,3	368,1	1,8	10,57	86,93	11,49
<b>Фильтр F5</b>						
6	262,6	277,3	14,7	86,34	—	—
3	265,3	278,2	12,9	75,77	—	—
2	256,8	271,7	14,9	87,51	—	—
1	266,2	279,8	13,6	79,88	—	—
4	262,1	273,3	11,2	65,78	—	—
5	260,5	271,8	11,3	66,37	—	—
<b>Фильтр АФА-ВП</b>						
6	36,2	38,4	2,2	12,92	—	—
3	37,3	39,6	2,3	13,51	—	—
2	35,5	38,8	3,3	19,38	—	—
1	35,5	37,4	1,9	11,16	—	—
4	36,8	39,7	2,9	17,03	—	—
5	36,2	37,9	1,7	9,98	—	—

значение шести измерений, характеризующее общее содержание пыли, составило 95,62 мг, а доля мелких фракций — 14,45 %.

Результаты исследований второго этапа при температуре 9 °С, давлении 765 мм рт. ст. и относительной влажности 91 % сведены в табл. 3. Для указанных условий скорректированный объем прокаченного воздуха через блоки фильтров составил 0,1721 м<sup>3</sup> при среднем общем содержании пыли 144,79 мг и доле мелких фракций 11,76 %.

Количество пыли, осажденной на стенках блоков, уплотнительных кольцах и удерживающих сетках, не превысило 3,7 % общего веса пыли на трех фильтрах.

Точность отсчета объемов для одного фильтра составляет 3,44–4,77 %, при варьировании фильтров 4,2–7,1 дм<sup>3</sup>/мин среднее значение ошибки шести фильтров — 1,9 %, при варьировании 2,45 дм<sup>3</sup>/мин

Таблица 3

Номер блока	Масса чистого фильтра, мг	Масса фильтра с пылью, мг	Масса пыли, мг	Масса пыли в 1 м <sup>3</sup> , мг	Содержание пыли, мг	Мелкие фракции, %
<b>Фильтр 0,08</b>						
6	371,8	377,0	5,2	30,21	146,42	15,48
3	367,5	373,9	6,4	37,19	136,54	16,60
2	370,8	375,2	4,4	25,57	124,92	13,02
1	370,1	374,7	4,6	26,73	131,89	4,85
4	368,7	373,4	4,7	27,31	134,22	9,09
5	367,6	381,7	14,1	81,92	196,39	11,54
<b>Фильтр F5</b>						
6	268,2	284,3	16,1	93,54	—	—
3	263,9	277,1	13,2	76,70	—	—
2	258,3	272,6	14,3	83,09	—	—
1	261,4	278,4	17,0	98,77	—	—
4	257,9	274,2	16,3	94,71	—	—
5	266,7	282,5	15,8	91,80	—	—
<b>Фильтр АФА-ВП</b>						
6	36,9	40,8	3,9	22,66	—	—
3	37,3	41,2	3,9	22,66	—	—
2	37,0	39,8	2,8	16,27	—	—
1	37,2	38,3	1,1	6,39	—	—
4	35,6	37,7	2,1	12,20	—	—
5	36,7	40,6	3,9	22,66	—	—

при отборе воздуха в течение 2–3 мин ошибка не превышает 5 %, а при отборе в течение 4 мин снижается до 2 %.

Во время работы виброплощадки в цехе ООО «Монолит-Юг» концентрация пыли может достигать 145 мг/м<sup>3</sup>, но по истечении 5–7 мин содержание пыли снижается в 5 раз.

Емкость фильтрующих материалов по пыли зависит от условий работ и времени отбора пробы воздуха, которая должна составлять от 2 до 10 мин, что позволит снизить загрязнение фильтров и объективно проводить микроскопический анализ.

Исследования по приведенной методике позволяют разработать мероприятия по оптимизации работы аспирационной системы и снижению пылеобразования на рабочих местах и загрязнения окружающей территории.

Отдельные аспекты проблемы запыленности рассмотрены в работах российских и зарубежных исследователей [12–14].

### Заключение

Производство железобетонных изделий является источником повышенной опасности для работников и экосистем окружающей среды, поставляя в атмосферу мобильные фракции минеральных частиц.

Параметры техногенной запыленности могут быть минимизированы при использовании предлагаемой методики с осаждением пылевых частиц комплексом фильтров из альтернативных фильтрующих материалов, например из нетканых синтетических.

### Список литературы

1. Голык В.И. К проблеме охраны окружающей среды российского Донбасса// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 2. — С. 32–37. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-2-32-37

2. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса/ Н.М. Качурин, Г.В. Стась, Т.В. Корчагина, М.В. Змеев// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — Вып. 1. — С. 170–182.

3. Mining impact on environment on the North Ossetian territory/ O.G. Burdzieva, V.B. Zaalishvili, O.G. Beriev et al.// International Journal of GEOMATE. — 2016. — Vol. 10. — № 1. — P. 1693–1697.

4. Narezhnaya T., Zvonov I. Planning of production territories for preservation and improvement of the ecological situation in the cities// International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry (ESCI 2018): MATEC Web of Conferences. — Ho Chi Minh City, 2018. — Vol. 193. DOI: 10.1051/matec-conf/201819301013

5. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсной пылью/ А.Б. Стреляева, Н.С. Барикаева, Е.А. Калюжина, Д.А. Николенко. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelayevaBarikaevaKaluzinaNikolenko-2014\\_3\\_34\\_.pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelayevaBarikaevaKaluzinaNikolenko-2014_3_34_.pdf) (дата обращения: 14.03.2022).

6. О загрязнении мелкодисперсной пылью воздушной среды городских территорий/ В.Н. Азаров, Н.А. Маринин, Н.С. Барикаева, Т.Н. Лопатина// Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. — 2013. — № 1. — С. 30–34.

7. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub>) в воздушной среде/ В.Н. Азаров, И.В. Тертишников, Е.А. Калюжина, Н.А. Маринин// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. — 2011. — Вып. 25 (44). — С. 402–406.

8. Comprehensive assessment of the dust environment at the construction industry enterprises/ B. Meskhi, A. Evtushenko, V. Azarov, N. Zhukova// E3S Web of Conferences CATPID-2021. Part 1. — Nalchik, 2021. — Vol. 281. DOI: 10.1051/e3sconf/202128109024

9. Gendler S.G., Kovshov S.V. Estimation and reduction of mining-induced damage of the environment and work area air in mining and processing of mineral stuff for the building industry// Eurasian Mining. — 2016. — № 1. — P. 45–49. DOI: 10.17580/em.2016.01.08

10. Особенности качественного и количественного состава выбросов в производстве строительных материалов/ С.А. Кошкарев, М.В. Белоношко, М.В. Димитренко и др. URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_50\\_belonozhko\\_dimitrenko.pdf\\_bbc06f95e2.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_50_belonozhko_dimitrenko.pdf_bbc06f95e2.pdf) (дата обращения: 14.03.2022).

11. *Dmitrienko V., Maslennikov S., Bogomazov A.* Research of filter materials for dust fractioning// Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE-2021): E3S Web of Conferences. — Moscow, 2021. — Vol. 284. DOI: 10.1051/e3sconf/202128405011

12. *Vintro C., Sanmiquel L., Freijo M.* Environmental sustainability in the mining sector: Evidence from Catalan companies// Journal of Cleaner Production. — 2014. — Vol. 84. — P. 155–163. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.12.069

13. *Speciated PM 10 Emission Inventory for Delhi, India/ P. Gargava, J.C. Chow, J.G. Watson, D.H. Lowenthal// Aerosol and Air Quality Research.* — 2014. — Vol. 14. — P. 1515–1526. DOI: 10.4209/aaqr.2013.02.0047

14. *Gell E.M., Walley S.M., Braithwaite C.H.* Review of the Validity of the Use of Artificial Specimens for Characterizing the Mechanical Properties of Rocks// Rock Mechanics and Rock Engineering. — 2019. — Vol. 52. — № 3. — P. 2949–2961. DOI: 10.1007/s00603-019-01787-8

**vadmitrienko@rambler.ru**

*Материал поступил в редакцию 15 марта 2022 г.  
Доработанная версия — 14 апреля 2022 г.*

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 69–74.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-69-74

#### Assessment of Air Dust Content in the Production of the Reinforced Concrete Products

**V.A. Dmitrienko**, Cand. Sci. (Eng.), Assos. Prof.,  
vadmitrienko@rambler.ru

**ISOiP (branch) DGTU, Shakhty, Russia**

**V.I. Golik**, Dr. Sci. (Eng.), Prof.

**Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia**

Prof.

**Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocheerkassk, Russia**

**S.A. Maslennikov**, Cand. Sci. (Eng.), Assos. Prof., Head of the Department

**ISOiP (branch) DGTU, Shakhty, Russia**

**V.V. Pushkina**, Cand. Sci. (Eng.), Assos. Prof.

**Shakhty Highway Institute (branch) Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russia**

#### Abstract

Globalization of the economy increases the burden on the environment, intensifying the antagonism between the nature and technology, generating environmental problems. Production increases the volume of use of the atmospheric air, and the parameters of dust formation determine the environmental risk to the enterprise employee health and the living matter of the environment. Production of the reinforced concrete products is a source of the increased hazard for the employees and environmental ecosystems, supplying mobile fractions of the mineral particles into the atmosphere. Fine dust is considered the most dangerous. An accurate assessment of air pollution is required as a basis for developing context-specific measures to ensure the safety of work

and environmental ecosystems. Technical feasibility and environmental efficiency of the dust assessment with measurements in different places and at different times with air pumping through several alternative filters is substantiated. The main source of dust formation is vibration engineering. To isolate the most dangerous mobile dust fraction, it is advisable to use several filters made of various filter materials. The dust fraction content is defined as the ratio of the dust mass on the analytical filter to the sum of the particle masses on three filters.

The use of the recommended methodology will allow to reduce dust formation in the workplaces and pollution of the surrounding areas ecosystems. Parameters of the technogenic dustiness can be minimized by using the proposed methodology with the deposition of hazardous dust particles by a complex of filters made of the alternative filtering materials, for example, non-woven synthetic materials. Recommendations based on the results of the study may be in demand at the enterprises of various industries.

**Key words:** air dust content, dust, reinforced concrete products, particle size, filter material, dust content, dust content assessment, filter.

#### References

1. Golik V.I. To the Problem of Environmental Protection of the Russian Donbass. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2022. № 2. pp. 32–37. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2022-2-32-37

2. Kachurin N.M., Stas G.V., Korchagina T.V., Zmeev M.V. Geomechanical and aerogasdynamical consequences of underworking mining leases territories of Eastern Donbass basin mines. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Bulletin of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2017. Iss. 1. pp. 170–182. (In Russ.).

3. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maysuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. *International Journal of GEOMATE*. 2016. Vol. 10. № 1. pp. 1693–1697.

4. Narezhnaya T., Zvonov I. Planning of production territories for preservation and improvement of the ecological situation in the cities. *International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry (ESCI 2018): MATEC Web of Conferences*. Ho Chi Minh City, 2018. Vol. 193. DOI: 10.1051/mateconf/201819301013

5. Strelyaeva A.B., Barikaeva N.S., Kalyuzhina E.A., Nikolenko D.A. Analysis of sources of air pollution by fine dust. Available at: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelyaevaBarikaevaKalyuzhinaNikolenko-2014\\_3\\_34\\_.pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelyaevaBarikaevaKalyuzhinaNikolenko-2014_3_34_.pdf) (accessed: March 14, 2022). (In Russ.).

6. Azarov V.N., Marinin N.A., Barikaeva N.S., Lopatina T.N. Air pollution by highly dispersed dust in urban areas. *Biosferная sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii = Biospheric compatibility: person, region, technology*. 2013. № 1. pp. 30–34. (In Russ.).

7. Azarov V.N., Tertishnikov I.V., Kalyuzhina E.A., Marinin N.A. About concentration estimation of fine dust (PM10 and PM2,5) in air. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura = Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Civil Engineering and Architecture*. 2011. Iss. 25 (44). pp. 402–406. (In Russ.).

8. Meskhi B., Evtushenko A., Azarov V., Zhukova N. Comprehensive assessment of the dust environment at the construction industry enterprises. E3S Web of Conferences CAT-PID-2021. Part 1. Nalchik, 2021. Vol. 281. DOI: 10.1051/e3s-conf/202128109024

9. Gendler S.G., Kovshov S.V. Estimation and reduction of mining-induced damage of the environment and work area air in mining and processing of mineral stuff for the building industry. Eurasian Mining. 2016. № 1. pp. 45–49. DOI: 10.17580/em.2016.01.08

10. Koshkarev S.A., Belonozhko M.V., Dimitrenko M.V., Tagaeva A.O., Slobodchikova A.D., Koshkarev K.S. Features of the qualitative and quantitative composition of emissions in the production of building materials. Available at: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_50\\_belonozhko\\_dimitrenko.pdf\\_bbc06f95e2.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_50_belonozhko_dimitrenko.pdf_bbc06f95e2.pdf) (accessed: March 14, 2022). (In Russ.).

11. Dmitrienko V., Maslennikov S., Bogomazov A. Research of filter materials for dust fractioning. Topical Problems of Green

Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPA-CEE-2021): E3S Web of Conferences. Moscow, 2021. Vol. 284. DOI: 10.1051/e3sconf/202128405011

12. Vintro C., Sanmiquel L., Freijo M. Environmental sustainability in the mining sector: Evidence from Catalan companies. Journal of Cleaner Production. 2014. Vol. 84. pp. 155–163. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.12.069

13. Gargava P., Chow J.C., Watson J.G., Lowenthal D.H. Speciated PM 10 Emission Inventory for Delhi, India. Aerosol and Air Quality Research. 2014. Vol. 14. pp. 1515–1526. DOI: 10.4209/aaqr.2013.02.0047

14. Gell E.M., Walley S.M., Braithwaite C.H. Review of the Validity of the Use of Artificial Specimens for Characterizing the Mechanical Properties of Rocks. Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019. Vol. 52. № 3. pp. 2949–2961. DOI: 10.1007/s00603-019-01787-8

*Received March 15, 2022  
In final form — April 14, 2022*

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Транспортировка и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья (научный информационный сборник)

**Технико-экономическое обоснование применения неметаллических труб для промышленного сбора, магистрального транспорта и распределения нефти, газа и продуктов их переработки/ А.А. Гарифуллин, Т.Р. Кускильдин, Р.М. Каримов, А.Ю. Туманова. — 2021. — № 4. — С. 18–23.**

Рассмотрены вопросы использования неметаллических труб в системах промышленного сбора, дальнего магистрального транспорта и низких распределительных сетях. Обоснованы главные недостатки, связанные со строительством и эксплуатацией стальных трубопроводов, подтвержденные технико-экономическими расчетами, указывающими на скорую необходимость постепенного замещения стальных труб полимерными материалами. В качестве оценочных критериев сравнения приняты гидравлическая эффективность, представляющая зависимость полезной мощности от материала и диаметра труб, и экономическая составляющая, включающая затраты на строительство.

**Габдинуров Р.Р., Гареев М.М. Применение мягких оболочек внутри резервуара для предотвращения потерь от испарений нефти и нефтепродуктов. — 2021. — № 4. — С. 39–44.**

Сделан вывод о необходимости разработки нового средства — атмосферной камеры, представляющей собой маслобензостойкую мягкую оболочку, расположенную внутри резервуара, предназначенную для сокращения потерь от испарений нефти и нефтепро-

дуктов. Предложена конструкция вертикального и горизонтального резервуаров с атмосферной камерой. Проверен принцип работы резервуара на макете. Построена экспериментальная установка, выполнены испытания. По результатам испытаний установлено, что при использовании атмосферной камеры в резервуарах исключаются потери от испарений.

**Совершенствование конструкции стационарной крыши с легкосбрасываемым настилом для вертикальных стальных резервуаров/ И.Р. Каримов, М.Э. Дусалимов, И.И. Хасанов и др. — 2021. — № 4. — С. 51–55.**

Рассмотрена проблема повышения взрывобезопасности резервуаров путем совершенствования конструкции стационарной крыши вертикальных стальных резервуаров. В качестве решения предлагается крыша с легкосбрасываемым настилом, конструкция и способ крепления которой зависят от безопасного окна разгерметизации. Предложенные решения крепления легкосбрасываемого настила позволяют повысить пожарную безопасность, ускорить и упростить процесс монтажа.

**Муталова Л.М., Мустафин Ф.М. Совершенствование способа прокладки нефтепроводов в районах распространения мерзлых грунтов. — 2021. — № 4. — С. 56–59.**

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при прокладке нефтепроводов в районах распространения вечной мерзлоты. Для сохранения мерзлых грунтов в естественном состоянии необходимо сократить тепловое и механическое воздействие. Определено, что применение наземного способа прокладки и теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля позволят сохранить мерзлый грунт в ненарушенном состоянии.

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-75-80

УДК 614.841

© Коллектив авторов, 2022

# Оценка токсичности не распространяющих горение сигнальных кабелей при пожаре в производственных помещениях



**С.В. Пузач,**  
д-р техн. наук, проф.,  
зав. кафедрой,  
puzachsv@mail.ru



**Р.Г. Акперов,**  
канд. техн. наук, доцент  
кафедры



**О.С. Лебедченко,**  
канд. юр. наук, доцент



**О.Б. Болдрушкиев,**  
ст. инженер —  
программист

ФГБОУ ВО АГПС МЧС России, Москва, Россия

Выполнена оценка токсичности газовой среды при термическом разложении не распространяющих горение сигнальных кабелей, используемых в производственных помещениях и в зданиях с массовым пребыванием людей. Проведено экспериментальное исследование в маломасштабной опытной установке характерного для пожара в помещении воздействия лучистого теплового потока на изоляцию данных кабелей, изготовленную из полимеров с огнезащитными добавками. Получены зависимости парциальных плотностей циановодорода и монооксида углерода, а также удельных коэффициентов выделения этих газов от продолжительности экспериментов в случае терморазложения современного не распространяющего горение сигнального кабеля марки нг LS FR HF E1180. Обнаружено, что данный кабель в условиях реального пожара может выделять токсичные соединения (монооксид углерода и циановодород) в концентрациях, превышающих их предельно допустимые значения при эвакуации людей из помещений.

**Ключевые слова:** терморазложение, токсичность, не распространяющий горение кабель, экспериментальная установка, тепловой поток, огнезащитные добавки, критические концентрации.

**Для цитирования:** Пузач С.В., Акперов Р.Г., Лебедченко О.С., Болдрушкиев О.Б. Оценка токсичности не распространяющих горение сигнальных кабелей при пожаре в производственных помещениях// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 75–80. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-75-80

## Введение

Согласно п. 14.2 Методических рекомендаций по проверке создания и обеспечения функционирования системы управления охраной труда<sup>1</sup>, утвержденных приказом Федеральной службы по труду и занятости от 21 марта 2019 г. № 77, в процессе налаживания работы системы управления охраной труда должны учитываться не только штатные условия деятельности, но и случаи отклонений в работе, в том числе связанные с возможными авариями. В настоящее время нормативно-правовых актов, содержащих государственные нормативные требования, предъявляемые к выявлению опасностей, оценке уровня рисков и управлению ними, пока не утверждено. Вместе с тем обязанность руководства предприятий

по управлению профессиональными рисками предусмотрена ст. 209, 212 Трудового кодекса Российской Федерации.

Нормативный документ «ГОСТ 12.0.230—2007. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования» предполагает (п. 4.10.2.2)<sup>1</sup>, что перед любым изменением или применением новых приемов труда, материалов, процессов или оборудования должны быть выявлены опасности и оценены риски на рабочих местах. Следовательно, использование новых не распространяющих горение полимерных материалов в качестве изоляции кабелей необходимо оценить с точки зрения их влияния на здоровье человека при пожаре в помещении.

<sup>1</sup> URL: <https://docs.cntd.ru/document/554207464> (дата обращения: 20.03.2022).

<sup>1</sup> URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200052851> (дата обращения: 20.03.2022).

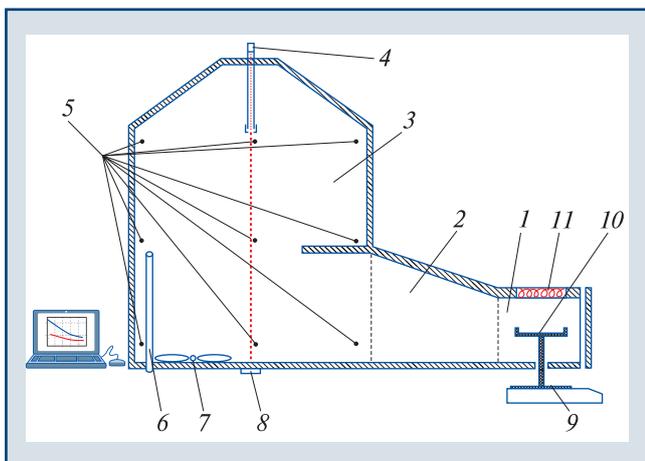
Уровень токсичности газовой среды в помещении во время пожара является определяющим фактором для сохранения жизни и здоровья персонала [1]. В настоящее время широкое применение получили слабогорючие материалы, изготовленные из полимеров с огнезащитными добавками. Однако последствия теплового воздействия пожара на данные материалы с точки зрения выделения токсичных газов пока еще недостаточно изучены.

Наряду с сильнейшим токсикантом — монооксидом углерода, чаще всего приводящим к гибели и отравлению людей, при терморазложении не распространяющих горение полимеров выделяется чрезвычайно токсичное соединение — циановодород [1–8]. Однако нет данных по удельному коэффициенту образования циановодорода для электрических кабелей с изоляцией, изготовленной из полимеров с огнезащитными добавками (за исключением работы [8]).

Цель статьи — экспериментальная оценка токсичности газовой среды при терморазложении не распространяющих горение сигнальных кабелей, используемых в производственных помещениях и в зданиях с массовым пребыванием людей. Для ее достижения проведено экспериментальное исследование процесса образования токсичных газов (монооксид углерода и циановодород) при воздействии тепловых потоков, характерных для пожара в помещении, на наружную поверхность данных кабелей.

#### Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Схема и фотография экспериментальной установки представлены на рис. 1 (здесь 1 — камера сгорания; 2 — переходной рукав; 3 — экспозиционная камера; 4 — лазерный модуль; 5 — термопары; 6 — зонд отбора газа; 7 — вентилятор; 8 — фоточувствительный элемент; 9 — электронные весы; 10 — держатель образца; 11 — электронагревательный излучатель) и 2 [8, 9].



▲ Рис. 1. Схема экспериментальной установки  
▲ Fig. 1. Scheme of the experimental setup



▲ Рис. 2. Вид экспериментальной установки  
▲ Fig. 2. Photo of the experimental setup

Конструктивно экспериментальная установка выполнена таким образом, что образующиеся в результате термического разложения продукты горения из камеры сгорания через переходной рукав попадают в камеру экспозиции, где фиксируются значения искомых термогазодинамических параметров.

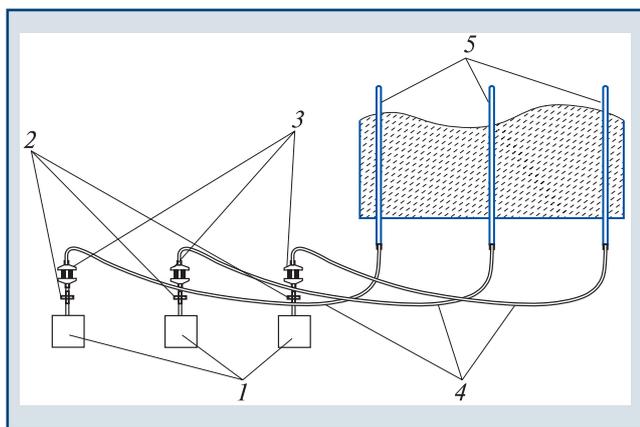
Камера сгорания экспериментальной установки 1 оснащена держателем для образца 10 и электронагревательным излучателем 11, который способен обеспечивать мощность падающего теплового потока на экспериментальном образце до  $75 \text{ кВт/м}^2$ . Плотность теплового потока измеряется с помощью водоохлаждаемого датчика типа Гордона с погрешностью измерений не более  $\pm 8 \%$ .

При воздействии падающего теплового потока образующиеся в результате термического разложения продукты горения движутся по теплоизолированному переходному рукаву 2 в теплоизолированную камеру экспозиции 3.

Камера экспозиции 3 представляет собой кубический объем  $0,5887 \text{ м}^3$  с конусообразной верхней частью. Изменения температур в экспозиционной камере фиксируются с помощью 27 бронированных низкоинерционных термопар 5. Данные термопары позволяют фиксировать значения температур в диапазоне от  $-40$  до  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Состояние газовой среды в экспозиционной камере контролируется с помощью многоканального автоматического проточного газоанализатора Dräger X-am 8000. Пробы газовой среды из камеры экспозиции отбираются через систему отбора проб 6, включающую в себя металлические зонды, расположенные в объеме камеры экспозиции, и фильтры грубой и тонкой очистки.

Схема системы отбора проб газовой среды показана на рис. 3 (здесь 1 — газоанализаторы; 2 — фильтры тонкой очистки; 3 — фильтры грубой очистки; 4 — эластичные соединительные шланги; 5 — метал-



▲ Рис. 3. Схема системы параллельного отбора газовой фазы из экспозиционной камеры экспериментальной установки

▲ Fig. 3. Scheme of the system of parallel selection of the gas phase from the exposure chamber of the experimental setup

лические трубки отбора газовой среды). Представленное газоаналитическое оборудование позволяет фиксировать в процессе эксперимента концентрации следующих токсичных газов:

монооксида углерода ( $\text{CO}$ ), с диапазоном измерения от 0 до  $1000 \text{ мг/м}^3$  (в соответствии с паспортом технического средства погрешность измерения составляет  $\pm 10\%$ );

циановодорода ( $\text{HCN}$ ), с диапазоном измерения от 0 до  $50 \text{ мг/м}^3$  (погрешность измерения — не более  $\pm 1\%$ );

кислорода ( $\text{O}_2$ ), с диапазоном измерения от 0 до 25 % об. (погрешность измерения — не более  $\pm 10\%$ ).

Эксперимент начинается с запуска контура электронагревательного излучателя 11. Далее ступенчато задаются рабочая температура электронагревательного излучателя и плотность падающего теплового потока на образец. После достижения заданных значений температуры и плотности падающего теплового потока исследуемый образец помещается в держатель 10, который опирается на электронные весы 9 (см. рис. 1). Данная конструкция позволяет отслеживать изменение массы образца в ходе эксперимента. Электронные весы позволяют фиксировать изменения массы образца до 1 мг с погрешностью не более 1 мг.

При проведении экспериментов непрерывно измеряются масса образца, плотность теплового потока, падающего на поверхность образца, температура в объеме экспозиционной камеры и концентрации  $\text{CO}$ ,  $\text{HCN}$  и  $\text{O}_2$ .

Удельные коэффициенты образования  $\text{HCN}$  ( $L_{\text{HCN}}$ ) и  $\text{CO}$  ( $L_{\text{CO}}$ ), а также поглощения кислорода ( $L_{\text{O}_2}$ ) рассчитываются по следующим формулам:

$$L_{\text{HCN}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{HCN}}}{d\tau}; \quad (1)$$

$$L_{\text{CO}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{CO}}}{d\tau}; \quad (2)$$

$$L_{\text{O}_2} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{O}_2}}{d\tau}, \quad (3)$$

где  $V$  — объем экспозиционной камеры,  $\text{м}^3$ ;  $\Psi$  — массовая скорость выгорания горючего материала,  $\text{кг/с}$ ;  $\rho_{\text{HCN}}$ ,  $\rho_{\text{CO}}$ ,  $\rho_{\text{O}_2}$  — среднеобъемные парциальные плотности соответственно  $\text{HCN}$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$  в экспозиционной камере,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\tau$  — продолжительность экспериментов, с.

Более подробное описание установки и методики проведения экспериментов представлено в работах [8, 9].

#### Исходные данные для проведения экспериментов

В качестве объекта исследования принимаем сигнальный кабель марки нг LS FR HF E1180 [10], рекомендованный для прокладки в производственных помещениях, а также в зданиях, где при пожаре может оказаться много людей (спортивные объекты, театры, офисные и торговые комплексы, ясли, детские сады, медицинские учреждения и т.д.).

Характеристики исследуемого кабеля [11]: «нг» — нераспространение горения; «LS» — низкое дымогазовыделение при горении и тлении (англ. low smoke); «FR» — огнестойкость (англ. fire resistance); «HF» — безгалогенный, т.е. с пониженной коррозионной активностью продуктов дымо- и газовой выделений при горении (англ. halogen free).

Испытуемый образец представляет собой кабель, разделенный на части длиной 0,1 м, и размещается на подложке с геометрическими размерами 0,1×0,1 м (рис. 4).

Исследовались два образца предложенного кабеля. Основные исходные данные проведенных экспериментов приведены в таблице. Главное от-



▲ Рис. 4. Вид образцов до (а) и после (б) проведения экспериментов

▲ Fig. 4. Photos of samples before (a) and after (b) the experiments

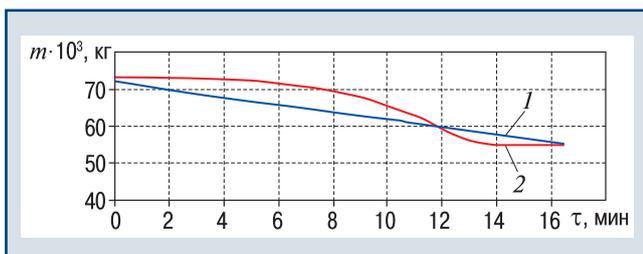
№ эксперимента	Начальная масса образца, кг · 10 <sup>3</sup>	Размеры образца, м × м	Температура в помещении, °С	Давление в помещении, мм рт. ст.	Влажность в помещении, %
1	72,1	0,1 × 0,1	23	753	38
2	73,2	0,1 × 0,1	20	753	41

личие исследований заключалось в задании разных зависимостей плотностей лучистых тепловых потоков, падающих от нагревателя на поверхность образца, от длительности экспериментов. Так, в эксперименте № 1 плотность теплового потока  $q$  была постоянной: 35 кВт/м<sup>2</sup> в течение всего времени испытаний. А в ходе эксперимента № 2 она изменялась ступенчато по времени: при длительности его до 3 мин она составляла 10; от 3 до 6 мин — 15; от 6 до 8 мин — 20; от 8 до 10 мин — 25; от 10 до 13 мин — 35; от 13 до 18 мин — 45 кВт/м<sup>2</sup>. Методика изменения плотности выбрана путем анализа научных источников, в которых показано, что плотность теплового потока, падающего на поверхность ограждающих конструкций (а значит, и на поверхность сигнальных кабелей) при пожаре в помещении, может, в соответствии с работами [12, 13], увеличиваться, достигая 44 кВт/м<sup>2</sup>.

Критическое значение парциальной плотности монооксида углерода составляет  $\rho_{\text{CO кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> [12]. Критическое значение парциальной плотности HCN принимаем равным  $\rho_{\text{HCN кр}} = 1,1 \cdot 10^{-5}$  кг/м<sup>3</sup> [12].

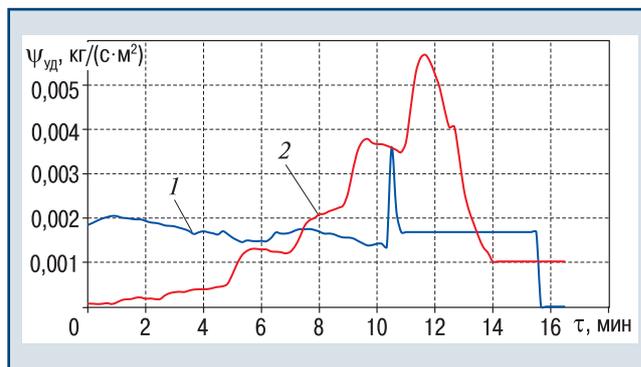
#### Результаты экспериментов и их анализ

Зависимости потери массы ( $m$ , кг) образцов от времени проведения экспериментов приведены на рис. 5 (здесь 1, 2 — номера экспериментов). А на рис. 6 (здесь 1, 2 — то же, что на рис. 5) представлены зависимости удельной массовой скорости выгорания образца ( $\Psi_{\text{уд}}$ , кг/(с·м<sup>2</sup>) от продолжительности экспериментов.

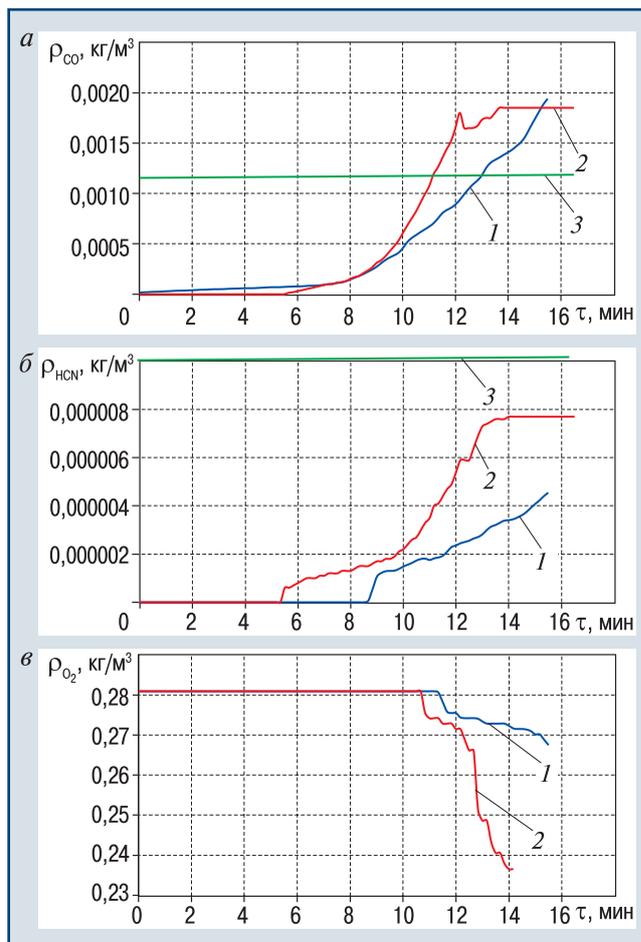


▲ Рис. 5. Зависимости потери массы образцов от времени проведения экспериментов  
▲ Fig. 5. Dependences of the weight loss of the samples on the time of the experiments

Зависимости парциальной плотности монооксида углерода, циановодорода и кислорода в экспозиционной камере от времени испытаний показаны на рис. 7 (здесь 1, 2 — номера экспериментов; 3, 4 — критические значения парциальных плотностей соответственно СО и HCN). Парциальная плотность СО в обоих экспериментах превышает ее критическое значение.



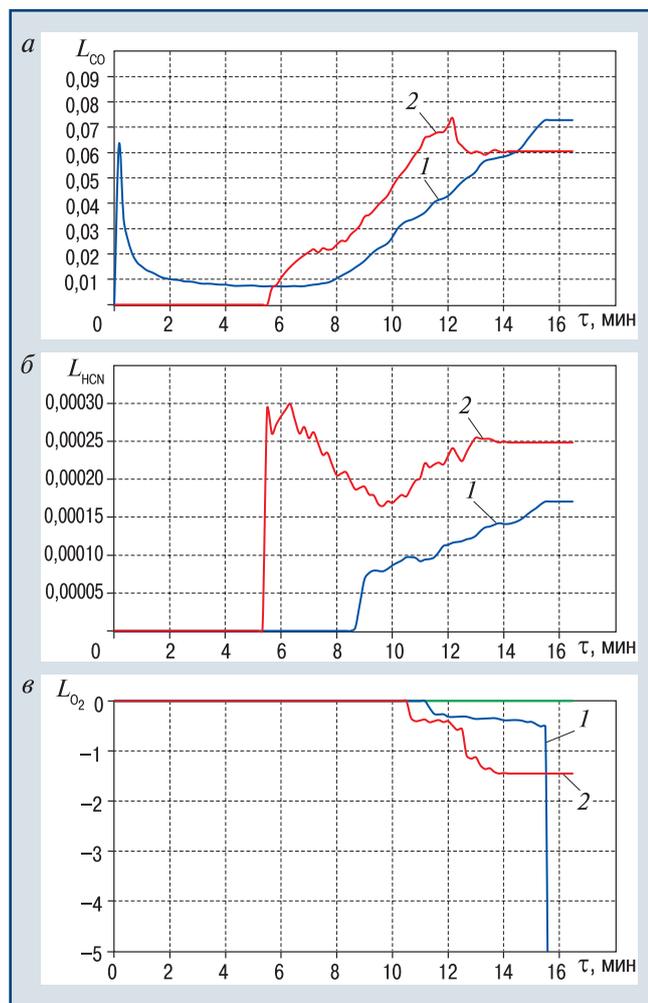
▲ Рис. 6. Зависимости удельной массовой скорости выгорания образца от времени проведения экспериментов  
▲ Fig. 6. The dependence of the specific mass burnout rate of the sample on the time of the experiments



▲ Рис. 7. Зависимости парциальной плотности монооксида углерода (а), циановодорода (б) и кислорода (в) в экспозиционной камере от времени проведения экспериментов  
▲ Fig. 7. Dependences of the partial density of carbon monoxide (а), hydrogen cyanide (б) and oxygen (в) in the exposure chamber on the time of the experiments

Парциальная плотность HCN здесь не достигает критического значения. Однако в зависимости от площади облучаемой тепловым потоком поверхности кабелей она может также превысить критическое значение  $\rho_{\text{HCN кр}}$ .

На рис. 8 (здесь 1, 2 — то же, что на рис. 5) представлены зависимости удельных массовых коэффициентов образования монооксида углерода и циановодорода, а также удельного массового коэффициента поглощения кислорода от времени проведения экспериментов.



▲ Рис. 8. Зависимости удельных массовых коэффициентов образования монооксида углерода (а) и циановодорода (б), а также удельного массового коэффициента поглощения кислорода (в) от времени проведения экспериментов

▲ Fig. 8. Dependences of the specific mass coefficients of carbon monoxide (а) and hydrogen cyanide (б) formation, as well as the specific mass coefficient of oxygen absorption (в) on the time of experiments

Полученные значения удельных массовых коэффициентов образования CO и HCN, а также удельного массового коэффициента поглощения O<sub>2</sub> могут использоваться в математических моделях динамики опасных факторов пожара при расчете времени блокирования путей эвакуации.

## Заключение

Эксперименты показали, что не распространяющийся горение сигнальный кабель, рекомендованный для прокладки в производственных помещениях и в зданиях с массовым пребыванием людей, в условиях реального пожара может выделять высокотоксичные соединения (монооксид углерода и циановодород) в концентрациях, превышающих предельно допустимые значения, и таким образом оказывать отрицательное воздействие на здоровье людей, ставя под угрозу возможность их эвакуации из помещений при пожаре.

## Список литературы

1. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах/ С.В. Пузач, А.В. Смагин, О.С. Лебедченко, Е.С. Абакумов. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.
2. Stec A.A., Hull T.R. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials// Energy and Buildings. — 2011. — Vol. 43. — Iss. 2–3. — P. 498–506. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.10.015
3. Kim N.-K., Cho N.-W., Rie D.-H. A Study on the Risk of Particulate Materials Included in the Combustion Products of Building Materials// Fire Science and Engineering. — 2016. — Vol. 30. — Iss. 1. — P. 43–48. DOI: 10.7731/KIFSE.2016.30.1.043
4. Acute toxicity when concentration varies with time: A case study with carbon monoxide inhalation by rats/ L.M. Sweeney, D.R. Sommerville, M.R. Goodwin et al.// Regulatory Toxicology and Pharmacology. — 2016. — Vol. 80. — P. 102–115. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.014
5. Pauluhn J. Acute inhalation toxicity of carbon monoxide and hydrogen cyanide revisited: Comparison of models to disentangle the concentration × time conundrum of lethality and incapacitation// Regulatory Toxicology and Pharmacology. — 2016. — Vol. 80. — P. 173–182. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.017
6. Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: a European expert consensus/K. Anseeuw, N. Delvau, G. Burillo-Putze et al.// European Journal of Emergency Medicine. — 2013. — Vol. 20. — Iss. 1. — P. 2–9. DOI: 10.1097/MEJ.0b013e328357170b
7. Технические исследования процессов механодеструкции строительных полимерных материалов/ Р.Х. Эркенов, С.К. Эгизов, А.В. Мещеряков, А.Б. Плаксицкий// Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2018. — Т. 1. — № 9. — С. 1018–1019.
8. Пузач С.В., Болдрушкиев О.Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении// Пожаровзрывобезопасность. — 2019. — Т. 28. — № 5. — С. 19–26.
9. Пат. 174688 Рос. Федерация. Установка для определения пожарной опасности конденсированных материалов при их термическом разложении/ С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов; заявл. 20.04.2017; опубл. 26.10.2017.
10. Кабель FRLS и FRHF, нг и нг-LS: что куда? URL: <https://www.220.ru/es2/articles/kabel-frls-i-frhf-ng-i-ng-ls-cto-kuda> (дата обращения: 21.03.2022).

11. *ГОСТ 31565—2012*. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101754> (дата обращения: 21.03.2022).

12. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.

13. *Термогазодинамика пожаров в помещениях*/ В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков. — М.: Стройиздат, 1988. — 448 с.

puzachsv@mail.ru

Материал поступил в редакцию 25 марта 2022 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/«Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 75–80.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-75-80

### Evaluation of the Toxicity of Flame Retardant Signal Cables in Case of Fire in the Industrial Premises

S.V. Puzach, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department Head,  
puzachsv@mail.ru

R.G. Akperov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.

O.S. Lebedchenko, Cand. Sci. (PhD in Law.), Assoc. Prof.

O.B. Boldrushkiev, Senior Engineer — Software Programmer  
State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

#### Abstract

Currently, flame retardant materials made from polymers with flame retardant additives are widely used. However, the thermal effects of the fire on these materials from the point of view of the release of toxic gases are not sufficiently studied.

The purpose of the article is an experimental assessment of the toxicity of the gaseous environment of a room during thermal decomposition of flame retardant signal cables used in the industrial premises and in the buildings with a massive presence of people. Experimental method is used for studying the process of formation of the hydrogen cyanide and carbon monoxide during thermal decomposition of the cable product samples in a small-scale pilot plant. The analysis of the obtained results was carried out. Density of the radiant heat flux incident on the cable surface, which is characteristic of a fire in a room, is modeled. Dependences are obtained concerning the partial densities of hydrogen cyanide and carbon monoxide, as well as the specific emission coefficients of these gases on the duration of experiments in the case of thermal decomposition of a modern flame retardant signal cable of the ng LS FR HF E1180 brand, the insulation of which is made of polymers with flame retardant additives.

It is found that this cable under real fire conditions can release toxic compounds (carbon monoxide and hydrogen cyanide) in the concentrations exceeding their maximum allowable values during the evacuation of people from the premises.

The obtained values of the specific mass coefficients of formation of CO and HCN, as well as the specific mass coefficient of O<sub>2</sub> absorption, can be used in the mathematical models of the dynamics of fire hazards when calculating the time of blocking escape routes in the industrial premises, as well as in the buildings with a mass stay of people, where flame retardant signal cables are located.

**Key words:** thermal decomposition, toxicity, flame retardant cable, experimental setup, heat flux, flame retardant additives, critical concentrations.

#### References

1. Puzach S.V., Smagin A.V., Lebedchenko O.S., Abakumov E.S.. New ideas about the calculation of the required time for evacuating people and the efficiency of using portable filtering self-rescuers during fire evacuation. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 2007. 222 p. (In Russ.).

2. Stec A.A., Hull T.R. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. Iss. 2–3. pp. 498–506. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.10.015

3. Kim N.-K., Cho N.-W., Rie D.-H. A Study on the Risk of Particulate Materials Included in the Combustion Products of Building Materials. *Fire Science and Engineering*. 2016. Vol. 30. Iss. 1. pp. 43–48. DOI: 10.7731/KIFSE.2016.30.1.043

4. Sweeney L.M., Sommerville D.R., Goodwin M.R., James R.A., Channel S.R. Acute toxicity when concentration varies with time: A case study with carbon monoxide inhalation by rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2016. Vol. 80. pp. 102–115. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.014

5. Pauluhn J. Acute inhalation toxicity of carbon monoxide and hydrogen cyanide revisited: Comparison of models to disentangle the concentration × time conundrum of lethality and incapacitation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2016. Vol. 80. pp. 173–182. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.017

6. Anseeuw K., Delvau N., Burillo-Putze G., De Iaco F., Geldner G., Holmström P., Lambert Y., Sabbe M. Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: a European expert consensus. *European Journal of Emergency Medicine*. 2013. Vol. 20. Iss. 1. pp. 2–9. DOI: 10.1097/MEJ.0b013e328357170b

7. Erkenov R.Kh., Egizov S.K., Meshcheryakov A.V., Plaksitskiy A.B. Technical Research of Processes of Mechano-destruction of Building Polymer Materials. *Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy = Fire safety: problems and prospects*. 2018. Vol. 1. № 9. pp. 1018–1019. (In Russ.).

8. Puzach S.V., Boldrushkiev O.B. Defining the specific formation coefficient and the critical partial density of hydrogen cyanide and carbon monoxide at the fire indoors. *Pozharovzryvbezopasnost = Fire and Explosion Safety*. 2019. Vol. 28. № 5. pp. 19–26. (In Russ.).

9. Puzach S.V., Suleykin E.V., Akperov R.G. Installation for determining the fire hazard of condensed materials during their thermal decomposition. Patent № 174688. R.F. Applied: April 20, 2017. Published: October 10, 2017. (In Russ.).

10. Cable FRLS and FRHF, ng and ng-LS: what goes where? Available at: <https://www.220.ru/es2/articles/kabel-frls-i-frhf-ng-i-ng-ls-cto-kuda> (accessed: March 21, 2022). (In Russ.).

11. *ГОСТ 31565—2012*. Cable products. Requirements of fire safety. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200101754> (accessed: March 21). (In Russ.).

12. Koshmarov Yu.A. Forecasting fire hazardous factors indoors. Moscow: Akademiya GPS MVD Rossii, 2000. 118 p. (In Russ.).

13. Astapenko V.M., Koshmarov Yu.A., Molchadskiy I.S., Shevlyakov A.N. Thermogas dynamics of fires in the rooms. Moscow: Stroyizdat, 1988. 448 p. (In Russ.).

Received March 25, 2022

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-81-89

УДК 331.43

© С.С. Кудрявцев, П.В. Емелин, Н.К. Емелина, 2022

# Методика оценки риска для окружающей среды от чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах



**С.С. Кудрявцев,**  
канд. биол. наук,  
доцент



**П.В. Емелин,**  
д-р техн. наук, зам.  
директора



**Н.К. Емелина,**  
канд. экон.  
наук, доцент, ст.  
преподаватель,  
yemelina\_n@mail.ru

НАО «КарТУ им.  
Абылкаса Сагинова»,  
Караганда,  
Республика Казахстан

ТОО «НАКС  
ГАЦ», Караганда,  
Республика  
Казахстан

НИУ ВШЭ, Москва,  
Россия

Экологический риск химически опасного объекта рассматривается как сочетание показателей экологической опасности химически опасного объекта и уязвимости от него окружающей среды. Первый показатель определяется критериальными параметрами, объединенными в три кластера: физико-химические, экотоксикологические свойства аварийно химически опасного вещества и его количество; технологическое оборудование; персонал. Второй показатель вычисляется дифференцированно с учетом того, что экологический риск определяется для объекта, находящегося на суше или в водной среде. После количественного определения показателей с помощью матрицы возможно как определить уровень экологического риска для отдельного участка, так и провести зонирование всей территории вокруг химически опасного объекта.

**Ключевые слова:** химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, оценка риска, экологический риск, химическая безопасность, экологическая безопасность, промышленная безопасность.

**Для цитирования:** Кудрявцев С.С., Емелин П.В., Емелина Н.К. Методика оценки риска для окружающей среды от чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 81–89. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-81-89

## Введение

Действующие международные стандарты системы управления охраной окружающей среды среди мероприятий, направленных на сохранение окружающей среды, рассматривают оценку экологического риска как одно из важнейших [1]. «Исследование устой-

чивости экосистем к антропогенному воздействию и разработка научных основ определения экологических рисков» [2] определены как приоритетные направления экологических научных исследований. Там же [2] описан порядок оценки экологических рисков аудируемого субъекта. Вместе с этим в нормативно-правовой базе экологического законодательства Республики Казахстан (РК) методики, позволяющие определить экологические риски от возможных техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС) на химически опасных объектах (ХОО), до настоящего времени отсутствуют, что делает проведенное авторским коллективом исследование весьма актуальным. Весь спектр параметров, характеризующих уровень экологического риска, представленных в методике, является универсальным, в результате чего использование разработанной методики не ограничивается территорией какого-либо государства.

Разрабатываемые и принятые в РК нормативные документы в области химической безопасности основываются на научных разработках, проведенных еще в бывш. СССР. С сожалением приходится констатировать, что, несмотря на значимость для того времени результатов этих исследований, мировой опыт с тех пор получил значительное развитие.

Директива [3] определяет наименования опасных веществ и указывает их минимальные количества применительно к требованиям низшего и высшего уровней опасностей для предприятий. Эта же директива выделяет два уровня опасности предприятий в зависимости от количества аварийно химически опасных веществ (АХОВ), имеющихся на них: «предприятие низшего уровня опасности» и «предприятие высшего уровня опасности».

В то же время в РК отсутствуют нормативные документы, позволяющие идентифицировать ХОО. Чаще используется более широкое понятие — «опасный производственный объект», определение которого закреплено в ст. 70 Закона РК «О гражданской защите» [4] и в Правилах идентификации опасных производственных объектов [5].

До настоящего времени единый механизм прогнозирования экологических последствий химических аварий еще не разработан. На этом фоне представляется возможным прогнозирование химических аварий на основе риска.

Проведенный анализ научных работ показал, что исследуемая проблема изучалась фрагментарно. За последнее десятилетие опубликовано достаточно

много статей, разработан ряд методик, в которых по отдельности рассматривались физико-химические [6, 7] и экотоксикологические [8] свойства вредных веществ, уязвимость окружающей среды [9, 10], причины аварий на химических предприятиях и факторы, влияющие на аварийность [11]. Однако использование их в оригинальном виде не позволит провести объективный и всеобъемлющий анализ риска для окружающей среды, поскольку те или иные его аспекты останутся неизученными.

С учетом ряда особенностей проводимого исследования представляется целесообразным использование данного методологического подхода для оценки риска воздействия на окружающую среду. Более того, это позволит провести анализ экологического риска аварийного выброса АХОВ комплексно — с точки зрения химической, экологической и промышленной безопасности.

Целью работы является разработка методики многофакторной оценки риска для окружающей среды от техногенных ЧС на ХОО.

#### Материалы и методы

В представленной методике рассматривается ЧС мирного времени, происшедшая по наиболее пессимистическому сценарию [12]. Этот сценарий подразумевает полное разрушение наибольшего по объему полностью заполненного АХОВ резервуара, приведшее к полной утечке АХОВ [13], что является наиболее губительным для окружающей среды последствием.

До настоящего времени в РК ведется учет аварий на предприятиях, приведших исключительно к травмам средней тяжести, тяжелым травмам и гибели персонала. Подобные ЧС не всегда связаны с вредом, причиненным окружающей среде, при этом аварии, причинившие или способные причинить вред окружающей среде, могут быть не зафиксированы в статистических данных уполномоченных органов. Это создает значительные трудности в определении апостериорного риска аварий на ХОО. В этой связи отсутствие объективной базы данных об аварийности наряду с множеством несопоставимых факторов, определяющих частоту и тяжесть экологических последствий и уязвимость окружающей среды, делает актуальным использование в рассматриваемой методике метода экспертных оценок.

Оценка экологического риска для окружающей среды от ЧС техногенного характера на ХОО включает три этапа:

- предварительные исследования;
- сбор и формирование базы данных исходной информации;
- оценка экологического риска.

Цель предварительного этапа исследования — определение критериальных параметров по двум компонентам риска: показателю экологической опасности ХОО и показателю уязвимости окружающей среды от ХОО.

Показатель экологической опасности ХОО является количественно измеренной по установленным критериям вероятностью того, что авария произойдет.

Показатель экологической уязвимости ХОО характеризует степень экологической незащищенности окружающей среды при воздействии поражающего фактора в результате техногенных ЧС.

Для выполнения первого этапа применен метод экспертных оценок. Суть данного метода заключается в организованном сборе суждений и предположений экспертов с последующей обработкой полученных ответов и формированием результатов. Исследовательской группой определены предметная область и цель экспертного исследования. Целью экспертного опроса являлось определение перечня критериальных параметров, степени их влияния и значимости их значений для оценки экологических последствий ЧС техногенного характера на ХОО.

С помощью результатов экспертной оценки рассчитаны весовые коэффициенты для каждого из критериальных параметров:

$$w_j = \frac{\overline{g_j}}{\sum_{j=1}^n g_j}, \quad (1)$$

где  $w_j$  — удельный вес  $j$ -го критериального параметра;  $\overline{g_j}$  — средний арифметический балл оценки экспертами  $j$ -го параметра;  $n$  — число критериальных параметров.

Полученные весовые коэффициенты критериальных параметров далее использованы для разработки многофакторных зависимостей по расчету показателей экологической опасности ХОО и уязвимости окружающей среды от ХОО, а также экологического риска. В табл. 1 представлены кластеры, описывающие показатель опасности ХОО для окружающей среды, в табл. 2 — кластеры, описывающие показатель уязвимости водной среды от ХОО.

При подборе экспертов сформирован базовый список кандидатов, затем предварительный и окончательный. Формирование базового списка кандидатов в состав экспертной группы проводилось по классическому методу «снежного кома» [9]. В итоговый список экспертов вошли 27 высококвалифицированных специалистов в области промышленной, химической, экологической безопасности со средним стажем работы в данной области 14,5 лет.

По данным пунктам каждый эксперт разрабатывает кластеры и перечень критериальных параметров, входящих в них, а также их возможные значения.

На основе кластеров и перечней критериальных параметров, входящих в них, и их возможных значений, предоставленных экспертами, исследова-

Таблица 1

Наименование кластера и критериальных параметров	Значение весового коэффициента
Кластер критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств и количества АХОВ:	
летучесть (давление пара)	0,050
плотность АХОВ	0,040
растворимость в воде	0,050
постоянство (BIOWIN <sub>3</sub> период полураспада)	0,050
биоаккумуляция	0,060
острая токсичность	0,120
хроническая токсичность	0,060
объем хранения	0,170
Итого по кластеру	0,600
Кластер критериальных параметров применяемого на промышленном предприятии оборудования:	
длина систем трубопроводов, транспортирующих АХОВ	0,037
коэффициент износа основных фондов	0,035
коэффициент замены основных средств	0,025
производительность насосов (компрессоров)	0,030
число резервуаров для хранения АХОВ на объекте	0,033
наличие автоматических запорных клапанов	0,040
наличие средств локализации	0,030
Итого по кластеру	0,230
Кластер критериальных параметров работающего на промышленном предприятии персонала:	
количество работников ХОО, прошедших обучение по курсу «Промышленная безопасность на опасных производственных объектах» (повышение квалификации за отчетный период), %	0,070
проведение организационных мероприятий, направленных на безаварийное функционирование производства	0,100
Итого по кластеру	0,170
Суммарный вес трех кластеров	1,000

Таблица 2

Критериальный параметр	Значение весового коэффициента
Расстояние до рассматриваемой скважины, озера или водотока	0,40
Глубина до поверхности подземных вод	0,15
Уклон поверхности подземных вод и направление потока	0,10
Степень водопроницаемости грунта	0,15
Назначение водоема	0,20
Суммарный вес по пяти критериальным параметрам	1,00

тельской группой составлен единый перечень для итоговых опросных анкет.

При помощи итоговых опросных анкет проводится сбор информации о степени влияния и проявлении каждого критериального параметра для определения показателей опасности и уязвимости в

целях прогнозирования экологических последствий ЧС на ХОО.

Для проведения анкетирования применяется система балльных оценок в виде универсальной лингвистической шкалы. С помощью шкалы возможно унифицировать как качественные, так и количественные исходные данные.

На данном этапе эксперты, опираясь на собственный опыт, пользуясь шкалой баллов от 0 до 9, оценивали критериальные параметры по степени их влияния на экологические последствия ЧС на ХОО в целях дальнейшего определения удельных весов каждого критериального параметра для расчета соответствующих показателей (экологическая опасность ХОО, уязвимость окружающей среды). Отсутствие влияния критериального параметра соответствует оценке «0». Максимальное влияние критериального параметра соответствует оценке, равной «9».

После этого исследовательской группой проведены статистический анализ и обработка экспертных оценок в целях определения степени согласованности мнений экспертов, установления итоговых балльных оценок. В результате определены весовые коэффициенты параметров и установлены окончательные оценки для всех допустимых значений критериальных параметров.

Второй этап оценки экологического риска ХОО включал сбор и формирование базы данных исходной информации на основании проведения анкетного опроса промышленных предприятий по показателю экологической опасности ХОО и заполнения анкет по данным специализированных организаций и информационных карт по показателю уязвимости окружающей среды от ХОО.

На третьем этапе информация, получаемая в результате анкетного опроса, а также разработанные формулы для оценки показателей экологической опасности ХОО и уязвимости окружающей среды от ХОО позволяют

оценивать риск экологических последствий в результате ЧС на ХОО для конкретного *i*-го участка окружающей среды. Проведенный расчет для множества *i*-х участков окружающей среды вокруг предприятия позволяет построить карты зонирования экологических рисков. Данные карты являются основой для

анализа и оценки экологической ситуации на ХОО, разработки мероприятий и рекомендаций, направленных на снижение экологического риска.

Результаты исследований, анализа литературных источников, нормативно-технической документации, регулирующей деятельность опасных производственных объектов в области промышленной и экологической безопасности, позволили систематизировать и разработать опросные анкеты для предприятий с ХОО, расположенных на территории Карагандинской обл. Опросные анкеты разрабатывались по двум основным направлениям: определение показателя экологической опасности ХОО и определение показателя уязвимости окружающей среды от ХОО.

*Показатель опасности ХОО.* Он определяется суммарным влиянием факторов, объединенных в три кластера: кластер критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств и количества химически опасных веществ; кластер критериальных параметров применяемого на промышленном предприятии оборудования; кластер критериальных параметров работающего на промышленном предприятии персонала. В табл. 1, в качестве примера, показано распределение весовых коэффициентов этих кластеров для случая, когда проводится оценка экологического риска от ХОО для водной среды.

*Кластер критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств и количества АХОВ.* Тяжесть экологических последствий в первую очередь связана с химическими веществами, находящимися на ХОО, их количеством, физико-химическими и токсикологическими свойствами. При создании методики за основу взяты физико-химические и экотоксикологические свойства АХОВ, рассмотренные в работах [6, 7], в которых авторы изучали экологический риск в случаях аварий на морском и сухопутном транспорте, упростив характеристики АХОВ, приведенные в руководстве ЕРА-748-B12-001 [8], до трех количественных выражений.

Для более удобной и объективной работы в методике большинство дескрипторов получило пять количественных выражений, что позволяет сделать оценку опасности ХОО более развернутой. Для определения значений физико-химических и экотоксикологических свойств АХОВ авторами использовались данные сайтов Европейского химического агентства<sup>1</sup> и Национального института здоровья США<sup>2</sup>. В случае отсутствия фактических сведений о полураспаде отдельных АХОВ использовались результаты экспертной оценки B1OWIN<sub>3</sub> (Агентство по защите окружающей среды США<sup>3</sup>).

<sup>1</sup> URL: <https://www.echa.europa.eu/> (дата обращения: 07.06.2021).

<sup>2</sup> URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 07.06.2021).

<sup>3</sup> URL: <https://epa.gov/> (дата обращения: 07.06.2021).

Также в методике авторов используется дескриптор количества АХОВ, находящихся в обороте на ХОО. Его количественное выражение определяется в соответствии с ч. II приложения I [3]. Данное руководство устанавливает количество АХОВ, соответствующее низшему и высшему уровням опасности в зависимости от его свойств.

Как показал анализ литературных данных [6, 7], критериальные параметры, описывающие экологические риски аварий с выбросом АХОВ в почву, имеют некоторые отличия от таковых для водной среды. В связи с этим в предложенной методике данные случаи рассматриваются по отдельности.

*Кластер критериальных параметров применяемого на промышленном предприятии оборудования.* В табл. 1 представлены дескрипторы, входящие в кластер применяемого на ХОО оборудования, и значения их весовых коэффициентов:

коэффициент износа основных фондов определяется по формуле:

$$K_{и} = n_1/n_2, \quad (2)$$

где  $n_1$  — число технических устройств, отработавших установленный срок эксплуатации, по итогам года;  $n_2$  — число технических устройств, состоящих на учете в качестве основных средств, по итогам года;

коэффициент замены основных средств определяется по формуле:

$$K_{о} = n_3/n_1, \quad (3)$$

где  $n_3$  — число технических устройств, отработавших установленный срок эксплуатации и замененных в течение отчетного года.

Если число технических устройств, отработавших установленный срок эксплуатации, по итогам года равно нулю,  $K_{о}$  принимается равным нулю.

Наличие автоматических запорных клапанов определяется как совокупность возможных вариантов их наличия и расположения на оборудовании и трубопроводах.

Наличие средств локализации определяется как совокупность возможных вариантов и их сочетаний: физические барьеры (поддоны), специальная канализация, реактивы для нейтрализации, технологическая возможность аварийного сброса. Если производственным процессом какое-либо из перечисленных средств не предусмотрено (обусловлено физико-химическими свойствами АХОВ или возможностью ухудшения обстановки), то по умолчанию данное средство локализации считается условно в наличии.

*Кластер критериальных параметров работающего на ХОО персонала.* В табл. 1 представлены дескрипторы, входящие в кластер работающего на предприятии персонала, и их весовые коэффициенты. Организационные мероприятия, на-

правленные на безаварийное функционирование производства, характеризуются наличием и частотой пересмотра инструкций и схем, качеством профилактических работ и ремонта оборудования, наличием средств автоматического контроля и мониторинга технологического процесса, графиком трудового процесса.

*Показатель уязвимости окружающей среды от ХОО.* В работе [9] среди ряда дескрипторов уязвимости окружающей среды рассматриваются расстояние до водного объекта, глубина подземных вод, уклон земной поверхности и характеристики грунта. При этом не имеет значения тот факт, находится ли объект окружающей среды на суше (почва) или это водный объект. По мнению авторов, это все-таки имеет значение при определении показателя уязвимости окружающей среды. В табл. 2 в качестве примера приведены дескрипторы, описывающие показатель уязвимости водной среды от ХОО.

Использование типа грунта в качестве критериального параметра не вполне оправданно. Дело в том, что фактически грунт не всегда является однородным, часто толща грунта образована слоями, имеющими разную водопроницаемость. В этой связи более уместным будет использование в качестве дескриптора степени водопроницаемости грунта, о которой можно судить по коэффициенту фильтрации.

Для сбора и анализа исходных данных (топография поверхности, гидрогеологические параметры и др.) необходимо использовать соответствующие карты. В случае отсутствия сведений о гидрогеологии и характеристиках грунта применяются данные, полученные для ближайших к исследуемому объекту точек. Объединение карт различных физиографических атрибутов позволяет создать карты уязвимости исследуемого района.

*Критериальные параметры для оценки уязвимости окружающей среды от ХОО.* Выделим следующие критериальные параметры:

расстояние до рассматриваемого объекта. Чем ближе находится оцениваемая точка к рассматриваемому земельному участку или водотоку, тем выше шанс попадания загрязнителей в поверхностные воды и их транспортировки на значительные расстояния;

глубина до поверхности подземных вод. Чем выше уровень грунтовых вод, тем активнее они будут влиять на гидродинамические показатели изучаемого объекта;

уклон поверхности подземных вод и направление потока. Данный параметр в целом определяет миграционные способности загрязнителей. С усилением уклона более активно станут протекать и различные склоновые процессы, что может существенно влиять на результаты экологического воздействия;

степень водопроницаемости грунта. Согласно [14] грунт по степени водопроницаемости подра-

зделяется на пять категорий: неводопроницаемый, слабоводопроницаемый, водопроницаемый, сильноводопроницаемый, очень сильноводопроницаемый. С ростом данного показателя увеличивается опасность химического загрязнения грунтовых вод, имеющих непосредственную связь с водным объектом (скважина, озеро или водоток). Чем выше этот показатель, тем активнее происходит перемещение загрязнителей;

назначение водоема. Исходя из текущей ситуации и планов развития водопользования, назначение исследуемых территорий представляется в следующем виде: питьевое, водохозяйственное, культурно-бытовое, природные водно-болотные угодья и другие типы. Уязвимость объекта будет определяться в соответствии с масштабом защитных мероприятий [10].

### Оценка экологического риска химически опасного объекта

Под экологическим риском ХОО понимается сочетание двух составляющих риска. В качестве первой составляющей принят показатель экологической опасности ХОО, который является количественно измеренной по установленным критериям вероятностью того, что авария произойдет. Второй составляющей является показатель уязвимости окружающей среды от ХОО, который характеризуется степенью незащищенности окружающей среды при воздействии поражающего фактора в результате техногенных ЧС.

Оценка экологического риска ХОО проводится по следующим этапам:

определение и оценка показателя экологической опасности для наиболее опасного для окружающей среды сценария развития ЧС на ХОО;

определение и оценка показателя уязвимости окружающей среды для наиболее опасного для окружающей среды сценария развития ЧС на ХОО;

определение экологического риска от ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды.

### Расчет и оценка показателя экологической опасности ХОО

На основании данных о степени влияния множества критериальных параметров  $\{n\}$  и значимости их значений определяется показатель экологической опасности ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды:

$$ПЭО_i = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^n w_j f_j, \quad (4)$$

где  $n$  — число критериальных параметров по  $k$ -му кластеру показателя экологической опасности ХОО;  $f_j$  — оценка значимости значения критериального параметра.

Показатель экологической опасности ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды будет определяться как

$$\begin{aligned}
 ПЭО_i = & [0,05(f_{11} + f_{13} + f_{14}) + 0,04f_{12} + \\
 & + 0,06(f_{15} + f_{17}) + 0,12f_{16} + 0,17f_{18}] + \\
 & + [0,037f_{21} + 0,035f_{22} + 0,025f_{23} + \\
 & + 0,03(f_{24} + f_{27}) + 0,033f_{25} + 0,04f_{26}] + \\
 & + (0,07f_{31} + 0,1f_{32}), \quad (5)
 \end{aligned}$$

где по кластеру критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств ХОО для водной среды:  $f_{11}$  — оценка значимости летучести (давление пара), кПа;  $f_{12}$  — оценка значимости плотности АХОВ, г/см<sup>3</sup>;  $f_{13}$  — оценка значимости растворимости в воде, мг/л;  $f_{14}$  — оценка значимости постоянства (B1OWIN<sub>3</sub> период полураспада);  $f_{15}$  — оценка значимости биоаккумуляции ( $\log K_{ow}$ );  $f_{16}$  — оценка значимости острой токсичности (LC/EC50), мг/л;  $f_{17}$  — оценка значимости хронической токсичности (NOEC), мг/л;  $f_{18}$  — оценка значимости объема хранения, т; по кластеру критериальных параметров применяемого на ХОО оборудования:  $f_{21}$  — оценка значимости длины систем трубопроводов, транспортирующих АХОВ, м;  $f_{22}$  — оценка значимости коэффициента износа основных фондов, доли;  $f_{23}$  — оценка значимости коэффициента замены основных средств, доли;  $f_{24}$  — оценка значимости производительности насосов (компрессоров), м<sup>3</sup>/ч;  $f_{25}$  — оценка значимости числа резервуаров для хранения АХОВ на объекте;  $f_{26}$  — оценка значимости наличия автоматических запорных клапанов;  $f_{27}$  — оценка значимости наличия средств локализации; по кластеру критериальных параметров работающего на ХОО персонала:  $f_{31}$  — оценка значимости количества работников ХОО, прошедших обучение по курсу «Промышленная безопасность на опасных производственных объектах» (повышение квалификации за отчетный период), %;  $f_{32}$  — оценка значимости проведения организационных мероприятий, направленных на безаварийное функционирование производства.

Рассчитанные значения показателей экологической опасности ХОО по формуле (5) соответствуют определенной степени экологической опасности ХОО. Шкала для определения степени экологической опасности ХОО представлена в табл. 3.

**Расчет и оценка показателя уязвимости окружающей среды от ХОО**

На основании данных о степени влияния множества критериальных параметров  $\{m\}$  и значимости их значений определяется показатель уязвимости окружающей среды от ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды:

$$ПУ_i = \sum_{j=1}^m a_j y_j, \quad (6)$$

Таблица 3

Интервалы показателя экологической опасности ХОО	Степень экологической опасности ХОО
ПЭО <sub>i</sub> = 0	Отсутствует
0 < ПЭО <sub>i</sub> ≤ 2	Слабая
2 < ПЭО <sub>i</sub> ≤ 3	Умеренная
3 < ПЭО <sub>i</sub> ≤ 4	Значительная
4 < ПЭО <sub>i</sub> ≤ 5	Сильная

где  $m$  — число критериальных параметров, образующих кластер по оценке показателя уязвимости окружающей среды от ХОО;  $a_j$  — удельный вес  $j$ -го критериального параметра уязвимости;  $y_j$  — балльная оценка значимости значения критериального параметра уязвимости.

Показатель уязвимости окружающей среды от ХОО для  $i$ -й водной среды будет определяться как

$$\begin{aligned}
 ПУ_i = & 0,4y_1 + 0,15y_2 + 0,1y_3 + \\
 & + 0,15y_4 + 0,2y_5, \quad (7)
 \end{aligned}$$

где по кластеру критериальных параметров, описывающих показатель уязвимости окружающей среды от ХОО для водной среды:  $y_1$  — оценка значимости расстояния до рассматриваемой скважины, озера или водотока, м;  $y_2$  — оценка значимости глубины до поверхности подземных вод, м;  $y_3$  — оценка значимости уклона поверхности подземных вод и направление потока;  $y_4$  — оценка значимости степени водопроницаемости грунта, м/сут;  $y_5$  — оценка значимости назначения водоема.

Показателю уязвимости, рассчитанному по (6), соответствует степень уязвимости окружающей среды от ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды. Шкала для оценки степени уязвимости окружающей среды от ХОО приведена в табл. 4.

Таблица 4

Интервалы показателя уязвимости окружающей среды от ХОО для $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды	Степень уязвимости окружающей среды от ХОО для $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды
ПУ <sub>i</sub> = 0	Отсутствует
0 < ПУ <sub>i</sub> ≤ 2	Низкая
2 < ПУ <sub>i</sub> ≤ 4	Средняя
4 < ПУ <sub>i</sub> ≤ 6	Значительная
6 < ПУ <sub>i</sub>	Высокая

**Определение риска экологических последствий в результате чрезвычайной ситуации на химически опасном объекте**

Определение риска экологических последствий в результате ЧС на ХОО проводится по различным сочетаниям составляющих риска: показателя экологической опасности по всем возможным видам

аварий на ХОО, показателя уязвимости окружающей среды по всем возможным видам аварий на ХОО.

Для удобства процедуры оценивания риска применяют матрицы (см. рисунок), в которых выделено и обозначено цветом пять уровней риска: незначительный, малый, умеренный, повышенный и критический. По рассчитанным показателям экологической опасности и уязвимости и данным (см. рисунок) определяется риск экологических последствий в результате ЧС на ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды. В качестве общего риска аварий выбирается наиболее высокий из всех полученных для каждого вида аварии.

Показатель опасности	Показатель уязвимости				
	0	$0 < ПУ_i \leq 2$	$2 < ПУ_i \leq 4$	$4 < ПУ_i \leq 6$	Более 6
0	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
$0 < ПЭО_i \leq 2$	Отсутствует	Незначительный	Малый	Умеренный	Повышенный
$2 < ПЭО_i \leq 3$	Отсутствует	Малый	Умеренный	Повышенный	Повышенный
$3 < ПЭО_i \leq 4$	Отсутствует	Умеренный	Повышенный	Повышенный	Критический
$4 < ПЭО_i \leq 5$	Отсутствует	Повышенный	Повышенный	Критический	Критический

▲ Матрица оценки риска экологических последствий в результате ЧС на ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды

▲ Risk assessment matrix of the environmental consequences as the result of emergencies at chemically hazardous objects for the  $i$ -th land plot (soil), object or aquatic environment

### Заключение

Представленная методология позволяет провести всестороннюю оценку экологического риска от химически опасных объектов с точки зрения химической, экологической и промышленной безопасности. В настоящее время исследовательской группой проводится работа по созданию на основе данной методики информационно-аналитической системы, способной систематизировать и обрабатывать информацию для проведения анализа и управления экологическими рисками, осуществлять мониторинг экологической безопасности в целях оперативного реагирования на изменение факторов, влияющих на состояние защищенности опасного производственного объекта, и определять необходимые превентивные мероприятия, направленные на предупреждение аварий.

Статья написана в рамках реализации гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан АР09259869.

### Список литературы

1. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites. URL: <https://www.eeer.org/upload/eeer-2020-386.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).
2. Экологический кодекс Республики Казахстан: Кодекс Республики Казахстан от 2 янв. 2021 г. № 400-VI. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: 07.06.2021).

3. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/TXT/?uri=CELEX:32012L0018> (дата обращения: 07.06.2021).

4. О гражданской защите: Закон Республики Казахстан от 11 апр. 2014 г. № 188-V. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1400000188> (дата обращения: 07.06.2021).

5. Об утверждении Правил идентификации опасных производственных объектов: приказ министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 дек. 2014 г. № 353. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010310> (дата обращения: 07.06.2021).

6. Kemikaalikuljetusonnettomuuteen varautuminen Kymenlaaksossa, Ympäristö riskien arviointi ja puhdistusmenetelmien valinta (Preparedness for chemical transport accident in Kymenlaakso, Evaluation of environmental risks and suitable remediation methods). Final report of the ChemRisk project. In Finnish only/ J. Häkkinen, A. Kiiski, V. Malk et al. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264382277\\_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen\\_varautuminen\\_Kymenlaaksossa\\_Ymparistoriskien\\_arviointi\\_ja\\_puhdistusmenetelmien\\_valinta\\_Preparedness\\_for\\_chemical\\_transport\\_accident\\_in\\_Kymenlaakso\\_Evaluation\\_of\\_environ](https://www.researchgate.net/publication/264382277_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen_varautuminen_Kymenlaaksossa_Ymparistoriskien_arviointi_ja_puhdistusmenetelmien_valinta_Preparedness_for_chemical_transport_accident_in_Kymenlaakso_Evaluation_of_environ) (дата обращения: 07.06.2021).

7. Environmental risk assessment of the most commonly transported chemicals: case study of Finnish coastal areas/ J. Häkkinen, V. Malk, A. Posti et al.//WMU Journal of Maritime Affairs. — 2013. — Vol. 12. — P. 147–160. DOI: 10.1007/S13437-013-0046-5

8. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Futures. P2 Framework Manual 2012 EPA-748-B12-001. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/05.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).

9. Andersson Å.S. Development of an Environment-Accident Index. A planning tool to protect the environment in case of a chemical accident. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:141970/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).

10. Integrated Environmental Risk Assessment and Whole-Process Management System in Chemical Industry Parks/ Ch. Shao, J. Yang, X. Tian et al.// International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2013. — № 10. — P. 1609–1630. DOI: 10.3390/ijerph10041609

11. Kidam K., Hurme M., Hassim M.H. Technical Analysis of Accident in Chemical Process Industry and Lessons Learnt// Chemical Engineering Transactions. — 2010. — Vol. 19. — P. 451–456. DOI: 10.3303/CET1019074

12. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. Книга 2. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767471.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).

13. *Расследование и учет аварий и несчастных случаев*: сб. док. — Сер. 29. — Вып. 1. — 14-е изд., испр. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. — 220 с.

14. *ГОСТ 25100—95*. Грунты. Классификация. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000030> (дата обращения: 07.06.2021).

yemelina\_n@mail.ru

*Материал поступил в редакцию 5 апреля 2022 г.*

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 81–89.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-81-89

#### Methodology of Risk Assessment for the Environment from Emergencies at the Chemically Hazardous Objects

S.S. Kudryavtsev, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

P.V. Yemelin, Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director

LLP «NACW HCC», Karaganda, Republic of Kazakhstan

N.K. Yemelina, Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof., Senior Lecturer, yemelina\_n@mail.ru

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

#### Abstract

The relevance of the work is due to the lack of a unified methodology for assessing environmental risks from hazardous production objects in the Republic of Kazakhstan, which makes it especially in demand against the backdrop of an increase in the number of new enterprises. The aim of the work is to develop a methodology for multifactorial assessment of the environmental risk from the technogenic accidents at chemically hazardous objects. The methodology uses the method of expert assessments. Employees of the Industrial Safety Committee and the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan and their territorial subdivisions, employees of chemically hazardous objects responsible for their safe operation and environmental protection were involved as experts. Further, the statistical analysis and processing of expert assessments were carried out with the aim to determine the degree of agreement of expert opinions, to establish the final scores. This made it possible to determine the weight coefficients of the parameters and establish the final estimates for all valid values of the criteria parameters. The environmental risk of a chemically hazardous object is considered as a combination of indices of the environmental hazard of a chemically hazardous object, and the vulnerability of the environment from it. The first index is determined by the criterion parameters, united in 3 clusters: physicochemical, ecotoxicological properties of a hazardous chemical and its amount; technological equipment; and staff. After a quantitative assessment of the indicators using a matrix, it is possible to determine the level of environmental risk, both for a separate territory, and for zoning the entire territory around a chemically hazardous object. In the future, the creation of an information and analytical system based on the presented methodology will allow specialists to objectively

and quickly analyze the state of the environmental safety at industrial objects, make informed management decisions aimed at reducing the environmental risk to the environment around the chemically hazardous objects, and monitor the efficiency of the measures applied.

**Key words:** chemically hazardous object, hazardous chemical, risk assessment, environmental risk, chemical safety, environmental safety, industrial safety.

#### References

1. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites. Available at: <https://www.eeer.org/upload/eeer-2020-386.pdf> (accessed: June 7, 2021).

2. Environmental Code of the Republic of Kazakhstan: Code of the Republic of Kazakhstan of January 2, 2021 № 400-VI. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

3. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/TXT/?uri=CELEX:32012L0018> (accessed: June 7, 2021).

4. On Civil Protection: The Law of the Republic of Kazakhstan of April 11, 2014 № 188-V. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1400000188> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

5. On approval of the Rules for the identification of hazardous production facilities: Order of the Minister for Investment and Development of the Republic of Kazakhstan of December 30, 2014 № 353. Available at: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010310> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

6. Häkkinen J., Kiiski A., Malk V., Myyrä M., Penttinen O.-P. Kemikaalikuljetusonnettomuuteen varautuminen Kymenlaaksossa, Ympäristöriskien arviointi ja puhdistusmenetelmien valinta (Preparedness for chemical transport accident in Kymenlaakso, Evaluation of environmental risks and suitable remediation methods). Final report of the ChemRisk project. In Finnish only. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/264382277\\_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen\\_varautuminen\\_Kymenlaaksossa\\_Ymparistoriskien\\_arviointi\\_ja\\_puhdistusmenetelmien\\_valinta\\_Preparedness\\_for\\_chemical\\_transport\\_accident\\_in\\_Kymenlaakso\\_Evaluation\\_of\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/264382277_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen_varautuminen_Kymenlaaksossa_Ymparistoriskien_arviointi_ja_puhdistusmenetelmien_valinta_Preparedness_for_chemical_transport_accident_in_Kymenlaakso_Evaluation_of_environment) (accessed: June 7, 2021).

7. Häkkinen J., Malk V., Posti A., Penttinen O.-P., Mäkelä R., Kiiski A. Environmental risk assessment of the most commonly transported chemicals: case study of Finnish coastal areas. WMU Journal of Maritime Affairs. 2013. Vol. 12. pp. 147–160. DOI: 10.1007/S13437-013-0046-5

8. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Futures. P2 Framework Manual 2012 EPA-748-B12-001. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/05.pdf> (accessed: June 7, 2021).

9. Andersson Å.S. Development of an Environment-Accident Index. A planning tool to protect the environment in case of a chemical accident. Available at: <https://www.diva-portal.org/>

smash/get/diva2:141970/FULLTEXT01.pdf (accessed: June 7, 2021).

10. Shao Ch., Yang J., Tian X., Ju M., Huang L. Integrated Environmental Risk Assessment and Whole-Process Management System in Chemical Industry Parks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013. № 10. pp. 1609–1630. DOI: 10.3390/ijerph10041609

11. Kidam K., Hurme M., Hassim M.H. Technical Analysis of Accident in Chemical Process Industry and Lessons Learnt. *Chemical Engineering Transactions*. 2010. Vol. 19. pp. 451–456. DOI: 10.3303/CET1019074

12. Collection of methods for predicting possible accidents, catastrophes, natural disasters in the RSChS. Book 2. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767471.pdf> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

13. Investigation and accounting of injuries and accidents: collection of reports. Ser. 29. Iss. 1. 4-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTTs PB, 2010. 220 p. (In Russ).

14. GOST 25100–95. Soils. Classification. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200000030> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

*Received April 5, 2022*

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Проблемы анализа риска (научно-практический журнал)

**Михеев П.Н. Экстремальные метеорологические явления как факторы риска для объектов нефтегазовой отрасли. — 2021. — № 6. — С. 16–20.**

Рассматриваются вопросы, связанные с влиянием изменения повторяемости, интенсивности и продолжительности экстремальных метеорологических явлений на объекты нефтегазовой отрасли. В качестве характеристик экстремальных явлений используются рекомендованные Всемирной метеорологической организацией климатические индексы. Продемонстрированы возможности использования климатических индексов для идентификации физических рисков применительно к объектам нефтегазовой отрасли. Рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости климатических индексов и выявлены географические регионы Содружества Независимых Государств, наиболее и наименее уязвимые к изменениям экстремальных характеристик климата. Полученные результаты могут использоваться как на уровне отдельных предприятий и объектов нефтегазовой отрасли, так и при разработке общих для отрасли нормативных актов.

**Иващенко И.Н., Гончаров М.А. Безопасность и риск эксплуатируемых сооружений: методология оперативной оценки. — 2021. — № 6. — С. 66–83.**

Представлены две методики оценки риска гидротехнических сооружений (плотин): детерминированная и вероятностная. Методика детерминированной оценки риска использует индексы риска (индекс состояния плотины I), а также методы нечеткой логики для объединения исходной количественной и качественной (экспертной) информации о состоянии эксплуатируемой плотины. Применяемый подход соответствует рекомендациям ИЕС 31010: 2019. «Управление рисками — Методы оценки рисков. NEQ». Детерминированные оценки состояния в форме индексов риска использованы также в качестве исходных данных при оценке вероятности аварии и разработке вероятностной методики оценки рис-

ка. Модифицированные в процессе исследований исходная база данных и шкала оценки повреждений обобщают опыт обследований и экспертизы деклараций безопасности более 180 гидротехнических сооружений России. Дано описание методик начальной оценки и оцифровки (квантификации) индекса состояния I, а также объединения исходной количественной и качественной (экспертной) информации о различных повреждениях. Показана практическая целесообразность и возможность категоризации (с нечеткими границами) состояний и уровней повреждений гидротехнических сооружений. Применительно к различным состояниям и уровням повреждений предложены практические действия по обеспечению безопасности плотин в процессе мониторинга, обследования, разработки проекта реконструкции и его экспертизы. В результате исследований установлена зависимость вероятности аварии «rfailure» от среднего значения индекса I<sub>ср</sub> и представлен график «rfailure — I<sub>ср</sub>». Сформулированы предложения по практическому применению предлагаемых методик оценки риска эксплуатируемых плотин, а также рассмотрена ближайшая перспектива исследований в сфере оценки риска и обеспечения безопасности плотин.

**Брыкалов С.М., Трифонов В.Ю., Гурьева Е.А. Разработка классификатора рисков как этап успешного риск-менеджмента. — 2021. — № 6. — С. 40–53.**

Приведен анализ подходов к классификации рисков промышленных предприятий, сделаны выводы об их отличительных преимуществах и недостатках, а также оценены возможности их применения на предприятиях атомной отрасли. Предложен оригинальный персонализированный подход к разработке классификатора рисков с учетом специфики деятельности и отраслевой принадлежности промышленного предприятия. Представлен пример алгоритма разработки классификатора рисков с применением данного подхода для промышленного предприятия Госкорпорации «Росатом», который может быть применен в различных отраслях промышленности и может представлять интерес для научных работников и специалистов в области управления рисками.

## День Ростехнадзора в Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт»

17 мая 2022 г. в Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ») прошел День Ростехнадзора. В 2019 г. положено начало этой хорошей традиции — четыре года назад проведена первая аналогичная встреча.



Подобные мероприятия проводятся в рамках взаимодействия Ростехнадзора с НИУ «МЭИ», прежде всего для разъяснения студентам специфики надзорной деятельности ведомства и привлечения молодых специалистов в ряды служащих Ростехнадзора.

Открыл День Ростехнадзора в НИУ «МЭИ» ректор университета Н.Д. Рогалев, указав, что сотрудничество с Ростехнадзором важно и для самого вуза, и для тех учебных заведений, работу которых он координирует, а те шаги, которые делаются совместно, полезны для повышения квалификации и студентов, и персонала.

Затем студентов и сотрудников НИУ «МЭИ» поприветствовал руководитель Ростехнадзора А.В. Трембицкий. Он обратил внимание слушате-



лей на то, что в Ростехнадзоре уже работает значительное число выпускников НИУ «МЭИ».

«На протяжении 92 лет с 1930 г. НИУ «МЭИ» выпустил несколько десятков тысяч высококлассных специалистов, которые трудились и продолжают работать в организациях топливно-энергетического комплекса России. Сегодня российская энергетика — базовая отрасль, обеспечивающая устойчивое и динамическое развитие страны, а количество занятого в ней персонала превышает 2 млн человек. При этом сама энергетика переживает серьезные преобразования, базирующиеся на новых современных технологиях, и здесь очень важен приход в отрасль новых современных специалистов, которые будут готовы это все воплощать в жизнь и продолжить развитие отрасли», — отметил глава Ростехнадзора.

Он подчеркнул, что НИУ «МЭИ» стал первым вузом, с которым Ростехнадзор начал сотрудничество в области подготовки кадров. Пилотный проект с университетом уже принес заметные результаты в части повышения кадрового потенциала и уровня профессиональных компетенций новых сотрудников, а также развития совместной научной деятельности. Уже в 2022 г. состоится первый выпуск во многом уникальной магистерской программы «Контрольно-надзорная деятельность в электроэнергетике». Уникальность состоит в том, что на выходе Ростехнадзор получит компетентных дипломированных специалистов, готовых к осуществлению контрольно-надзорной деятельности на предприятиях энергетики, т.е. не придется тратить дополнительное время и привлекать работников Службы для того, чтобы обучить всем необходимым навыкам новых сотрудников. Этот этап будет проходить еще в вузе с привлечением специалистов Ростехнадзора в качестве преподавателей в установленном порядке.

Руководитель Службы отметил: «Работа в Ростехнадзоре развивает в его работниках ряд очень важных качеств — компетентность, знание нор-



мативных требований для отрасли, дисциплинированность, ответственность. Они всегда востребованы в любой отрасли нашей экономики. Любая крупная компания с удовольствием берет к себе специалистов, прошедших государственную службу в Ростехнадзоре, и это очень понятный важный аргумент для людей, которые приходят к нам на работу. Именно успешное взаимодействие с НИУ «МЭИ», достигнутые в его рамках результаты и встречи в подобном формате стали основанием для создания подобных отношений с другими крупными вузами страны — НИТУ «МИСиС» и НИУ МГСУ».

Затем выступил заместитель руководителя Ростехнадзора Д.И. Фролов. Он поздравил всех с наступающим праздником — 78-летней годовщиной образования государственного энергетического надзора, коротко рассказав историю его создания, и подчеркнул значимость труда сотрудников госэнергонадзора в обеспечении безопасности и надежности работы энергетики страны. Отметил важность сотрудничества Ростехнадзора и НИУ «МЭИ», который рассматривается не только как источник высококвалифицированных и талантливых кадров, но и как надежный партнер по многим другим направлениям.



«Несколько студентов, обучающихся по программе «Контрольно-надзорная деятельность в электроэнергетике», уже работают в Управлении государственного энергетического надзора Ростехнадзора; на регулярной основе студенты проходят практику в данном управлении; ежегодно НИУ «МЭИ» на основе данных Ростехнадзора проводит научно-исследовательскую работу, анализируя причины травматизма с летальным исходом на поднадзорных Ростехнадзору энергетических объектах за несколько лет и выдавая рекомендации по снижению его уровня, отчет по которой направляется в территориальные органы Службы и поднадзорные организации для изучения и применения в своей деятельности с учетом риск-ориентированного подхода; директор Института электроэнергетики В.Н. Тульский входит в состав Общественного совета при Ростехнадзоре, заведующая кафедрой инженерной экологии и охраны труда О.Е. Кондратьева — в состав 7-й секции Научно-технического совета Ростехнадзора «Совершенствование государственного энергетического надзора»; специалисты НИУ «МЭИ» проводят техническую учебу для повышения квалификации работников Управления государственного энергетического надзора Ростехнадзора, в том числе по

части совершенствования владения и применения русского языка», — рассказал Д.И. Фролов.

Также он выразил уверенность, что в дальнейшем эффективность взаимодействия будет лишь повышаться, появятся новые способы реализации скрытого в настоящее время потенциала сотрудничества.

Затем слово передали руководителю Приволжского управления Ростехнадзора А.Ф. Мубаракшину. Он вкратце рассказал студентам об осуществлении контрольной (надзорной) деятельности на территории республик Татарстан, Чувашия и Марий Эл, а также познакомил слушателей с особенностями формирования кадрового резерва и перспективами работы в региональных подразделениях.



Так как в 2022 г. в НИУ «МЭИ» состоится первый выпуск специалистов по образовательной программе «Контрольно-надзорная деятельность в электроэнергетике», перед аудиторией выступила А.С. Тимченко — магистр второго года этой программы и специалист-эксперт отдела организации надзорных мероприятий Управления государственного энергетического надзора Ростехнадзора.



«По статистике, в России две трети выпускников вузов идут работать не по специальности. При этом для любой работы требуются определенные знания, умения, навыки. Ростехнадзор и НИУ «МЭИ» дают своим студентам такую редкую в наше время возможность — действительно применять все полученные в процессе обучения знания на практике, учиться не «для корочки», а делать вклад в свое развитие и будущую карьеру. По моему опыту вся полученная теория, начиная уже с первого семестра обучения, находит свое применение в работе. Очень помогает изучение основных нормативных документов, которые также разбираются на занятиях. Знание законодательства — это база, на которой строится любая деятельность, и в процессе работы к нему приходится обращаться регулярно. Для меня и работа, и обучение — исключительно положительный опыт. В этом году я заканчиваю обучение в магистратуре, готовлюсь к защите выпускной работы. Совмещение учебы и работы — это достаточно трудная задача, но результат свой дает, позволяет без отрыва от работы повышать уровень знаний и

квалификацию», — поделилась опытом А.С. Тимченко.

Ключевым событием встречи стало торжественное подписание актуализированного Соглашения о взаимодействии между Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», заключенного 3 апреля 2019 г. Обновленный документ подписан руководителем Ростехнадзора А.В. Трембицким и ректором НИУ «МЭИ» Н.Д. Рогалевым.

Соглашение предполагает продолжение сотрудничества, направленного на решение задач в области развития электроэнергетической отрасли и ее кадрового обеспечения:

- подготовка специалистов по образовательной программе магистратуры «Контрольно-надзорная деятельность в электроэнергетике» по направлению «Электроэнергетика и электротехника»;

- анализ травматизма с летальным исходом на поднадзорных Ростехнадзору энергетических объектах и формирование рекомендаций по снижению уровня травматизма;

- научно-техническое сопровождение вопросов, представляющих взаимный интерес для сторон;

- сотрудничество в процессе разработки и экспертизы проектов нормативно-правовых актов Российской Федерации;

- выработка совместных документов, проектов решений, включая подготовку предложений по изменению действующего законодательства;

- совершенствование и актуализация нормативно-методической базы в сфере деятельности Ростехнадзора;

- подготовка предложений о внесении изменений в законодательство Российской Федерации;

- развитие научно-методической поддержки по вопросам, относящимся к компетенции сторон;

- планирование, организация и проведение тематических семинаров, публичных обсуждений и других мероприятий, в том числе международных, по актуальным вопросам сотрудничества с привлечением представителей государственных органов, общественных организаций, науки и обеспечение участия в них представителей сторон.

В ходе встречи А.В. Трембицкий наградил Н.Д. Рогалева почетной грамотой Ростехнадзора за личный вклад в решение задач, возложенных на Ростехнадзор.

Затем руководитель Ростехнадзора и остальные члены делегации ответили на вопросы студентов НИУ «МЭИ»: об уровне заработной платы служащих; о качествах, которыми должны обла-



дать кандидаты на должность; о рисках эмоционального выгорания работников и мерах его преодоления и др.

После этого ректор НИУ «МЭИ» провел экскурсию по университету для руководства Ростехнадзора. Участники делегации посетили лабораторию умных сетей и высоковольтный зал кафедры техники и электрофизики высоких напряжений, познакомились с электродинамической моделью электроэнергетической системы и 3D-тренажером подстанции 220 кВ, осмотрели классы Школы юного энергетика.



Параллельно в аудитории продолжилось общение представителей Ростехнадзора со студентами.



Начальник Управления государственной службы и кадров Ростехнадзора Д.С. Конькова выступила с докладом «Особенности прохождения государственной гражданской службы».

Далее студентов посвятили в азы федерального государственного энергетического надзора в области безопасности гидротехнических сооружений заместитель начальника Управления государственного энергетического надзора Ростехнадзора Е.А. Бибин и начальник отдела по надзору за гидроэлектростанциями и гидротехническими сооружениями В.И. Пименов.

Встреча завершилась аплодисментами, которыми студенты поблагодарили работников Ростехнадзора за предоставленную возможность ближе познакомиться со спецификой этой очень важной и интересной профессии.

Специально для журнала «Безопасность труда в промышленности» своим мнением поделились принимавшие участие в Дне Ростехнадзора ведущие работники НИУ «МЭИ».



Директор Института электроэнергетики НИУ «МЭИ» В.Н. Тульский отметил: «В настоящее время спрос на специалистов, способных осуществлять контрольно-надзорную деятельность, огромен. Они востребованы и в феде-

ральных службах, и в энергетических компаниях для проведения внутренних проверок и осуществления взаимодействия с контрольно-надзорными органами. И мы прекрасно понимаем, что для подготовки востребованного специалиста нужна не только хорошо проработанная образовательная программа, но и мощный преподавательский состав. Подготовку по этой программе ведут преподаватели, имеющие большой опыт работы на энергетических предприятиях и в контрольно-надзорных органах».



Заведующая кафедрой инженерной экологии и охраны труда НИУ «МЭИ» О.Е. Кондратьева подчеркнула: «Выпускники программы «Контрольно-надзорная деятельность в электроэнергетике» обладают уникальной совокупностью компетенций: с одной стороны — это грамотные технические спе-

циалисты, хорошо понимающие основные риски и слабые места на энергетических объектах. С другой — специалисты, прекрасно владеющие нормативно-правовой базой и способные осуществлять как внутренний аудит в области промышленной безопасности и охраны труда, так и контрольно-надзорную деятельность в качестве инспекторов федеральных служб».

**А.С. Ефремова (Ростехнадзор)**

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Пожаровзрывобезопасность (научно-технический журнал)

**Особенности оценки уровня пожаровзрывобезопасности резервуаров перед проведением огневых работ/ В.П. Назаров, Д.А. Корольченко, С.А. Швырков и др. — 2021. — № 6. — С. 52–60.**

Рассмотрены особенности оценки уровня пожаровзрывобезопасности резервуаров на основе классификации причин пожаров, происходящих на стадии предремонтной подготовки резервуаров и проведения огневых работ. Сформированы три основных классификационных признака: пожары, возникающие при выполнении технологических операций при предремонтной подготовке, пожары, возникающие после выполнения нормативных требований по предремонтной подготовке, и пожары, связанные с грубейшими нарушениями требований пожарной безопасности. Сделан вывод, что в целях предотвращения пожаров должны тщательно прорабатываться вопросы проектирования резервуарных парков, соблюдаться меры пожарной безопасности

при эксплуатации объектов хранения углеводородов, поддерживаться в исправности оборудование, проводиться профилактические работы.

**Пузач С.В., Еремина Т.Ю., Корольченко Д.А. Определение фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с учетом реальной пожарной нагрузки. — 2021. — № 5. — С. 61–72.**

Проведены расчеты фактических пределов огнестойкости металлических конструкций теплоэлектростанции. С учетом сложности объемно-планировочных решений здания выбран полевой метод расчета, который может быть применен для помещений сложной геометрической конфигурации, в которых один из геометрических размеров гораздо больше остальных. Результаты расчетов показали, что при наиболее опасном сценарии развития пожара максимальные температуры несущих металлических конструкций в течение 15 мин от начала пожара существенно меньше критической температуры 500 °С. Сделан вывод, что огнезащита несущих металлических конструкций, расположенных в машинном отделении с паровыми турбинами, не требуется.

## Научно-практическая конференция «Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно- техногенных комплексов»



В соответствии с распоряжением президента Российской академии наук (РАН) акад. А.М. Сергеева в РАН прошла научно-практическая конференция под таким названием. Ее организаторы: Комиссия РАН по изучению научного наследия выдающихся ученых (секция акад. Н.Н. Моисеева) (далее — Комиссия РАН) и АНО ВО «Международный независимый эколого-политологический университет» (далее — МНЭПУ). Председатель организационного комитета конференции — акад. РАН М.Ч. Залиханов, председатель программного комитета — чл.-корр. РАН Н.А. Махутов.

Партнерами мероприятия выступили Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий), Государственный университет управления, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (РФ), Национальная технологическая палата, Российская экологическая академия, Ассоциация «Лига содействия оборонным предприятиям», журнал «Безопасность труда в промышленности» (официальное издание Ростехнадзора), Национальное информационное агентство «Природные ресурсы» (НИА-Природа).

Конференция организована в рамках цикла научных конференций «Мир и наука в XXI веке: глобальные вызовы и риски», которые проводятся Комиссией РАН с декабря 2020 г. в целях популяризации науки и научного наследия выдающихся

ученых, привлечения молодежи к научной деятельности. Проведена в интересах реализации Стратегии национальной безопасности РФ согласно тематике Научной школы «Управление рисками и обеспечение безопасности социально-экономических и общественно-политических систем и природно-техногенных комплексов» заслуженного деятеля науки РФ проф. Я.Д. Вишнякова.

Модератором мероприятия выступила проф., д-р экон. наук, действительный член РАЕН и РЭА, проректор по инновационному развитию МНЭПУ, член Комиссии РАН С.П. Киселева.

В рамках конференции проведены пленарное заседание; заседания секций «Управление рисками и обеспечение безопасности населения, территорий и предприятий», «Экономика чрезвычайных ситуаций в условиях противостояния вызовам и угрозам современности»; выставочная экспозиция Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий).

В конференции приняли участие (очное, дистанционное в режиме видеоконференции, заочное с публикацией в сборнике материалов) более 400 чел. (192 с докладами). Среди участников: ученые и специалисты научно-образовательных организаций; сотрудники профессорско-преподавательского состава и руководители образовательных учреждений; специалисты-практики и руководители профильных организаций; докторанты, аспиранты и соискатели ученых степеней.

Наряду с ведущими учеными с докладами выступили студенты Государственного университета управления, Финансового университета при Правительстве РФ, Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Российского университета дружбы народов, Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, Российского государственного аграрного университета — МСХА им. К.А. Тимирязева, Московского авиационного института (НИУ), Дальневосточного федерального университета, Ростовского государственного университета путей сообщения.

Основные направления мероприятия: комплексная безопасность объектов экономики; комплексная безопасность инновационных проектов; экологическая и техносферная безопасность территорий и населения; техносферная безопасность в производственной сфере и на транспорте; экономическая безопасность личности, организации и государства; информационная безопасность личности, организации и государства; управление рисками проектов и систем; комплексная оценка эффективности проектов и программ в интересах обеспечения безопасности и высокой конкурентоспособности отечественной экономики.

Уникальность и новизну конференции определила постановка проблематики управления рисками и обеспечения безопасности (безопасности разных видов, а также комплексной безопасности) систем различного масштаба с позиции системного междисциплинарного подхода с учетом экологического императива и экологического императива технологического развития.

Конференция послужила площадкой для коммуникации, обмена опытом, апробации результатов научных исследований, поиска единомышленников и партнеров, объединения усилий ведущих ученых, руководителей и специалистов-практиков, учащейся молодежи в постановке, разработке и решении актуальных фундаментальных и прикладных задач в области управления рисками и обеспечения безопасности с учетом современных вызовов и угроз различного характера.

В интересах ускорения решения обозначенных задач подготовлены научно-практические рекомендации (на базе предложений участников), которые направлены в профильные организации. Они сформированы по четырем направлениям: комплексное обеспечение эффективности, качества и безопасности социально-экономических, общественно-политических систем и природно-техногенных комплексов; гуманитарные аспекты обеспечения безопасности жизнедеятельности, включая информационную безопасность; рекомендации глобального и национального (государственного) характера; обеспечение безопасности

здоровья нации (предложения Приморья как один из вариантов перспективного подхода к развитию этого направления в ближайшей и среднесрочной перспективе (по инициативе представителей Владивостока).

В частности, для обеспечения эффективности, качества и безопасности социально-экономических, социально-политических систем и природно-техногенных комплексов в РФ рекомендовано признать приоритетными следующие наукоёмкие направления работ:

формирование современной научно-технической политики по обеспечению эффективности, качества и безопасности объектов информационной и промышленной инфраструктуры социально-экономических, социально-политических систем и природно-техногенных комплексов с учетом изменяющейся природной, техногенной и информационной среды, политической и социальной обстановки;

научно обоснованная разработка и внедрение систем дистанционного контроля, прогнозирования рисков и обоснования упреждающих мер;

разработка, совершенствование и внедрение риск-ориентированных подходов к повышению результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности в РФ;

развитие экономического механизма предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации;

внедрение систем искусственного интеллекта в технологии комплексного обеспечения безопасности.

Минпромторгу России, МЧС России, Минэнерго России, Ростехнадзору, ФСТЭК России, ПАО «Газпром», ПАО НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», ОАО «РЖД» и другим организациям рекомендовано:

провести оценку уязвимости применяемых автоматизированных систем и методов противодействия существующим угрозам, оценку эффективности используемых способов обеспечения информационной безопасности, анализ существующих системных методов управления рисками (согласно ГОСТ Р 59989—2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса управления качеством системы», ГОСТ Р 59993—2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса управления инфраструктурой системы»);

выполнить оценку возможностей внедрения и эффективности систем дистанционного контроля на конкретных объектах информационной и промышленной инфраструктуры социально-экономических, социально-политических систем и природно-техногенных комплексов; использовать в практике анализа и прогнозирования рисков нарушения комплексной безопасности вероятностные модели, а также полученные ранее данные и

результаты прогнозного моделирования в других областях приложений для определения допустимых рисков по прецедентному принципу (согласно ГОСТ Р 59991—2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса управления рисками для системы»);

сопровождать создаваемые отечественные технологии обеспечения эффективности, качества и безопасности объектов информационной и промышленной инфраструктуры социально-экономических, социально-политических систем и природно-техногенных комплексов национальными стандартами, иными нормативно-методическими, руководящими документами и программами обучения по их эффективному применению.

Минпромторгу России, Минэнерго России, Ростехнадзору и Росприроднадзору рекомендовано рассмотреть вопрос о включении в состав проектной документации на опасные производственные объекты, предоставляемой на государственную экспертизу, отчета о прогнозировании рисков нарушения их комплексной безопасности как с использованием систем дистанционного контроля, так и без таковых (результаты анализа возможностей раннего распознавания; оценка развития пред-

аварийных ситуаций, прогнозирования временного ресурса, имеющегося для принятия упреждающих мер при выходе контролируемых параметров оборудования за пределы рабочих диапазонов; оценка эффективности внедрения на предприятиях риск-ориентированного подхода, позволяющего выполнять системное прогнозирование рисков; выявление узких мест, обоснование допустимых рисков и оперативных мер для обеспечения комплексной безопасности; обоснование сбалансированных мер обеспечения комплексной безопасности при средне- и долгосрочном планировании).

Материалы конференции (в том числе научно-практические рекомендации) в полном объеме будут опубликованы в соответствующем сборнике (регистрация в базе РИНЦ).

По материалам мероприятия будет подготовлен и опубликован том многотомного издания «Безопасность России» (МГОФ «Знание»). Результаты конференции представлены в отчете организационного и программного комитетов для Президиума РАН.

**С.П. Киселева, Я.Д. Вишняков**  
(Комиссия РАН по изучению научного наследия выдающихся ученых)

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов (специализированный научный журнал)

**Исследование конструктивных решений установок водяного охлаждения резервуаров/ С.Н. Морозов, В.В. Таганов, Д.В. Калачинский, Д.А. Иванченко. — 2021. — № 4. — С. 435–451.**

Экспериментально определены оптимальные конструктивные и технологические элементы установок водяного охлаждения резервуара. Для изучения процессов теплового нагрева и охлаждения боковой поверхности резервуара проведены гидравлические и огневые испытания моделей секции установки водяного охлаждения — горизонтального кольца орошения. По результатам испытаний определена эффективность различных конструкций в зависимости от изменяемых технологических параметров (давления и расхода воды в кольце орошения), диаметра отверстий перфорированного трубопровода и шага между ними, угла расположения устройств подачи воды относительно горизонтальной поверхности сечения резервуара, расстояния от кольца орошения до стенки резервуара и его верхней кромки.

**Повышение надежности антикоррозионных покрытий для защиты объектов магистральных нефтепроводов с использованием механизма управления качеством/ О.В. Аралов, И.В. Буянов, С.И. Выюнов и др. — 2021. — № 5. — С. 590–596.**

Проанализированы основные критерии оценки соответствия антикоррозионных покрытий, применяемых для защиты поверхности резервуаров, трубопроводов, конструкций и оборудования надземного исполнения. Рассмотрены основные требования национальных, международных и отраслевых стандартов к условиям окружающей среды и подготовке поверхности к антикоррозионной обработке, качеству отвержденного покрытия. Представлен комплексный подход к оценке соответствия антикоррозионных покрытий, позволяющий усовершенствовать контроль качества данного вида продукции на всех стадиях жизненного цикла.

**Коршак А.А., Коршак А.А. Оценка вклада превышения объема паровоздушной смеси над объемом закачки в потерях нефти и нефтепродуктов от испарения. — 2021. — № 4. — С. 452–459.**

Получено аналитическое выражение для вычисления среднего коэффициента «превышения», характеризующего объем вытесняемой в атмосферу паровоздушной смеси. Установлено, что его величина зависит от молярной массы и температуры паровоздушной смеси в начале и конце закачки, а также от соотношения объемов газового пространства резервуара и закачиваемого продукта. Показана необходимость учета среднего коэффициента «превышения» при обработке результатов инструментальных измерений потерь углеводородов от испарений вследствие «больших дыханий».



## Правила оформления и опубликования статей в журнале «Безопасность труда в промышленности»

**1.** Представляемые в журнал статьи должны сопровождаться лицензионным договором о передаче ЗАО НТЦ ПБ (издатель журнала) неисключительных авторских прав. Образец лицензионного договора размещен на сайте журнала [www.btpnadzor.ru](http://www.btpnadzor.ru). Его можно получить по электронной почте ([redbtp@safety.ru](mailto:redbtp@safety.ru)).

**2.** В связи с требованием Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Министерства образования и науки Российской Федерации (информационное сообщение от 14 октября 2008 № 45.1-132) о необходимости размещения журналов, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов ВАК, в открытом доступе в сети Интернет (в базе данных Российской универсальной научной электронной библиотеки) и наполнения базы данных Российского индекса научного цитирования и других баз данных научного цитирования статья должна содержать: индекс по универсальной десятичной классификации (УДК); имя, отчество (полностью) и фамилию автора (авторов), место работы и занимаемую должность; ученую степень или звание; название; аннотацию; ключевые слова; текст статьи; список литературы; иллюстрации и подписанные фотографии авторов (TIFF, JPG); контактную информацию (адрес электронной почты).

**3.** Статья, присылаемая в редакцию, должна иметь сопроводительное письмо от организации, в которой работают авторы (или хотя бы первый автор).

**4.** Объем статьи (включая иллюстрации, таблицы и список литературы) не должен превышать 12 страниц машинописного текста. Текст статьи должен быть напечатан через 1,5 интервала в редакторе WinWord (шрифт Times New Roman, кегль 12) на одной стороне стандартного листа формата А4.

**5.** Статья, подписанная автором (авторами), должна быть представлена в электронном (файл WinWord) и в распечатанном виде. Также возможно предоставлять статью на электронном носителе.

**6.** Материал статьи должен быть изложен кратко, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте; на литературу, таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте. Статья должна быть четко структурирована: введение (обзор проблем, цель работы); теория вопроса; подробное изложение методики проведения опытов, описание материалов и методов анализа, желательна статистическая обработка; обсуждение результатов; заключение. Для статей производственного характера достаточно сделать разделы «Цель работы» и «Полученные результаты». Содержание статьи должно соответствовать тематике журнала, направленной на решение проблем промыш-

ленной безопасности опасных производственных объектов.

**7.** Авторами являются лица (как правило, не более четырех), принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в ссылке на первой странице статьи или в примечании в конце статьи. По каждому из авторов должны быть приложены на русском и английском языках подробные сведения (место работы, должность, ученая степень, ученое звание, e-mail, телефон, почтовый адрес, указан автор, являющийся контактным лицом).

**8.** Статья должна в обязательном порядке иметь реферат, ключевые слова и список литературы.

**9.** Реферат к статье (в соответствии с требованиями международных баз данных) должен достаточно полно раскрывать ее содержание (но не быть калькой с русскоязычной аннотации), иметь объем в среднем 1800–2000 символов. Реферат должен быть переведен на английский язык.

**10.** Ключевые слова должны содержать в среднем не менее 7–10 наименований и также должны быть переведены на английский язык.

**11.** Список литературы статьи (в соответствии с требованиями международных баз данных) должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 7.0.5—2008 и иметь не менее 12 источников (из них не более 3 ссылок на собственные работы) с обязательным включением как минимум 5 источников позднее 2010 г. и не менее 4 ссылок на зарубежные исследования последних лет.

**12.** Единицы измерения величин должны соответствовать Международной системе единиц (СИ), а используемые в статье термины, определения и условные обозначения — действующим ГОСТам.

**13.** Список литературы должен содержать следующие сведения: при ссылке на журнальную статью — фамилию и инициалы автора, название статьи, полное название журнала, год издания, том, номер, страницы начала и конца статьи; при ссылке на книгу — фамилию и инициалы автора, название произведения, место издания, издательство (для иностранного источника достаточно указать город), год издания, общее число страниц в книге; при ссылке на статью в сборнике — фамилию и инициалы автора, название статьи, название сборника, номер выпуска или тома, место издания, издательство (или издающая организация), страницы начала и конца статьи; для интернет-ссылок — название ресурса и публикации, режим доступа.

**14.** Номер литературной ссылки дается в квадратных скобках в соответствующем месте текста в порядке возрастания.

**15.** При составлении списков литературы авторам рекомендуется использовать надежные верифицируемые источники и избегать ссылок на публичные ресурсы, информация из которых не может иметь авторитетного подтверждения (например, «Википедия»).

**16.** Перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст статьи на предмет отсутствия возможных заимствований из других публикаций с помощью специальной программы (например, [www.text.ru](http://www.text.ru)).

**17.** Формулы должны быть набраны в редакторе формул. После формулы следует пояснить входящие в нее параметры в последовательности их упоминания с указанием единиц измерения.

**18.** Рисунки предоставляются вставленными в тело статьи в Microsoft Word, а также обязательно прилагаются отдельными файлами.

Графики, диаграммы, сделанные в Microsoft Excel, должны быть предоставлены в исходном варианте с расширением XLS. Все остальные векторные изображения предоставляются с расширением AI, EPS, WMF или редактируемым PDF. Надписи и другие обозначения на рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. Фотографии (в том числе фото авторов) должны быть без предварительной компьютерной обработки с расширением TIFF, JPEG (без сжатия), PNG или PSD с разрешением не ниже 300 dpi. Все рисунки желательно сопровождать подписями.

**19.** С авторов научно-технических статей, включая аспирантов, за публикацию их рукописей плата не взимается. Вознаграждение авторам не выплачивается. Электронная версия опубликованной статьи высылается каждому автору на его электронную почту.

**20.** Статьи рецензируются. Отрицательные рецензии доводятся до сведения авторов.

**21.** Материалы, представленные в редакцию, авторам не возвращаются.

**22.** Автор, коллектив авторов присылаемой статьи гарантируют, что данная статья не была ранее опубликована и не находится на рассмотрении в редакции других журналов.

**23.** Обращаем внимание авторов, что с 2017 г. для статей, публикуемых в журнале, в соответствии с требованиями международных баз данных издатель закупает и присваивает уникальные идентификационные номера DOI. Подробную информацию о порядке присвоения DOI можно уточнить в редакции.

**24.** Расширенные требования к авторам, оформлению статей, условия рецензирования, этические основы редакционной политики представлены на сайте журнала [www.btpnadzor.ru](http://www.btpnadzor.ru).

# Сертифицированный программный комплекс

# TOXI+<sup>®</sup>

## Risk

Версия 5.0

*Актуальнее. Быстрее. Удобнее.*

Является средством информационного обеспечения лицензионных требований к организациям, занимающимся экспертизой обоснований безопасности ОПО, деклараций промышленной безопасности и проектной документации. Предназначено для программного обеспечения расчетов прогноза и показателей риска аварий на ОПО.



Сертификат соответствия  
РОСС RU.НВ65.Н00571/21 от 02.03.2021

**Актуальная сертификация**

+7 (495) 620-47-53

SAFETY.RU

TOXI.RU

## Позволяет рассчитать:

- последствия аварий с выбросом опасных веществ из емкостного оборудования и трубопроводов;
- показатели риска аварии на территории опасного производственного объекта (ОПО);
- показатели пожарного риска на территории ОПО и в зданиях, сооружениях и строениях.

## Формирует в печати:

- результаты вычислений в форматах MS Word, MS Excel;
- зоны поражения, поля потенциального риска, поля частот превышения избыточного давления и импульса на плане ОПО;
- F-N диаграммы социального риска, F-P и F-I диаграммы риска разрушения зданий.

## Используется при разработке:

- деклараций пожарной и промышленной безопасности;
- СТУ на объекты строительства и реконструкции;
- обоснований безопасности ОПО;
- обоснований взрывоустойчивости зданий.

## Сертифицирован на соответствие:

- федеральным нормам и правилам и 11 руководствам по безопасности, утвержденным Ростехнадзором в 2015 году;
- 2-м методикам МЧС России;
- 6-ти ГОСТ Р и отраслевым стандартам\*.

\* с полным списком вы можете ознакомиться на официальном сайте [www.toxi.ru](http://www.toxi.ru)

Включен в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных Минкомсвязи России (Пер. № 250)  
Аттестован в Экспертном совете по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре (Паспорт №512 от 30.01.2021)

## Сертифицирован на соответствие последним изменениям в нормативных документах:

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (утв. приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 №533)

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов» (утв. приказом Ростехнадзора от 11.12.2020 N 517)