

ISSN: 1812-5220 (Print)  
ISSN: 2658-7882 (Online)



Том 21, 2024, № 6  
Vol. 21, 2024, No. 6

Научно-практический журнал

# Проблемы анализа риска

Scientific and Practical Journal

## Issues of Risk Analysis

---

Главная тема номера:

Вопросы производственной  
безопасности

Volume Headline:

Industrial Safety Issues

Том 21, 2024, № 6  
Vol. 21, 2024, No. 6

ISSN: 1812-5220 (Print)  
ISSN: 2658-7882 (Online)

Научно-практический журнал

# Проблемы анализа риска

Scientific and Practical Journal

# Issues of Risk Analysis

Периодичность 6 выпусков в год  
*Frequency of 6 releases in a year*

Основан в 2004 г.  
*Founded in 2004*



Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны  
и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий)  
*Federal State Budgetary Establishment "All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence  
and Emergencies of the EMERCOM of Russia" (Federal Science and High Technology Center)*

# Проблемы анализа риска

## *Problemy analiza riska*

### Цели и задачи журнала

**Цель:** способствовать становлению культуры управления рисками, обобщению опыта исследований риска, внедрению инновационных подходов, созданию баз знаний и данных, информационного пространства по риску, сопровождению научных проектов, созданию и внедрению профессиональных и образовательных стандартов и программ, координации деятельности специалистов по анализу и управлению рисками, разработке нормативных показателей допустимого (приемлемого) риска, законодательного и правового обеспечения.

**Задача:** дать информацию о результатах последних научных исследований в области анализа и управления рисками, что помогает специалистам по управлению рисками решать насущные проблемы, внедрять инновационные научные разработки и применять научный опыт в практической деятельности управления рисками в чрезвычайных ситуациях, обеспечения безопасности жизнедеятельности населения, глобальной и региональной безопасности, защите окружающей среды, построения и совершенствования систем управления рисками в организациях и на предприятиях различных отраслей экономики.

### *Aims and Scope of the journal*

**Aim:** to promote formation of culture of risk management, synthesis of experience of researches of risk, introduction of innovative approaches, creation of knowledge bases and data, information space on risk, support of scientific projects, creation and introduction of professional and educational standards and programs, coordination of activity of specialists in the analysis and risk management, development of standard indicators of admissible (acceptable) risk, legislative and legal support.

**Scope:** to give information on results of the last scientific research in the field of the analysis and risk management that helps specialists in risk management to solve pressing problems, to introduce innovative scientific developments and to apply scientific experience in practical activities of risk management in emergency situations, safety of activity of the population, global and regional security, environment protection, construction and improvement of risk management systems in the organizations and at the enterprises of various sectors of the economy.

### Учредитель *Founder*

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

*Federal State Budgetary Establishment "All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia" (Federal Science and High Technology Center)  
7, St. Davydkovskaya, Moscow, 121352*

### Издатель и редакция журнала *Publisher and Editorial Office of the Journal*

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

*Federal State Budgetary Establishment "All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia" (Federal Science and High Technology Center)  
7, St. Davydkovskaya, Moscow, 121352*

#### Главный редактор:

Быков Андрей Александрович,  
д.ф.-м.н., проф., заслуженный деятель науки РФ, г. Москва, Россия  
E-mail: parjournal@mail.ru

#### Editor-in-Chief:

Andrey A. Bykov,  
Doctor of physics and mathematics, Professor, honored scientist of Russia Federation, Moscow, Russia  
E-mail: parjournal@mail.ru

#### Ответственный секретарь:

Виноградова Лилия Владимировна,  
младший научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), г. Москва, Россия  
E-mail: parjournal@mail.ru

#### Responsible secretary:

Lyliya V. Vinogradova,  
Junior Researcher, Research Center  
of the VNIi GOChS (FC), Moscow, Russia  
E-mail: parjournal@mail.ru

Верстка:  
Кожемякин Владимир Владимирович

*Imposition:*  
Vladimir V. Kozhemyakin

Корректур:  
Базанова Наталья Кирилловна

*Updates:*  
Natalia K. Bazanova

---

Журнал издается с 2004 года  
Периодичность: 6 номеров в год  
ISSN: 1812-5220 (Print)  
ISSN: 2658-7882 (Online)  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ № ФС77-85693 от 14.08.2023

*The journal is issued since 2004*  
*Frequency: 6 numbers a year*  
*ISSN: 1812-5220 (Print)*  
*ISSN: 2658-7882 (Online)*  
*Certificate of registration of mass media ПИ № ФС 77-85693*  
*from 14.08.2023*

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России (ВАК) для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Решением ВАК от 21.12.2023 г. № 3/пл/1 журнал с 01.01.2024 отнесен к категории К 1 сроком на три года.

Журнал индексируется РИНЦ, INDEX COPERNICUS, Science Index, Ulrich's

*The journal is included in the list of the leading reviewed scientific journals and editions recommended by the Highest certifying commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (VAK) for publication of the main scientific results of theses for a competition of academic degrees of the doctor and candidate of science.*

*By the decision of the VAK of 21.12.2023 No. 3/pl/1, the journal has been assigned to category K 1 for a period of three years since 01.01.2024.*

*The journal is indexed RINTS, INDEX COPERNICUS, Science Index, Ulrich's*

---

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал «Проблемы анализа риска» обязательна. Присланные в редакцию материалы рецензируются и не возвращаются. Статьи, не оформленные в соответствии с Инструкцией для авторов, к рассмотрению не принимаются.

*At a reprint and citing the reference to the "Issues of Risk Analysis" journal is obligatory. The materials sent to edition are reviewed and are not returned. Articles which are not issued according to the Instruction for authors are not taken cognizance.*

---

Формат 60×84 1/8. Объем 12,5 печ. л. Печать цифровая.  
Тираж 1000 экз.

Подписано в печать: 18.12.2024

Цена свободная

© Проблемы анализа риска, 2024

Отпечатано в ООО «Типография Форпринт»,  
123298, г. Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 1, корп. 11  
*Format 60×84 1/8. Volume is 12,5 print. pages. Digital printing.*  
*Circulation is 1000 copies.*

*It is sent for the press: 18.12.2024*

*Free price*

© *Issues of Risk Analysis, 2024*

*Printed in the typography of Forprint Printing House LLC,*  
*1, Marshal Biryuzov St., bldg. 11, 123298, Moscow*

---

Распространяется по подписке

*Объединенный каталог Пресса России*

*Подписной индекс:*

*15704 — период подписки от 2 мес.*

*85800 — период подписки от 12 мес.*

*Оформить подписку можно:*

*– подписное агентство Урал Пресс Округ (подписка на печатную или электронную версию)*

*информация на сайте: <https://www.ural-press.ru/contact/>;*

*– подписное агентство АРЗИ (подписка на печатную версию)*

*<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/section/2/>*

*Extends on a subscription*

*United Catalogue Press of Russia*

*Subscription index:*

*15704 — subscription period from 2 months*

*85800 — subscription period from 12 months*

*You can subscribe to:*

*– subscription agency Ural Press District (subscription to print and electronic version)*

*information or website: <https://www.ural-press.ru/contact/>;*

*– subscription agency ARZI (subscription to the printed version) <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/section/2/>*

---

<http://www.risk-journal.com>

 <https://vk.com/parjournal>

## Наблюдательный совет

### Махутов Николай Андреевич (председатель)

Член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, председатель Комиссии РАН по техногенной безопасности, г. Москва, Россия

### Акимов Валерий Александрович (заместитель председателя)

Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ), г. Москва, Россия

### Верещагин Виктор Владимирович

Кандидат исторических наук, член Совета директоров Международной ассоциации федераций риск-менеджмента (IFRIMA), Президент Русского общества управления рисками (РусРиск), г. Москва, Россия

## Редакционная коллегия

### Быков Андрей Александрович (главный редактор)

Доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Русского общества управления рисками, г. Москва, Россия

### Порфирьев Борис Николаевич (заместитель главного редактора)

Академик РАН, доктор экономических наук, профессор, научный руководитель, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, г. Москва, Россия

### Башкин Владимир Николаевич (заместитель главного редактора по вопросам экологической безопасности)

Доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия

### Каранина Елена Валерьевна (заместитель главного редактора по вопросам региональной и экономической безопасности)

Доктор экономических наук, доцент, член-корреспондент Российской академии естествознания, заведующий кафедрой финансов и экономической безопасности, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

### Бродский Юрий Игоревич

Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия

### Голембиовский Дмитрий Юрьевич

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры исследования операций факультета вычислительной математики и кибернетики, МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

### Елохин Андрей Николаевич

Доктор технических наук, член-корреспондент РАН, действительный член Академии геополитических проблем, первый вице-президент, Ассоциация риск-менеджмента «Русское общество управления рисками», г. Москва, Россия

### Ерешко Феликс Иванович

Доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия

### Колесников Евгений Юрьевич

Доктор технических наук, доцент, профессор Высшей школы техносферной безопасности, СПбПУ им. Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

### Котловский Игорь Борисович

Кандидат экономических наук, действительный член Российской академии естествознания, доцент, заведующий кафедрой управления рисками и страхования, МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

## Supervisory Council

### Makhutov Nikolay Andreevich (Chairman)

Corresponding Member of RAS, Doctor of Sciences in Technology, Professor, Chairman of the RAS Commission on Technogenic Safety, Moscow, Russia

### Akimov Valery Aleksandrovich (Deputy Chairman)

Doctor of Sciences in Technology, Professor, Honored Scientist of Russia, Chief Researcher, All-Russian research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

### Vereshchagin Victor Vladimirovich

Candidate of Sciences in History, Member of the Board of Directors of the International Association of Risk Management Federations (IFRIMA), President of the Russian Risk Management Society (RusRisk), Moscow, Russia

## Editorial Board

### Bykov Andrey Aleksandrovich (Editor-in-Chief)

Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor, Honored Scientist of Russia Federation, Full Member of the Russian Risk Management Society, Moscow, Russia

### Porfiriev Boris Nikolayevich (Deputy Editor-in-Chief)

Academician of RAS, Doctor of Sciences in Economics, Professor, Scientific Director, Institute of Economic Forecasting of RAS, Moscow, Russia

### Bashkin Vladimir Nikolaevich (Deputy Editor-in-Chief for Environmental Safety)

Doctor of Sciences in Biology, Professor, Chief Researcher, Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino, Russia

### Karanina Elena Valerevna (Deputy Editor-in-Chief for Regional and Economic Security)

Doctor of Sciences in Economics, Associate Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of the Department of Finance and Economic Security, Vyatka State University, Kirov, Russia

### Brodsky Yury Igorevich

Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Leading Researcher, Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

### Golembiovsky Dmitry Yuryevich

Doctor of Sciences in Technology, Professor, Professor Department of operations research Faculty of computational mathematics and cybernetics, MSU named after M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

### Elokhin Andrey Nikolaevich

Doctor of Sciences in Technology, Corresponding Member of RANS, Full Member of the Academy of Geopolitical Problems, First Vice President, Risk Management Association "Russian Risk Management Society", Moscow, Russia

### Ereshko Felix Ivanovich

Doctor of Sciences in Technology, Professor, Head of Department, Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

### Kolesnikov Evgeny Yuryevich

Doctor of Sciences in Technology, Associate Professor, Professor of the Higher School of Technosphere safety, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

### Kotlovsky Igor Borisovich

Candidate of Sciences in Economics, Associate Professor, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of the Department of Risk Management and Insurance, MSU named after M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

**Макашина Ольга Владиленовна**

Доктор экономических наук, профессор, профессор  
Департамента общественных финансов, Финансовый  
университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

**Мальшев Владлен Платонович**

Доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель  
науки РФ, главный научный сотрудник, ФГБУ «Всероссийский  
научно-исследовательский институт по проблемам  
гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России»  
(ФЦ), г. Москва, Россия

**Мартынюк Василий Филиппович**

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры  
промышленной безопасности и охраны окружающей среды,  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва, Россия

**Морозко Нина Иосифовна**

Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры  
«Денежно-кредитные отношения и монетарная политика»,  
Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва,  
Россия

**Опарин Сергей Геннадиевич**

Член-корреспондент Академии военных наук,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
«Экономика и менеджмент в строительстве»,  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

**Помазанов Михаил Вячеславович**

Кандидат физико-математических наук, Руководитель  
подразделения валидации, ПАО Промсвязьбанк, Дирекция  
«Риски», г. Москва, Россия

**Ревич Борис Александрович**

Доктор медицинских наук, профессор, нобелевский лауреат  
в составе Межправительственной группы экспертов  
по изменению климата, руководитель лаборатории  
прогнозирования качества окружающей среды и здоровья  
населения, Институт народнохозяйственного прогнозирования  
РАН, г. Москва, Россия

**Сосунов Игорь Владимирович**

Кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника,  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по  
проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций  
МЧС России» (ФЦ), г. Москва, Россия

**Фалеев Михаил Иванович**

Кандидат политических наук, помощник начальника отряда,  
ФГКУ «Государственный центральный аэромобильный  
спасательный отряд», г. Жуковский, Россия

**Шевченко Андрей Владимирович**

Доктор технических наук, профессор, главный научный  
сотрудник, ФГБУ «ЦНИИ ИВ» Минобороны России, г. Москва,  
Россия

**Шемякина Татьяна Юрьевна**

Кандидат экономических наук, профессор, заместитель  
заведующего кафедрой, Государственный университет  
управления, г. Москва, Россия

**Makashina Olga Vladilenovna**

Doctor of Sciences in Economics, Professor, Professor Department  
of public Finance, Financial University under the Government of  
the Russian Federation, Moscow, Russia

**Malyshev Vladlen Platonovich**

Doctor of Sciences in Chemistry, Professor, Honored Scientist  
of Russia Federation, Chief Researcher, All-Russian research  
Institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM  
of Russia, Moscow, Russia

**Martynuk Vasily Filippovich**

Doctor of Sciences in Technology, Associate Professor, Professor  
of the Department Industrial Safety and Environmental  
Protection, National University of Oil and Gas "Gubkin University",  
Moscow, Russia

**Morozko Nina Iosifovna**

Doctor of Sciences in Economics, Professor, Professor of the  
Department "Monetary relations and monetary policy", Financial  
University under the Government of the Russian Federation,  
Moscow, Russia

**Oparin Sergey Gennadievich**

Corresponding Member of the Military Sciences Academy,  
Doctor of Sciences in Technology, Full Professor, Professor  
Department of Economics and Management in Construction,  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,  
St. Petersburg, Russia

**Pomazanov Mikhail Vyacheslavovich**

Candidate of Science in Physics and Mathematics, Head of  
Validation Unit, PJSC Promsvyazbank, Management "Risks",  
Moscow, Russia

**Revich Boris Aleksandrovich**

Doctor of Sciences in Medicine, Professor, Nobel Laureate in  
the Intergovernmental Panel on Climate Change, Head of the  
Laboratory of Environmental and Public Health Forecasting,  
Institute of Economic Forecasting of RAS, Moscow, Russia

**Sosunov Igor Vladimirovich**

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Deputy chief, All-Russian Research Institute for Civil Defense and  
Emergency Situations of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

**Faleev Mihail Ivanovich**

Candidate of Sciences in Politics, Assistant to the Chief of Group,  
Federal Public Treasury Institution "State Central Airmobile  
Rescue Group", Zhukovsky, Russia

**Shevchenko Andrey Vladimirovich**

Doctor of Sciences in Technology, Professor, Chief Researcher,  
Central Research Test Institute of Engineering Troops of the  
Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

**Shemyakina Tatyana Yurievna**

Candidate of Sciences in Economics, Professor, Deputy Head  
of the Department, State University of Management, Moscow,  
Russia

# Content

## Editor's Column

- 8 Industrial Safety Risk Management  
*Andrey A. Bykov, Editor-in-Chief*

## Production Safety

- 10 Chemical Processes Safety Risks Control and Management  
*Alexei N. Chernoplekov, Russian Risk Management Society, Moscow, Russia*

## Discussion Club

- 40 Technogenic Risk: Issues of Methodology  
*Evgeny Yu. Kolesnikov, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia*

## Financial Risk

- 66 Modeling and Forecasting of Risks of Financial and Economic Activities of the Enterprise  
*Elena V. Karanina, Vyatka State University, Kirov, Russia*  
*Felix I. Ereshko, Federal Research Center «Informatics and Management» RAS, Moscow, Russia*

## Risk Management

- 81 Regulatory and Technical Support of Inspection Taking Into Account Risk Factors During Operation of Technical Devices at Hazardous Production Facilities  
*Sergey I. Alexandrovich, ARCTIC LNG 2, Novy Urengoy, Russia*  
*Alexander V. Brikov, Sakhalin Energy, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*  
*Irina V. Klimova, Higher School of Technosphere Security Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia*  
*Sergey P. Priymachuk, Novatek, Moscow, Russia*
- 89 Calculation of Inspection Interval of Heat Exchanger Tube Bundle Using Risk-Based Approach According to API 581 Methodology  
*Sofya A. Borovikova, Roman A. Lipatov, Sergey I. Alexandrovich, Alexander V. Brikov, ARCTIC LNG 2, Novy Urengoy, Russia*

## Scientific and Technical Forecasting

- 100 Forecast of Science and Technology Development: an Approach to Quality Assessment  
*Roman A. Durnev, Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Moscow, Russia*  
*Irina V. Zhdanenko, Federal State Budgetary Establishment "All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia" (Federal Science and High Technology Center), Moscow, Russia*  
*Alexander N. Kladukhin, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

# Содержание

## Колонка редактора

- 8 Управление рисками производственной безопасности  
*Быков А.А., главный редактор*

## Производственная безопасность

- 10 Управление рисками безопасности химических производств  
*Черноплёмов А. Н., Русское общество управления рисками, г. Москва, Россия*

## Дискуссионный клуб

- 40 Техногенный риск: вопросы методологии  
*Колесников Е.Ю., Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

## Финансовый риск

- 66 Моделирование и прогнозирование рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия  
*Каранина Е.В., Вятский государственный университет, г. Киров, Россия*  
*Ерешко Ф.И., Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия*

## Управление рисками

- 81 Нормативно-техническое обеспечение инспекции с учетом факторов риска в процессе эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах  
*Александрович С.И., Арктик СПГ 2, г. Новый Уренгой, Россия*  
*Бриков А.В., Сахалинская Энергия, г. Южно-Сахалинск, Россия*  
*Климова И.В., Высшая школа техносферной безопасности Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия*  
*Приймачук С.П., НОВАТЭК, г. Москва, Россия*
- 89 Расчет инспекционного интервала трубного пучка теплообменника с применением риск-ориентированного подхода по методологии API 581  
*Боровикова С.А., Липатов Р.А., Александрович С.И., Бриков А.В., Арктик СПГ 2, г. Новый Уренгой, Россия*

## Научно-техническое прогнозирование

- 100 Прогноз развития науки и техники: подход к оценке качества  
*Дурнев Р.А., Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г. Москва, Россия*  
*Жданенко И.В., Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия*  
*Кладухин А.Н., Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия*

# Управление рисками производственной безопасности

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2024

**Быков А.А.,**

главный редактор

Для цитирования: Быков А.А. Управление рисками производственной безопасности // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 8–9.

## Industrial Safety Risk Management

**Andrey A. Bykov,**

Editor-in-Chief

For citation: Bykov A.A. Industrial Safety Risk Management // Issues of Risk Analysis. 2024;21(6): 8-9. (In Russ.).

Уважаемые читатели!

В этом номере журнала мы представляем разноплановые статьи, многие из которых относятся к главной теме журнала и посвящены проблемам управления рисками производственной безопасности.

Открывает наш номер статья А.Н. Черноплёкова «Управление рисками безопасности химических производств», члена Ассоциации риск-менеджмента «Русское общество управления рисками». В статье рассмотрена сложившаяся практика управления безопасностью и рисками проектируемых и эксплуатируемых химических производств. В публикации представлены рациональные процессные и ролевые модели, обоснованы минимально необходимые требования к инструментам и ключевым показателям эффективности управления рисками безопасности на каждом из уровней производства: оперативном; тактическом и стратегическом. Полученные результаты, по мнению автора, обосновывают, что только третье поколение систем управления рисками способно реализовать на практике в разумные сроки достижение цели «ноль» в области безопасности. Поэтому, по мнению автора, постановка производственной цели «нулевой травматизм, нулевая аварийность, нулевые внеплановые потери», имеет смысл в химической

промышленности, так как достижение такой цели посилено и практически осуществимо. Так ли это – вопрос носит дискуссионный характер.

В этой связи следующей статьей в рубрике «Дискуссионный клуб» мы разместили статью Е.Ю. Колесникова, представляющего Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого, «Техногенный риск: вопросы методологии». В статье автор сделал попытку показать на основе анализа действующей отечественной нормативно-правовой базы, что важнейшие вопросы методологии риск-ориентированного подхода далеки от удовлетворительного решения, что вызывает избыточную неопределенность получаемых с его помощью количественных оценок. Проанализирована действующая отечественная методологическая основа количественной оценки и анализа техногенного риска, двух его видов и шести разновидностей. Рассмотрены имеющиеся альтернативные варианты оценки возможности наступления неблагоприятных событий и основные нерешенные проблемы оценки их масштаба. Статья носит дискуссионный характер, поэтому мы приглашаем читателей принять участие в дискуссии с автором.

В следующей статье «Моделирование и прогнозирование рисков финансово-хозяйственной деятельности

предприятия» Е.В. Караниной и Ф.И. Ерешко, представляющих Вятский государственный университет и Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН соответственно, основное внимание уделено методологическим подходам к оценке и прогнозированию рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Проанализированы модели аналитической теории и практики, приводимые в работах различных авторов. Предложен авторский подход к расчету прогноза рисков предприятия на основе экономико-математической модели, предполагающий оценку и прогностическое моделирование рисков на основе комплекса ключевых индикаторов финансово-хозяйственной деятельности в рамках базовой модели предприятия с набором устойчивых индикаторов в системе составляющих материального (производственного и кадрового состояния) и финансового (финансового состояния) блоков. Моделирование строится на текущих формулах оценки ключевых рисков и в этом исследовании авторы раскрыли это на примере комплекса ключевых показателей финансового блока.

Далее в номере размещены статьи, также относящиеся к главной теме управления рисками производственной безопасности. Первая статья «Нормативно-техническое обеспечение инспекции с учетом факторов риска в процессе эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах» С.И. Александровича, А.В. Брикова, И.В. Климовой и С.П. Приймачука, представляющих, соответственно, Арктик СПГ 2, Сахалинскую Энергию, Высшую школу техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и НОВАТЭК. В статье представлен краткий анализ зарубежной и национальной нормативно-правовой базы

в части применения риск-ориентированного подхода к техническому освидетельствованию — инспекции с учетом факторов риска в процессе эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах. Рассмотрены возможные пути применения инспекции с учетом факторов риска и проанализированы последствия внедрения инспекции с учетом факторов риска в Российской Федерации.

Во второй статье «Расчет инспекционного интервала трубного пучка теплообменника с применением риск-ориентированного подхода по методологии API 581» С.А. Боровикова, Р.А. Липатов, С.И. Александрович и А.В. Бриков, представляющих Арктик СПГ 2, показано, что методика API 581 является эффективным инструментом, позволяющим обеспечить допустимые значения уровня риска. Приведено сравнение интервалов инспекции при наличии и отсутствии инспекционных данных при максимальной допустимой вероятности отказа.

Завершает наш номер очень интересная статья «Прогноз развития науки и техники: подход к оценке качества» Р.А. Дурнева, И.В. Жданенко и А.Н. Кладухина, представляющих соответственно Российскую академию ракетных и артиллерийских наук, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Московский авиационный институт. В статье предложен подход к оценке качества научно-технологических прогнозов развития науки и техники в области обеспечения обороны страны и безопасности государства, использование которого при разработке методов и методик позволит обоснованно принимать решения в указанной области.

Надеемся, статьи будут полезны для вашей практической деятельности.

УДК 65.01:66.93:004.031.42  
Научная специальность: 2.10.3; 5.2.6

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Управление рисками безопасности химических производств

**Черноплёков А. Н.,**  
Русское общество  
управления рисками,  
119602, Россия, г. Москва,  
ул. Никулинская, 27-129

## Аннотация

В рамках общей теории управления сложными системами рассмотрена сложившаяся практика управления безопасностью и рисками проектируемых и эксплуатируемых химических производств. В основу спецификации положена историческая ретроспектива эволюции систем обеспечения безопасности в промышленности. Рост зрелости систем управления первого и второго поколения и прогноз (образ результата) третьего поколения раскрываются с использованием понятийного аппарата в области безопасности инжиниринга и эксплуатации, представленного в предыдущей статье автора «Безопасность и риски химических производств» [1]. Развиваемая теория решает важную практическую задачу. В статье представлены рациональные (на уровне стандартных операционных процедур) процессные и ролевые модели; обоснованы минимально необходимые требования к инструментам и ключевым показателям эффективности управления рисками безопасности на каждом из уровней производства: оперативном (мастер цеха); тактическом (начальник цеха) и стратегическом (директор предприятия/управляющий бизнесом). Полученные результаты обосновывают, что (только) третье поколение систем управления рисками способно реализовать на практике в разумные сроки достижение цели НОЛЬ в области безопасности. Поэтому постановка производственной цели «нулевой травматизм, нулевая аварийность, нулевые внеплановые потери», имеет смысл в химической промышленности, так как достижение такой цели посилено и практически осуществимо.

**Ключевые слова:** химическое производство; производственная цель; безопасность; риски; автоматизация управления; цифровой инструмент.

**Для цитирования:** Черноплёков А.Н. Управление рисками безопасности химических производств // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 10–39.

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

# Chemical Processes Safety Risks Control and Management

**Alexei N. Chernoplekov,**

Russian Risk Management Society,

Nikulinskaya St., 27-129,  
Moscow, Russia, 119602

**Abstract**

The established practices of safety and risks control and management at designed and operating chemical processes are reviewed within the framework of the general theory for complex systems control and management in a historical retrospective. The prediction (image of the end result) of the 3rd generation is revealed by using conceptual apparatus in the field of safety for engineering and operating that was presented in [1]. The developed theory solves a significant practical issue — the rational (in a format of standardized work) processes, and roles and responsibilities; minimum necessary requirements for tools and key performance indicators are justified to control / manage process safety risks at each production level — operative (shift supervisor), tactical (unit superintendent) and strategic (director, business manager) are presented. The obtained results show that (only) third generation systems for controlling and managing process safety risks are able to implement in practice within a reasonable time frame the accomplishment of ZERO safety objective. Thus, setting the production objective “no hurt to people, no harm to the environment and no damage to business” makes sense in chemical industry due to the fact that accomplishing of such an objective is feasible and reasonably practicable.

**Keywords:** chemical processes; production objective; safety; risks; control and management automation; digital tool.

**For citation:** Chernoplekov A.N. Chemical processes safety risks control and management // Issues of Risk Analysis, 2024;21(6):10-39 (In Russ.)

**The author declares no conflict of interest.**

**Содержание**

Введение

1. Историческая ретроспектива
2. Система управления безопасностью
3. Практика управления рисками
4. Образ результата

Заключение

Список источников

## Введение

Сегодня актуальная задача повышения производительности труда и эффективности производств химической промышленности в России решается через внедрение инноваций и автоматизацию. Очевидно, что необходимым условием успеха при таком подходе является опережающее развитие процессов обеспечения безопасности на основе современных цифровых инструментов. Вместе с тем на практике внедрение управления рисками безопасности производств в бизнес по факту носит пока хаотический, «очаговый» характер и базируется в основном на упорядочении (regularization) эмпирических подходов [2]. Видим разрыв между потребностями практики и предложением теории.

Статья является следующим после [1] шагом в попытке преодоления вышеуказанного разрыва. Цель работы — описать минимально необходимые для практики и естественно интегрируемые в бизнес-процессы предприятий химической отрасли процедуры и инструменты достижения производственных целей в области безопасности.

Предмет исследования — управление безопасностью производств. Метод (решаемые задачи) — выявление управляющих воздействий, обеспечивающих управляемость производств по критериям безопасности; установление алгоритмов выработки управляющих воздействий в зависимости от состояния производства на основе физических принципов (законов природы).

## 1. Историческая ретроспектива

Представляется правильным предварить основной материал статьи кратким изложением генезиса управления безопасностью производств.

### 1.1. Зарождение

С древнейших времен потребность промышленности в эффективном расширении производства удовлетворялась инновациями. Яркая общеизвестная иллюстрация — использование силы пара. Некоторые идеи, такие как проект самодвижущегося экипажа Исаака Ньютона, 1680 г., не создавали рисков, так как являлись технологиями с внутренне присущей безопасностью. Однако низкая эффективность почти по всем аспектам возможной эксплуатации так и завершалась на стадии НИР, не без перехода к ОКР.

В массовое производство пошли первые паровые машины (Т. Севери, 1692 г.; Т. Ньюкомен, 1712 г.). Пока они были еще не очень эффективны (сложно управлялись) и крайне опасны — они взрывались!

Джеймс Уатт, 1791 г., повысил производительность в четыре раза и сделал паровую машину универсальной. Ею стало легко управлять (регулятор Уатта, механическая СУ ТП), и она перестала быть очень опасной после включения в паровой котел предохранительного клапана (элемента ПАЗ), став ОПО СРПД в современной терминологии решения Д. Уатта, были полностью защищены патентами. Продавалась машина с инструкцией по эксплуатации. Так, одновременно с техническими решениями по обеспечению безопасности на основе руководств по эксплуатации начала зарождаться среда обеспечения безопасности — государственный НАДЗОР и система управления рисками безопасности производств БИЗНЕСА [1].

Например, в дореволюционной России надзор за эксплуатацией паровых котлов был установлен с 1843 г. Сначала надзор осуществлялся губернскими механиками, а с 1882 г. — Фабрично-заводской инспекцией Министерства торговли и промышленности. Фабрично-заводской инспекцией были разработаны первые правила по устройству (нормы проектирования) и эксплуатации (требования безопасности) паровых котлов, в основу которых были положены руководства по эксплуатации Лицензиара. Возникновение этих элементов следует считать рубежом появления систем обеспечения безопасности первого поколения.

### 1.2. Первое поколение систем управления

Первое поколение — это традиционный, предписывающий административный подход к обеспечению безопасности. Его парадигмой являются: установление единого набора требований, обязательных для выполнения; непоколебимая вера в то, что соблюдение требований необходимо и достаточно для обеспечения безопасности; понимание и признание того, что существуют угрозы с одновременной безоговорочной убежденностью в том, что события проявления рисков (аварии) являются следствием исключительно проявления безответственности (доходчиво передаваемая тезисом: «... у каждой аварии есть фамилия, имя и отчество»), приписываемый наркомому железнодорожного транспорта Л. М. Кагановичу).

В России (тогда — Советском Союзе) пик предписывающего регулирования пришелся на середину прошлого века<sup>1</sup>:

1. Установить, что ... выпуск продукции с нарушением обязательных стандартов является противогосударственным преступлением, равносильным вредительству.

2. За выпуск ... продукции с нарушением обязательных стандартов — директоров, главных инженеров и начальников отделов технического контроля промышленных предприятий предавать суду и по приговору суда подвергать тюремному заключению сроком от 5 до 8 лет.

И, в несколько ослабленном виде, парадигма предписывающего регулирования сохранялась до 10-х годов XXI века! Первое известное автору целеустанавливающее регулирование (переход от предписаний типа «как делать» к постановке цели в области безопасности типа «чего достигать») было реализовано в правовом поле России только для пожарных рисков и только в 2008 г.<sup>2</sup>

Процесс управления безопасностью в системах первого поколения был предельно прост и доступен для понимания. На каждой фазе жизненного цикла производства, включая проектирование и эксплуатацию, предписывающие требования составляли суть проектных решений и процедур эксплуатации. Все участники процесса, без выделения особых ролей, контролировали соблюдение требований и наказывались за их нарушения. Инструмент управления безопасностью также был един для Надзора и Бизнеса — контрольно-проверочные листы (чек-листы) для разрешительных документов (для контроля нарушений, невидимых невооруженным взглядом, использовались сертифицированные инструменты, типа технической диагностики, и результаты их замеров и расчетов уже контролировались глазами).

Достоинства подхода к обеспечению безопасности первого поколения очевидны:

- предельная простота, минимум требований к культуре безопасности всех работников;

<sup>1</sup> Об ответственности за выпуск недоброкачественной или некомплектной продукции и за несоблюдение обязательных стандартов предприятиями. Указ Президиума Верховного Совета СССР от 10 июля 1940 года. // «Ведомости ВС СССР», 1940, № 23

<sup>2</sup> Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.04.2024) // СЗ РФ от 28.07.2008 № 30. Ч. 1. Ст. 3579

- полная синхронизация подхода с надзорными органами, минимум требований к руководителям в части повышения безопасности.

Следует решительно подчеркнуть прогрессивность предписывающего регулирования в его начальном периоде, с XV по XIX век. Вероятно, администрирование соблюдения требований обеспечило наиболее эффективный и контролируемый переход от вольницы крестьянского хозяйства к дисциплине промышленного производства. Однако, несмотря на постоянное совершенствование охвата и детальности предписывающих требований, во второй половине XX века в мире обозначилась проблема — начала расти аварийность [3], причем в СССР/России эта негативная особенность сохранялась дольше, чем в промышленно развитых странах [4, 5].

Постоянный рост энерговооруженности производств, предельные режимы технологических процессов, их сложность вошли в диалектическое противоречие с техникой регулирования безопасности через предписание отдельных, вовсе не универсальных проектных решений, появляющихся после инноваций с большой задержкой, которые выдавались за требования безопасности. В России эти противоречия особенно обострились в 10-х годах XXI века, когда устаревшие предписания стали просто тормозить внедрение прогрессивных инновационных материалов и решений. Стало очевидно, что основанные на опыте предписания не гарантируют ни полноту охвата угроз производства, ни помогают обеспечить безопасность новых технологий. Надзор «в упор» не видел различий между серьезными нарушениями и незначительными отступлениями от предписывающих требований, денег на приведение устаревающих производств в соответствие со всеми устаревшими требованиями, включая мелочевку, не хватало, и промышленность оказалась в тупике, создалась патовая ситуация.

Однако вышеописанный кризис обозначился в других странах несколько раньше и его разрешение следует считать рубежом появления систем обеспечения безопасности второго поколения.

### 1.3. Второе поколение систем управления

Предвестниками кризиса доселе вполне успешного подхода первого поколения стали учащающиеся крупные аварии: гибель при пожаре экипажа «Аполло-1»

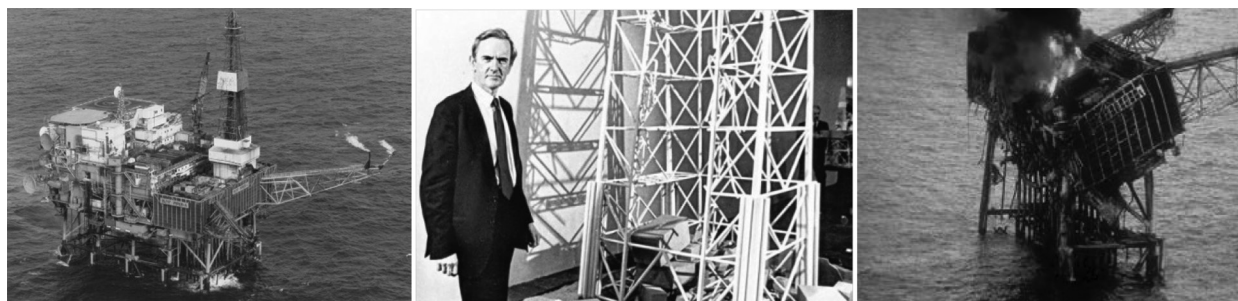


Рис. 1. Платформа «Пайпер Альфа» (до и после аварии) и судья Лорд Каллен из Уайткирк у макета платформы, использованный экспертами в ходе публичного судебного расследования катастрофы

Figure 1. “Piper Alpha” platform (before and after the disaster) and judge Lord Cullen of Whitekirk at mock-up platform that were developed by experts in the course of a public inquiry

(1967 г.); почти ежемесячные аварии на производствах боевой химии компаний Imperial; Chemical Industries в конце 60-х–начале 70-х гг. прошлого века; авария на АЭС «Three Mile Island» (1979 г.); многочисленные примеры знаковых аварий на гражданских химических производствах отлично представлены в работах [3, 4]. Предписывающий подход не смог обеспечить безопасность производств.

Расследование любой конкретной из вышеперечисленных аварий, идентификация обстоятельств их возникновения каждый раз указывало на наличие одной общей причины — существующие предписывающие требования не полностью охватывали угрозы производства, некоторые из угроз не адресовались; а предлагаемые проектные решения по контролю этих угроз оказывались либо недейственными, либо неэффективными. Возникло подозрение, что Законодатель/Надзор не всегда понимал, как контролировать риски и обеспечить безопасность, а Бизнес лишь добросовестно обеспечивал надлежащее соблюдение применимых требований и не проявлял/не умел проявить инициативу.

Слабость последней позиции была быстро осознана Бизнесом (пассивность не является характерной чертой деловой деятельности), и были рождены пока еще не совершенные, но новые методики и инструменты для предварительного выявления возможных аварий на конкретных производствах [6, 7].

Одновременно у ученых и «зеленых» появилась гипотеза о цели управления рисками безопасности, названная «принципом ALAPA» (as low practicably

achievable)<sup>3</sup>, то есть «правильно» снижать риски надо настолько низко, насколько это технически возможно. Осознание того, что подобная «патологическая инженерия» разорительна и обществом в целом не востребована, было болезненным, особенно для борцов с атомной энергетикой.

Тем не менее движение промышленности по инерции предписывающего регулирования продолжалось до момента катастрофы на платформе «Piper Alpha» 6 июля 1988 г. Эта катастрофа известна специалистам по безопасности не сколько огромным вредом, причиненным людям (из 226 работников на борту погибло 167), а прежде всего сменой парадигмы регулирования безопасности самого подхода к обеспечению безопасности, которая за этим последовала.

Публичное судебное рассмотрение катастрофы вел В. Дуглас Каллен [8], который более двух лет отвел на экспертизы и по итогам суда в 1990 г. выдал рекомендации [9], полностью изменившие парадигму регулирования безопасности. Суть предлагаемых изменений — производство безопасно, если продемонстрировано:

- ... что все возможные техногенные опасности и создаваемые ими риски для персонала идентифицированы и даны нужные защиты...;

<sup>3</sup> Regulatory aspects of underground disposal of radioactive waste. Proceedings of a technical committee on regulatory aspects of underground disposal of radioactive waste organized by the International atomic energy agency and held in London, 25-29 September 1978. // A technical document issued by the International atomic energy agency, Vienna, 1980.

- ... посредством количественной оценки техногенных рисков соблюдение критериев допустимости риска ...;

- ... принятие всех мер обеспечения безопасности, которые практически целесообразны.

Несколько забегая вперед, отметим, что последняя из приведенных выше рекомендаций получила в мире название «принцип ARARP» (as low as reasonably practicable) [10]. Этот принцип требует демонстрации того, что расходы на дальнейшее уменьшение риска будут явно не пропорциональны полученным выгодам и преимуществам. Принцип продекларирован в законодательстве США, где он назван ALARA (as low as reasonably achievable). В законодательстве Великобритании, Австралии и Новой Зеландии принцип именуется SFAIRP (so far as is reasonably practicable). Смысл всех этих аббревиатур абсолютно одинаков.

Тем не менее, в законодательстве стран континентального права, в отличие от законодательства упомянутых выше стран с общим правом, этот принцип не применяется, поскольку сама идея кодекса требует точного определения, а не прецедентов. Попытка дать инженерный, а не судебный критерий «пропорциональности затрат и выгод» применительно к причиняемому людям вреду приводит к до сих пор неразрешенной в правовом поле проблеме законодательного установления «цены предотвращения смерти» ICAF (от: implied cost of averting a fatality). Так что при всей внешней привлекательности и кажущейся логичности принцип ALARP признания общества, Законодателя/Надзора, а следовательно, и Бизнеса, не нашел и на практике принцип ALARP не используется.

Но тем не менее, новое поколение систем управления безопасностью возникло и существует.

Второе поколение — это переходной эмпирический подход к обеспечению безопасности.

Его парадигмой являются: понимание, что соблюдение требований, которые всегда отстают от прогресса технологий и по определению должны распространяться на все производства без учета их специфики в каждом конкретном случае, не спасет от катастроф; выявление критических рисков (катастрофических сценариев аварий) на конкретном производстве путем проведения модерируемых междисциплинарных экспертиз (кратко называемых всеми риск-сессиями, которые являются по своей сути дисциплинирующими техниками для извлечения

и систематизации практического опыта линейных менеджеров и инженеров-практиков с производства применительно к возможным происшествиям); разработка мероприятий по снижению таких критических рисков; реализация мероприятий в общем порядке, с возможным проведением контроля за реализацией мероприятий в отдельном, особом порядке.

Процессы управления безопасностью в системах второго поколения дополняют процессы управления безопасностью первого поколения (они сохраняются без изменений) следующими элементами (в цикле управления производством):

- планирование, плюс к мероприятиям по обеспечению соблюдения требований дополнительных мероприятий, которые направлены на снижение критических рисков (катастрофических сценариев аварий);

- исполнение (реализация) и проверка (контроль реализации) таких мероприятий осуществляются в рамках специального обозначенного, отдельного от общего процесса, зачастую с более высоким приоритетом и ресурсами;

- совершенствование, как и в случае первого поколения, систем управления безопасностью, отсутствует. Мотивация работников возможна только в части наказания за нарушения, нет предмета поощрения за достижения, так же как нет и механизма тиражирования достижений, поскольку осмысление физических принципов предлагаемых мероприятий не задействовано в процесс управления.

Во втором поколении систем управления безопасностью появляются новые роли. Начинают различаться владелец рисков и менеджер процесса управления рисками, выделяются пользователи методов и инструментов управления катастрофическими рисками, участники риск-сессий наделяются дополнительными компетенциями. Во многих случаях практикой становится назначение владельцев критических рисков (забегая вперед — весьма спорное эмпирическое решение, противоречащее физическому существу проблемы). Естественным следствием изменений становится проявление уровней (на всех уровнях управления бизнесом) производственного контроля, производственного экологического контроля соблюдения требований.

Основным инструментом (несмотря на рекомендацию лорда Каллена) становится именно качественный

анализ рисков, процесс расстановки приоритетов в отношении индивидуальных рисков для дальнейшего анализа или действия, выполняемый путем качественной оценки вероятности возникновения и последствий воздействия<sup>4</sup>. К достоинствам подхода к обеспечению безопасности второго поколения представляется правильным отнести следующие положения:

- наполнение понятия «безопасность» физическим смыслом через выявление и анализ сценариев аварий, что позволило на практике начать контролировать, пусть пока и несовершенно, катастрофы;
- привлечение на практике внимания руководителей, специалистов и рабочих производства к критическим рискам;
- повышение культуры безопасности прежде всего за счет осознания роли и места мероприятий по контролю рисков для обеспечения безопасности;
- зарождение в рамках этого подхода как результат многократного повторения процесса изменения безопасности путем реализации мероприятий по контролю рисков, понимание того, что безопасность это не статичная, неизменная данность, а один из динамических изменяемых показателей производства.

Отсюда и рождение новой парадигмы, и появление цели обеспечения безопасности типа цели НОЛЬ [1], и смена пассивного соблюдения требований безопасности на активный поиск новых способов достижения поставленных целей в области безопасности, и многое другое.

По мере распространения второго поколения систем управления безопасностью на производства по всему миру стали проявляться и проблемы как для Законодателя/Надзора, так и для Бизнеса. Прежде всего — отказ Законодателя/Надзора понимать и использовать на практике те «цеховые»<sup>5</sup> критерии допустимости индивидуальных рисков, которые предлагались техническими экспертами для ранжирования критических (катастрофических) рисков.

В работе [1] указаны фундаментальные причины, объясняющие приверженность Законодателя/Надзора использовать для государственного регулирования

безопасности критерии допустимости агрегатов рисков, и отторжение «цеховых» критериев допустимости индивидуальных рисков.

Для Бизнеса в рамках второго поколения систем управления безопасностью обозначились следующие проблемы:

- во-первых, система управления усложняется, а не упрощается, так как к существующим процессам обеспечения соблюдения требований (и задействованным в них работникам) добавляются, без всякой синергии, дополнительные процессы поиска ключевых рисков с помощью модерируемой междисциплинарной экспертизы и реализации найденных дополнительных мероприятий по контролю катастроф (еще люди). При этом затраты на обеспечение безопасности — затраты на поддержание в работоспособном состоянии как существующих (для соблюдения требований), так и новых (для контроля катастроф) мероприятий только растут и растут существенно;
- во-вторых, качественные оценки риска (идентификация рисков, анализ их вероятностей и последствий) в принципе не дают достоверных результатов, а использование техники модерируемой междисциплинарной экспертизы [11, 12] прямо наталкивает на манипулирование (в пользу устроителей);
- в-третьих, сам формат оценки — преобразование данных о производстве в отдельные сценарии (критические риски), никак не соответствует практическим потребностям Бизнеса при взаимодействии с Надзорами (необходимы сведения по всем воздействиям) и партнерами в инвестиционных и страховых проектах, так как там требуются достоверные знания об ожидаемых потерях. Хотя, справедливости ради, следует отметить, что востребованные в страховом деле значения «расчетного максимального ущерба» (estimated maximum loss) даются именно вероятностями и последствиями критических (катастрофических) рисков;
- в-четвертых, формат результата оценки рисков, отдельные сценарии (критические риски) не образуют метрики для измерения приближения к цели производства в области безопасности (например, допустимость рисков), что делает невозможным сколь-нибудь внятное бизнес-планирование в области безопасности и не представляет сколь-нибудь ясную технику для управления рисками безопасности производства на оперативном уровне (уровне начальника цеха, онлайн).

<sup>4</sup> Руководство к своду знаний по управлению проектом (Руководство РМВОК), 6 издание, 2017 – 762 с. ISBN: 978-1-62825-193-7.

<sup>5</sup> ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001) Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство; ГОСТ Р МЭК 61511-2011 Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов (части 1, 2 и 3).

Однако практика показывает, что в наши дни вышперечисленные проблемы второго поколения систем управления безопасностью — потребность в больших штатах для управления безопасностью; отсутствие достоверных, полных и актуальных сведений о рисках конкретного производства; неинтегрированность в существующие бизнес-процессы производства; отсутствие единой методики управления достижением целей в области безопасности на всех уровнях управления, преодолеваются, и мы переходим к следующему поколению.

Третье поколение систем управления безопасностью производства выстраивается на основе понимания физической природы безопасности и рисков, достижений теории управления сложными системами и теми цифровыми инструментами, которые дают практикам, минуя сложные теоретические построения и экспертизы, прямо управлять безопасностью и рисками.

Логика неизбежности перехода к следующему поколению систем управления безопасностью проста. Если нужно достигать цели НОЛЬ, то логично и неизбежно «измерять расстояние» производства до этой цели, а метрики называть показателями безопасности. Но измерить уровень безопасности конкретного производства невозможно ни в эксперименте, что очевидно, ни в теории. Статистика происшествий никогда не будет репрезентативной, особенно в отношении крупных и катастрофических чрезвычайных ситуаций (ЧС) (аварий). Таким образом, единственный метод получения достоверных оценок показателей безопасности конкретных производств — это математическое моделирование [13, 14].

Ожидается, что в третьем поколении систем управления действия по обеспечению надлежащего соблюдения применимых требований безопасности государственного регулирования страны пребывания выходят за периметр управления рисками безопасности производств. Соблюдение требований изначально закладывается в проектирование и эксплуатацию как необсуждаемое условие (компания всегда и при любых условиях обеспечивает надлежащее соблюдение требований) и технически является одним из самых простых действий по управлению рисками безопасности, которое (управление) осуществляется по единой методологии как для проектируемых, так и эксплуатируемых производств.

Само направление работы по соблюдению (compliance), конечно, сохраняется, однако его периметр существенно сокращается и меняется содержание этих действий. По своему существу они сводятся в основном к разъяснению уполномоченным надзорным органам состояния производства в требуемом надзорными органами формате.

Приметы трансформации функции соблюдения требований уже можно подметить на некоторых производствах. Оценка риска делается там в одном месте и один раз (образно говоря, один раз; на самом деле постоянно обновляется онлайн), а полученные результаты с различной периодичностью в разных форматах передаются в разные разрешительные документы: в Декларацию промышленной безопасности (ДПБ); в Обоснование безопасности (ОБ); в Оценку пожарного риска (ОПР); в План мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА); в План предупреждений и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (ПЛАРН) и т.д. При этом перечень разрешительных документов и форматов требуемых ими сведений о безопасности существенно зависит от страны пребывания, а корпоративная оценка риска не меняется, ибо отражает физическое существо безопасности производства.

## 2. Система управления безопасностью

### 2.1. Управление производством

Применительно к предмету и методу исследования представленной статьи общее понятие «производство» специфицировано в работе [1].

Аналогично уточним понятие «управление». В общем случае управление определяется как: «элемент, функция организованных систем различной природы (... технических), обеспечивающая ... достижение цели деятельности»<sup>6</sup>.

Производство, безусловно, является организованной технической системой, перед которой на практике ставятся производственные цели. Поэтому спецификация общего понятия «управление» применительно к производству (процессу, системе)<sup>7</sup> [1], естественно, определяется как комплекс элементов производства,

<sup>6</sup> Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1977. Т. 27. 624 с.

<sup>7</sup> Там же.

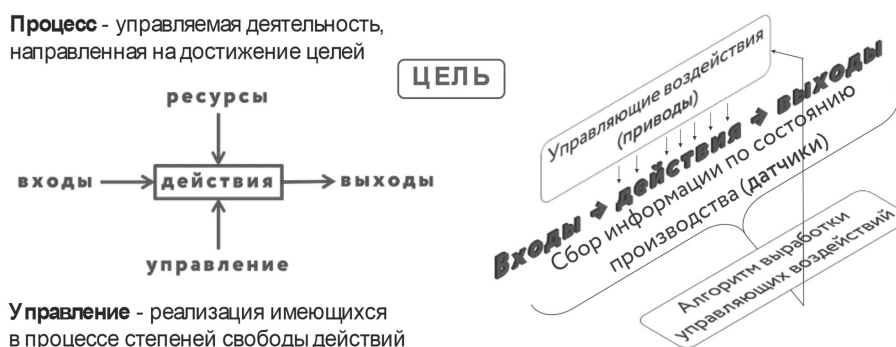


Рис. 2. Общее понятие «управление процессом»

Figure 2. Common definition of process control / management

в совокупности реализующий функционал (процесс, систему) «сбора информации о состоянии производства, обработки этой информации, выработки и реализации управляющих воздействий на производство для достижения производственных целей». Понятие «управление производством» как управление процессом целесообразно проиллюстрировать (см. рис. 2).

### 2.2. Управление: контроль и менеджмент

Русское слово «управление» отлично (адекватно и полно) охватывает и обозначает вышеперечисленное множество элементов производства, «ответственных» за достижение производственных целей. Но для многих специалистов (например, тех, кто использует английский язык) привычнее различать и артикулировать элементы системы управления производством по критериям отношения к целям, инструментам и ресурсам процесса. Традиционно (практики производства<sup>8</sup>, а не общие менеджеры) выделяют:

*управление* — *контроль*, контроль означает оказание сдерживающего или направляющего влияния (control, the ability to direct the course of something; to exercise restraining or directing influence over).

Слово «контроль» пришло из технической области, в управлении — контроле цель не обсуждается, а решается задача поддержания показателей на уставке имеющимися возможностями (ресурсами). Сегодня на химических производствах в контурах управления — контроля преобладающими исполнителями ролей уже являются роботы, которые преобразуют, передают, хранят, активируют и кое-где уже

принимают решения (например, противоаварийной защиты (ПАЗ)).

Сегодня управление — контроль является областью научного знания [13, 14], на базе которого развиваются соответствующие инженерные дисциплины.

*Управление* — *менеджмент*, менеджмент есть осуществление исполнительного, административного и контролирующего руководства (management, an exercise of executive, administrative, and supervisory direction of).

Слово «менеджмент» пришло из делового оборота, в управлении — менеджменте каскадирование целей на нижележащие уровни управления и принятие целей от вышележащих уровней управления являются ключевыми процессами, неразрывно связанными с выделением ресурсов. Сегодня на химических производствах в контурах управления — менеджмента преобладающими исполнителями ролей по-прежнему являются люди. Управление — менеджмент является областью скорее эмпирического, чем научного знания, апробированные на практике техники которого представлены в Сводах Знаний [15].

Автоматизация и цифровизация контуров управления — менеджмента составляет техническую основу перехода к третьему поколению систем управления.

Вместе с тем нет физических оснований для разделения контроля и менеджмента, так как управление в промышленности насыщено механизацией, автоматизацией, цифровизацией, искусственным интеллектом, и конкретные роли в процессе управления производством играют и человек, и робот (с разным, естественно, качеством исполнения, но с одним и тем же функционалом), что должно адекватно и единообразно отражаться в (математических) моделях управления.

<sup>8</sup> www.globalcontrol.com

### 2.3. Уровни управления производством

Традиционно промышленные компании в России управляют производством на трех уровнях [16].

На оперативном уровне в режиме онлайн 24/7 эксплуатацию осуществляет начальник смены (другое название — мастер смены). Общеизвестно и ожидается (примером является решение Минтруда России)<sup>9</sup>, что именно начальник смены предотвращает и устраняет причины нарушений хода производства. В соответствии с развиваемым в статье подходом рациональным результатом каскадирования целей в области безопасности на уровень начальника смены является «поддержание допустимости рисков безопасности производства в ходе нормальной эксплуатации / проведения технического обслуживания и ремонта». Такую цель кратко можно обозначить как «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТОЛЬКО С ДОПУСТИМЫМ РИСКОМ».

Такое целеполагание позволит, возможно, частично снять существующую сегодня неопределенность в критериях принятия решений при нештатных ситуациях при взаимно противоречивых оценках «разгрузить/остановить производство, избежать аварии, но не выполнить план по выпуску продукции» и «продолжать производство, иметь недопустимый риск аварии, а то и саму аварию, надеясь выполнить план по выпуску продукции». Стоимость такого решения, особенно на химических производствах, высока, и представляется необходимым предоставить всем уполномоченным сторонам четкие критерии принятия решений на самом нижнем уровне управления.

Среди прочих производственных целей в области безопасности производственную цель начальникам смен ставит начальник цеха (вышестоящий уровень управления производством), и именно вышеуказанная цель является естественно-разумной, так как это есть результат каскадирования цели бизнеса в области безопасности с высшего уровня управления на уровень начальника смены. Также на начальнике смены заканчивается каскадирование целей — оперативный персонал получает обязательные для выполнения указания (управляющие воздействия).

По цели, процессам, ролям исполнителей, инструментам управление рисками безопасности производства на уровне начальника смены является

управлением — контролем. В полномочия начальника смены не входит ни изменение производства (за исключением принятия оперативных решений о введении временных барьеров безопасности), ни привлечение дополнительных ресурсов. Поэтому роль в процессе управления рисками, которую исполняет начальник смены, разумно назвать «оператор безопасности», хотя возможны и другие, интуитивно понятные наименования.

Сегодня по факту начальник смены реагирует только на текущую ситуацию в цехе по имеющимся сигналам. Более того, не всегда в поле его зрения попадают важные события в области безопасности (важные и нужные сигналы). Для выработки адекватных управляющих воздействий нужен соответствующий инструмент — инструмент сбора информации по ситуации на производстве, содержащей все существенные для безопасности сведения, в идеале — инструмент прогнозирования трендов. Режим онлайн принятия решений требует даже не автоматизации, а цифровизации (исключения человека из процесса) вышеперечисленных инструментов.

Только с инструментами, удовлетворяющими вышеперечисленным требованиям, начальник смены сможет, как от него ожидается, предотвращать и устранять причины нарушений хода производства до возникновения происшествий и тем более — ЧС в его цехе.

На тактическом уровне на обеспечение безопасности производства в цехе уполномочен начальник цеха, который по факту оказывает управляющие воздействия в недельном цикле. Общеизвестно и ожидается (примером является решение Минтруда России)<sup>10</sup>, что именно начальник цеха проводит работу по совершенствованию организации производства, его технологии, механизации и автоматизации производственных процессов.

В соответствии с развиваемым в статье подходом, рациональным результатом каскадирования целей в области безопасности на уровень начальника цеха является «достижение плановых значений показателей безопасности производства в плановый период». Такую цель кратко можно обозначить как «НОЛЬ ТРАВМ, НОЛЬ АВАРИЙ, НОЛЬ ВНЕПЛАНОВЫХ ПОТЕРЬ».

<sup>9</sup> Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих (утв. постановлением Минтруда России от 21.08.1998 № 37) (ред. от 27.03.2018).

<sup>10</sup> Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих (утв. постановлением Минтруда России от 21.08.1998 № 37) (ред. от 27.03.2018).

Среди прочих производственных целей в области безопасности производственную цель начальникам цеха ставит директор (вышестоящий уровень управления производством), и именно вышеуказанная цель является естественной разумной целью, так как это есть результат каскадирования цели бизнеса в области безопасности с высшего уровня управления на уровень начальника цеха.

Здесь следует отметить и возрастание требований к организационным компетенциям начальника цеха по сравнению с дневными инженерами, мастерами и начальниками смен, которые по существу своей работы являются просто квалифицированными специалистами — исполнителями указаний. Начальник цеха обязан оперативно каскадировать свою производственную цель в области безопасности на начальников смен и контролировать ее исполнение. Делегирование полномочий (постановка цели, куда идти для самостоятельной организации ее достижения) — это принципиально новый управленческий инструмент по сравнению с выдачей конкретных указаний, что и как делать, особенно в части контроля.

По цели, процессам, ролям исполнителей, инструментам управление рисками безопасности производства на уровне начальника цеха является комплексом (композицией) управления — контроля и управления — менеджмента, значительно более сложным, чем каждый из видов управления в отдельности.

Роль в процессе управления рисками, которую исполняет начальник цеха, общепринято называть владельцем рисков, хотя возможны и другие, интуитивно понятные наименования. Начальник цеха, в отличие от начальника смены, принципиально не может ограничиться реакцией на текущую, сиюминутную ситуацию на производстве, хотя сегодня на практике у него практически нет инструментов, кроме опыта, интуиции и здравого смысла, для выявления и предупреждения негативных тенденций перехода производства в штатную ситуацию. Прежде всего здесь требуется проводить анализ трендов по выявлению нарастания негативных тенденций (событий в области безопасности); постоянно обращаться к лучшему опыту отрасли для поиска адекватных барьеров безопасности и обосновывать рекомендации по реализации дополнительных мероприятий по контролю рисков (в пределах установленных лимитов). Объем и скорость обработки информации при выполнении

вышеперечисленных действий безальтернативно требуют автоматизации, а цифровизация пока, по мнению автора, контрпродуктивна из-за отсутствия алгоритмов процесса принятия решений (пока такие алгоритмы не разработаны).

Только с инструментами, удовлетворяющими вышеперечисленным требованиям, начальник цеха сможет, как от него ожидается, совершенствовать организацию производства, его технологии для достижения плановых значений показателей безопасности производства в цехе в плановый период.

На стратегическом уровне за обеспечение безопасности производства во всех цехах уполномочен директор, который по факту оказывает управляющие воздействия в годовом (инвестиционном) цикле. Важнейшим отличием директора от начальника смены и начальника цеха является то, что полномочия делегируются директору не традициями делового оборота или корпоративными документами, а делегируются непосредственно Законом<sup>11</sup> (см. рис. 3).

Объем делегируемых полномочий — руководство (управление) текущей (операционной) деятельностью актива (предприятия). Состав полномочий: достижение производственных целей актива (предприятия); обеспечение соблюдения применимых требований (государства, акционеров) на активе (предприятии).

В соответствии с развиваемым подходом рациональным результатом каскадирования целей в области безопасности на уровень директора является «неуклонное движение к цели НОЛЬ путем постановки значений показателей безопасности на горизонт планирования, увязанных по срокам и ресурсам, совместно с достижением других производственных целей». Такую цель кратко можно обозначить как «ДВИЖЕНИЕ К ЦЕЛИ НОЛЬ».

Такое целеполагание позволит, возможно, частично снять существующую сегодня неопределенность в критериях принятия решений в отношении ресурсов, выделяемых на обеспечение безопасности.

Аварии и катастрофы по своей природе являются случайными величинами. В принципе невозможно исключить аварии, можно лишь контролировать их вероятности и последствия, то есть риски. Если мотивация директора и персонала происходит только по

<sup>11</sup> ФЗ РФ от 26.12.1995 № 208-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об акционерных обществах».

факту аварии, безотносительно усилий предприятия по предупреждению и смягчению последствий рисков, то по факту директор, скорее всего, ограничится только соблюдением минимальных гигиенических (государственных) требований в области безопасности и не будет иметь желания и вкуса к движению к цели НОЛЬ.

Если же при расследовании аварии, если она случится, будет выяснено, что все предусмотренные производственным контрактом мероприятия по контролю рисков реализованы на производстве должным образом, то есть допустимый и принятый Руководством риск реализовался (этого никогда нельзя исключить, так как это случайное событие), то в соответствии с утвержденной системой мотивации директора и персонала такой случай реализации риска не вменяется в вину автоматически и по итогам расследования вообще не влияет на ключевые показатели эффективности. Такая система мотивации будет поддерживать инициативы предприятия (от директора до аппарата) по снижению рисков и движению к цели НОЛЬ самым серьезным образом.

Природе обеспечения безопасности производств адекватно отвечает такой процесс целеполагания (бюджетирования), при котором все производственные цели сбалансированы против возможных ресурсов. В таком идеальном случае Совет директоров делегирует директору предприятия полномочия, включая

выделение ресурсов на достижение поставленных производственных целей; а директор, принимая полномочия, обеспечивает, в том числе несет полную ответственность за достижение поставленных производственных целей, включая цели в области безопасности (то есть уровень риска производства фиксируется в производственном контракте на старте, контролируется в процессе и мотивация директора осуществляется по результатам достижения поставленной цели в конце периода планирования). Баланс в области безопасности при таком процессе достигается на основе формулы «за такие деньги» можно получить «такую безопасность».

Чем больше ресурсы, тем ниже риски, и наоборот. При этом все участники процесса понимают, что такие цели в области производственной безопасности на плановый период реалистичны, и достижение целевых и контрольных показателей аудирруется и обеспечивает отвечающую ожиданиям всех сторон прибыль и уровень безопасности (уровень риска, плановые значения показателей безопасности). С таким подходом возможно долгосрочное планирование движения к цели НОЛЬ в рамках возможного, в соответствии с текущей ситуацией в бизнесе.

Необходимо решительно подчеркнуть, что описанный выше процесс не имеет никакого отношения к соблюдению государственных требований страны

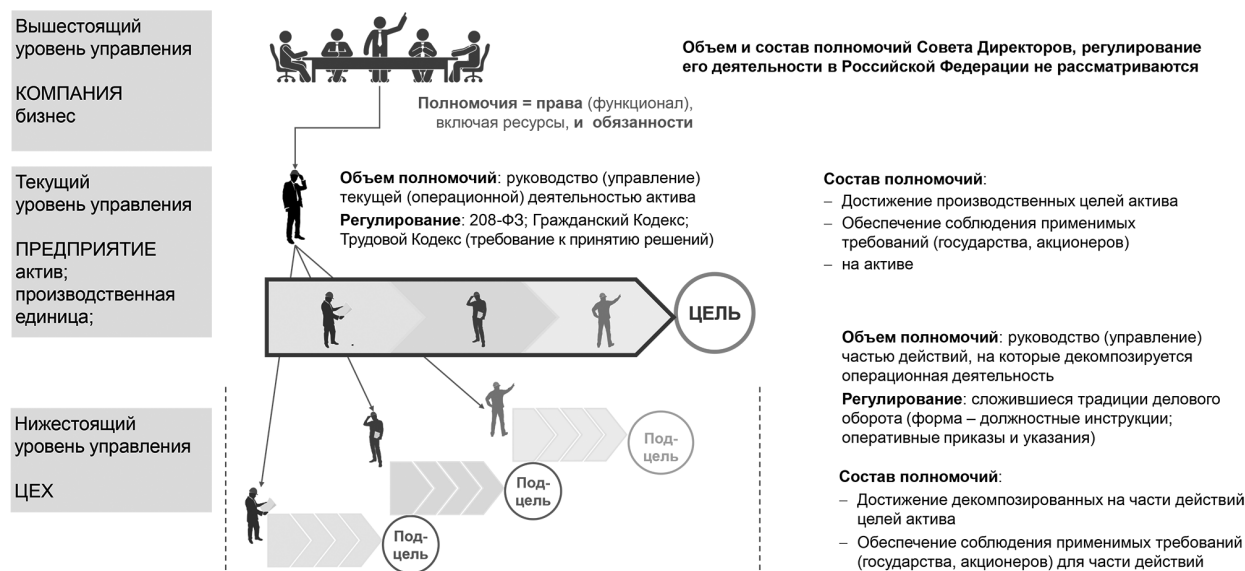


Рис. 3. Общие принципы делегирования полномочий и каскадирования производственных целей

Figure 3. The fundamentals of authorities' delegation and cascading of production objectives

пребывания в области безопасности. Соблюдение государственных требований не обсуждается, а надлежащим образом обеспечивается бизнесом, так называемый комплаенс процесс (compliance assurance). Свод производственных целей в области безопасности на всех уровнях управления производством представлен на рис. 4.

#### 2.4. Процессы управления безопасностью

Применительно к производственным целям в области безопасности система управления безопасностью, как подсистема управления производством, с точки зрения информационных технологий, естественно декомпозируется на следующие, параллельно действующие процессы:

- преобразовывать (convert) реальное состояние производства, включая события в области безопасности, в информацию о состоянии производства. Инструментами преобразования — преобразователями (converters; источниками информации) являются люди (посредством личного общения, записей, раций, телефонов и др.) и роботы (посредством сенсоров, датчиков, видеокамер и др.);
- передавать (transfer) информацию (по состоянию производства, по событиям в области безопасности, управляющую информацию) между ее источниками и потребителями. Инструментами

передачи — передатчиками (transferrers) информации, естественно, являются линии связи (коммуникаций);

- хранить (keep) информацию по фактическим, имевшим место событиям в области безопасности на производстве (предвестникам, предаварийным ситуациям, событиям проявления рисков и происшествиям [1]). Инструментом хранения — хранителем (keeper) информации являются (бумажный) архив и/или программное обеспечение, называемое базой данных (по событиям в области безопасности), с помощью которых осуществляются импорт, накопление, анализ и экспорт информации по событиям в области безопасности;

- активировать, исполнять (actuate, execute) команды (управляющие воздействия) изменения реального состояния частей производства путем (для технологии) создания силы, вращающего момента, перемещения и других способов воздействия на материальные потоки [2] и путем (для организации) распределения ресурсов, включая направления ТООР, кадров, закупок и других способов воздействия на производственное оборудование, производственный персонал и производственные операции [2]. Инструментом активации — актуаторами (приводами, исполнительными механизмами; actuators) являются механизмы (механические, гидравлические, пневматические, электрические, электромеханические, электрогидравлические, электроповоротные и другие) и люди.



Рис. 4. Уровни управления рисками безопасности производства

Figure 4. Tiers of process safety risks control / management

- принимать решения (make decisions), то есть выработать команды (управляющие воздействия, информацию по управлению) для достижения производственных целей в области безопасности для их передачи на актуаторы на основе (путем обработки) имеющейся информации по состоянию производства, передаваемой от преобразователей, и информации по событиям в области безопасности, передаваемой от хранителя. Инструментами принятия решений — приемщиками решений (decision makers), сегодня на практике являются либо (редко) цифровые алгоритмы, не предусматривающие участие человека, либо (почти всегда) процедуры, все чаще помогающие человеку, который принимает решение, автоматизированными подсказками и автоматизированным контролем.

### 2.5. Особенности управления — контроля

Главной, сразу бросающейся в глаза особенностью управления — контроля, по сравнению с другими уставками (типа температуры, расхода или давления материального потока), является отсутствие приборов и датчиков измерения риска и безопасности на производстве или прямых преобразователей (см. разд. 2.4).

Отличие температуры потока от риска производства долгое время скрывалось тем сходством, что все параметры состояния производства являются объективными, не зависящими от воли и сознания практиков и экспертов величинами, имеющими физический смысл. Осознание различия — риск, в отличие от потока, является функцией всего производства, соответственно требует расчетного определения и не может быть прямо измерен, — потребовало у инженеров более 30 лет, если отсчитывать время от первой публикации по анализу рисков [6]. Однако первыми в осознании природы управления — контроля рисками безопасности производства стали не датчики (компьютерные программы для расчета рисков), а актуаторы (приводы, исполнительные механизмы (см. разд. 2.4)), названные впервые барьерами безопасности в 2006 г. [17].

Барьеры безопасности на химическом производстве — это набор элементов производства, имеющих в совокупности функционал (а не техническое устройство типа шлагбаума, как иногда полагают):

- предупреждения возникновения события проявления риска;
- смягчения последствий проявления риска либо через контроль эскалации посредством или снижения

выхода энергий и материалов из основной системы удержания, или изменения характеристик полей поражающих факторов, либо через ослабление воздействия полей поражающих факторов на человека и окружающую среду.

Большое количество работ обращается к вопросу классификации барьеров безопасности<sup>12</sup> [18]. На практике же, особенно в работах по автоматизации и цифровизации управления безопасностью, востребована иная, основанная на физических принципах, классификация барьеров безопасности предупреждения и смягчения последствий:

- конструктивный барьер — это проектные решения по основной системе удержания для штатных ситуаций (в части предупреждения) или защита от проектных аварий (в части смягчения последствий).

Барьеры безопасности, формирующие по состоянию производства управляющее воздействие для возврата при эксплуатации к штатной ситуации при отклонениях, необходимо для возможности моделирования классифицировать по способу реализации функционала:

- технический барьер, функционал которого реализуется только явлениями природы без участия человека и автоматизации;
- инструментальный барьер, функционал которого реализуется только средствами автоматизации и явлениями природы, без участия человека;
- оперативный барьер, функционал которого реализуется и силами персонала, и автоматизацией, и явлениями природы.

Очевидно, что работоспособность (при надлежащей реализации) приоритезируется в соответствии с вышеуказанным порядком (законы природы не отказывают никогда, а человек — это самое ненадежное звено в любой цепи управления). Именно поэтому на практике оказывается целесообразным различать и учитывать результативность контрольных процедур, которые теоретически должны быть представлены в каждом барьере как самоконтроль, а по факту подчас не исполняются. Для учета влияния производственного контроля востребован функционал:

контрольный барьер — это организационно-технические решения по ведению производства,

<sup>12</sup> Р Газпром 18000.2-021-2022. Методические рекомендации по оценке состояния барьеров безопасности персонала объектов ПАО «Газпром».

реализующие мониторинг работоспособности (нахождения в пределах и условиях эксплуатации) конструктивных, технических, инструментальных и оперативных барьеров.

Важно понимать, что барьеры безопасности предупреждения влияют только на вероятность (ожидаемую частоту реализации) проявления риска, но не на само это событие, поэтому неправильно говорить о том, что отказ барьера безопасности привел к проявлению риска. Аналогичным образом барьеры безопасности смягчения последствий не устраняют последствия, просто масштаб последствий (причиняемый вред) меняется в зависимости от перечня и состава барьеров. С практической точки зрения исчерпывающая идентификация барьеров безопасности как для проектируемых, так и для эксплуатируемых производств вовсе не является тривиальной задачей.

Графическая иллюстрация концепции барьеров безопасности приведена на рис. 5, на рис. 6 представлены примеры барьеров безопасности.

Из представленной физической картины возникновения и развития проявления риска очевидно, что количественные характеристики риска, включающие вероятность и последствия, но не ограничивающиеся ими, существенно зависят от готовности (availability) и безотказности (reliability) компонентов барьеров безопасности. Этими компонентами являются части оборудования и люди. В отношении людей не принято говорить об их надежности, но по своему физическому существу их обучение (подготовка), охрана их здоровья являются мерами по обеспечению надежности (dependability) «человеческих» компонентов барьеров безопасности. Это и есть решение одной из заявленных задач исследования (смотри Введение).

В представленной статье как не соответствующие заявленному предмету исследования не рассматриваются вопросы измерения надежности барьеров безопасности и их компонентов для последующего прогнозирования показателей безопасности производства, включая материалы по учету уровня подготовки персонала и контроля состояния здоровья работников.



Рис. 5. Понятие барьеров безопасности

Figure 5. Concept of safety barriers

Примеры барьеров с различными функционалами и механизмами действия					
Функционал барьера	Механизм действия барьера				
	конструктивный	технический	инструментальный	оперативный	контрольный
Предупреждение возникновения	Тип материала и толщина трубопровода	Предохранительный клапан пружинный	АСУ ТП, ПАЗ	Аварийная сигнализация	Автоматизированный контроль работоспособности (пределов и условий эксплуатации) барьера
Контроль эскалации	Огнезащитные стены	Нормально-закрытые аварийные отсекатели	Система обнаружения пожара и газа (СОПИГ)	Тушение пожара силами НАСФ/ПАСФ	
Ослабление воздействия	Безопасные расстояния размещения оборудования	Огнезащитные покрытия структур	Автоматическая система орошения	Перемещение, эвакуация и спасение	

Рис. 6. Примеры барьеров безопасности с различными функционалами и механизмами действия

Figure 6. Examples of safety barriers having distinct functions and mechanisms of operation

Существует множество публикаций и исследований по этой теме и добавить к уже имеющимся результатам пока нечего.

Крупнейшим препятствием на пути автоматизации и цифровизации управления рисками безопасности на практике становится отсутствие сколь-нибудь вменяемых регламентов трудового процесса (действий аппаратчиков и машинистов), эквивалентных по степени детализации рабочей документации на оборудование и технологические процессы.

Особенно это представляется удивительным для российских предприятий, ведь система научной организации труда (НОТ) была разработана и внедрена А. К. Гастевым и его сподвижниками еще в 20-х годах прошлого века [19]. В рамках НОТ были разработаны карты, содержащие: «... точное описание каждого действия, включающее время цикла, время такта, последовательность выполнения определенных задач, минимальное количество запасов для выполнения работы», которые сегодня, по иронии судьбы, известны офисным менеджерам как «стандартизованная работа» в тематике бережливого производства<sup>13</sup>. Популяризатором концепции для российских бизнесов стала компания СИБУР [20], которая рассматривала стандартные операционные процедуры (СОП) как обобщение эмпирической практики. Такой подход, который уже дал серьезный скачок в производительности труда, то есть повысил эффективность производства, к сожалению, не был связан с его безопасностью (безопасность и эффективность проходят по «разным столам»).

Если же видеть СОП как алгоритм изменения состояний производства, то становится ясным, что целью СОП является достижение максимальной эффективности при допустимом уровне рисков. Другими словами, создание наилучшей (рациональной) СОП является решением задачи оптимизации с ограничениями (constrained optimization). С точки зрения безопасности изменения СОП являются изменениями барьеров безопасности. Задачу оптимизации можно решать только тогда, когда мы понимаем: из каких элементов (составных частей) СОП собирается; какими численными параметрами эти элементы (составные части) характеризуются; как прогнозировать

получаемые результаты (безопасность, эффективность) для конкретных значений численных параметров этих элементов (составных частей) СОП; какие методы решения задачи оптимизации могут быть использованы.

Из вышеизложенного очевидно, что создание СОП по сущности деятельности есть проектирование. Каждый, кто связан с производством, знает, что такое проектирование (аналогом СМР в случае СОП является внедрение в процесс эксплуатации). Похоже, понимание этой сущности само подсказывает, что скачать что-то из Интернета и приспособить для конкретного производства не получится, даже если работник, которому дано задание написать СОП, «мотивирован».

Приведенный выше пример компании СИБУР [20] также подтверждает это. Годовая или даже десятилетняя практика была задокументирована как СОП. Эмпирическая практика с такой историей апробации, скорее всего, дает и приемлемую безопасность, и некоторое повышение эффективности (аналог — копирование образца, с очевидными улучшениями) без всякой оптимизации. Однако для новых производств, у которых нет годов-десятилетий апробации, такая эмпирическая «цельнотянутая технология» просто отсутствует. Поэтому и велика вероятность создать небезопасную и неэффективную СОП.

В этой статье не рассматриваются вопросы создания (проектирования) эффективных и безопасных СОП на основе динамических реестров рисков, в том числе цифровой идентификации и оценки работоспособности барьеров безопасности, включая инструментальные и оперативные.

## 2.6. Особенности управления — менеджмента

Фундаментальным понятием менеджмента процесса является «владелец процесса (process owner)» [15]. Исполнитель этой роли наделен полномочиями, то есть правами (функционалом, включая ресурсы) и ответственностью за достижение поставленных целей процесса (см. разд. 2.3) через создание/улучшение, исполнение и обеспечение эффективности этого четко очерченного сквозного (кросс-функционального) бизнес-процесса.

Поскольку риск — это неопределенность в достижении поставленной цели, в современной теории менеджмента процессами общепринятым постулатом является положение, что управление рисками — это

<sup>13</sup> ГОСТ Р 56020-2014. Бережливое производство. Основные положения и словарь.

неотъемлемая часть управления процессом и что владелец процесса является владельцем рисков<sup>14</sup>. Этот постулат является очевидным следствием ограниченности ресурсов для любого процесса. Отметим, в связи с этим разъяснением, три обстоятельства:

*Первое:* другими словами, через постулат фиксируется, что эффективный менеджмент имеет в своей основе принцип единоначалия. На достижение цели процесса (даже если цель является векторной величиной) должен быть уполномочен один и только один приемщик решения (см. разд. 2.2).

*Второе:* в практике менеджмента, по наблюдениям автора, фундаментальные законы управления нередко нарушаются (скорее всего, из-за незнакомства с теорией). Имеют место факты некорректного каскадирования целей, назначения одной цели различным исполнителям и, как следствие, недостижения или малой эффективности достижения цели (ситуация, немислимая для управления — контроля). Актуальным примером является, как это ни кажется парадоксальным на первый взгляд, подход к обеспечению надежности (ТОиР)<sup>15</sup> или созданию ПАЗ<sup>16</sup>, где вся стратегия и планы действий строятся на оценке критичности оборудования или критичности выхода за нормы технологического режима, которые технически заявляются, но на деле не относятся к показателям безопасности [1].

*Третье:* несмотря на очевидность единоначалия для управления всеми рисками в совокупности, в российской практике производственных компаний до сих пор бытует мнение, подкрепляемое иногда приказами, о существовании владельцев индивидуального риска. Не исключено, что это мнение навеяно аналогами и необдуманно копируется с калек в финансовой сфере<sup>17</sup>. Следует еще раз подчеркнуть, что назначение

владельца индивидуального риска безопасности производств есть нарушение принципа единоначалия.

Производство как управляемая организационная система (процесс), включая систему управления как ее неотъемлемую часть, характеризуется тем, что достижение производственных целей осуществляется в рамках цикла управления бизнесом:

→ планирование → исполнение →  
→ проверка → совершенствование →  
в английском языке известным, как цикл PDCA:  
→ plan → do → check → adjust →,

что является упрощенным, применительно к запросам современных менеджеров, изложением гипотетико-дедуктивного метода научного познания, восходящего к Галилео Галилею [21].

Полномочия на исполнение действий процессов достижения производственных целей в области безопасности делегируются владельцем рисков (по закону это только директор предприятия) конкретным штатным работникам. Делегирование полномочий также называется назначением на роли, отсюда и название ролевая модель.

На начальной стадии зрелости систем управления, еще во втором поколении, ролевая модель именовалась матрицей ответственности, известной в России больше по аббревиатуре на английском языке RACI [22] (во втором поколении систем управления из-за стремления к универсализму выделялось предопределенное количество ролей от четырех до пяти), с одновременным назначением конкретного исполнителя на каждую роль.

В системах управления третьего поколения, при уровне детализации действий по управлению, требуемому для автоматизации и цифровизации, построение ролевой модели возможно и разумно осуществить на научной, а не эмпирической основе. Для конкретного производства ролевая модель всегда является специфической (process-specific model) для его конкретной организационной структуры (organizational chart), в отличие от процессной модели, являющейся универсальной (pan-process), не зависящей от специфики производства, включая его организационную структуру (organigram).

Алгоритм построения ролевой модели в его принципиальных чертах таков. Определяем на множестве

<sup>14</sup> Руководство ИСО 73:2009, определение 3.5.1.5; ГОСТ Р 51897-2011: Менеджмент риска. Термины и определения.

<sup>15</sup> ГОСТ Р 27.303-2021 (МЭК 60812:2018). Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов (утв. и введен в действие приказом Росстандарта от 21.09.2021 № 987-ст).

<sup>16</sup> ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности (утв. и введен в действие приказом Росстандарта от 08.08.2018 № 467-ст).

<sup>17</sup> Информационное письмо Банка России от 24.12.2020 № ИН-06-14/180 «О рекомендациях руководителям службы внутреннего контроля, службы внутреннего аудита, службы управления рисками финансовых организаций».

элементарных действий процесса управления рисками безопасности производства (для всех этапов цикла управления, см. разд. 2.4) инъективное отображение во множество должностных обязанностей, определяемых производственными инструкциями и стандартными операционными процедурами (СОП), каждого участника организационной структуры так, чтобы делегируемое действие было максимально близко каскадированным производственным целям и полномочиям участника. Физический смысл вышеупомянутого инъективного отображения – это инструмент (алгоритм) по делегированию полномочий по управлению рисками безопасности производства, а совокупность действий, отображенных на должностные обязанности конкретного участника, являются его ролью, исполняемой им при управлении рисками безопасности производства.

Естественно, что на практике, как и всякое другое математическое построение, результаты использования этого инструмента: должны быть проверены на соответствие здравому смыслу; могут быть подвергнуты корректировкам; потребуют как готовности делегировать полномочия, так и подтверждения готовности принять эти полномочия к исполнению; потребуют, как и всякое организационное действие, оформления приказом по производству.

Однако важно то, что сам инструмент автоматизирует создание ролевой модели, что гарантирует выполнение основных законов управления – менеджмента при делегировании: обеспечивается принцип единоначалия; исключаются действия без исполнителей и случаи дублирования полномочий, и других. Также сразу «подтягивается» схема информационных потоков, «наследуемая» из процессной модели.

И, наконец, главное. Корректная ролевая модель обеспечивает возможность справедливой, объективной оценки вклада каждого индивидуального участника в достижение поставленной цели, это дает основу честной мотивации персонала.

Практическая апробация этого инструмента на нескольких эксплуатируемых производствах показывает, что для организации управления рисками безопасности производства на основе процессной и ролевой модели дополнительная штатная численность не требуется. Изменения и дополнения в существующие должностные и производственные инструкции, а также стандартные операционные процедуры

минимально необходимы для достижения производственных целей в области безопасности.

Перечень типовых ролей (это не конкретные исполнители на конкретной роли в конкретной организационной структуре, а накопленный к настоящему времени экспериментальный материал) также содержит всего несколько интуитивно понятных позиций. Роли делятся на два класса: роли, которые обеспечивают безопасность и которые обеспечивают процесс управления безопасностью.

На практике обеспечение безопасности на производстве осуществляется прежде всего на уровне управления цехом, которые включают, но не ограничиваются следующими позициями – ролями (с указанием исполнителя и его полномочий):

- владелец рисков цеха (исполнитель — начальник цеха; unit superintendent), уполномоченный владельцем риска производства на достижение цехом производственных целей в области безопасности цеха;

- оператор безопасности цеха (исполнитель — мастер / начальник смены; shift supervisor), уполномоченный владельцем рисков цеха на поддержание рисков безопасности производства в течение его смены на допустимом уровне;

- смотритель барьера безопасности цеха (вар. куратор; warden, curator), уполномоченный на мониторинг работоспособности конкретного барьера безопасности и введение информации о его отказах / восстановлении работоспособности в систему управления, штатный работник цеха. Кого разумно и правильно назначить исполнителем роли смотрителя барьера безопасности? Например, полномочия смотрителя барьера безопасности могут быть делегированы аппаратчику (сменный характер его работы не имеет значения) или дневному инженеру, который непосредственно (то есть линейно, а не функционально) подчиняется владельцу рисков цеха. Делегирование полномочий смотрителя барьера безопасности представителям ремонтного персонала, служб производства или подрядчиков, что иногда встречается на практике, станет нарушением законов управления — менеджмента, так как такому смотрителю соответствующая производственная цель не каскадируется (у него есть другая цель по его линейному подчинению) и, соответственно, не возникает мотивация исполнять полномочия смотрителя. Такая рассогласованность цели и мотивации у человека приводит к негативным последствиям — сегодня на

производстве негативным последствием станет низкая надежность или даже потеря работоспособности барьера безопасности. Еще раз подчеркну, цели в области безопасности являются неотъемлемой частью производственных целей, и управлять рисками должен тот, кто непосредственно ведет производство (линейно подчинен владельцу рисков);

- спонсор барьера безопасности цеха (исполнитель — вышестоящий руководитель; top manager), уполномоченный владельцами бизнеса на принятие решений в установленных лимитах ответственности. Исполнитель этой роли отвечает за реализацию барьера безопасности на этапе утверждения бюджета и закупок, если стоимость барьера безопасности находится вне лимитов ответственности директора производства (такие случаи в промышленности не редкость).

Еще одним фундаментальным законом управления — менеджмента сложными процессами является необходимость выделять в отдельную роль или роли (в зависимости от сложности процесса) действия по обеспечению того, что: активности процесса осуществляются правильно и вовремя; используются корректные процедуры и адекватные инструменты; исполнители ролей и используемые инструменты соответствуют предъявленным к ним требованиям и применяются корректно. Образно говоря — обеспечивать здоровье процесса.

На практике обеспечение процесса управления рисками безопасности на производстве осуществляется прежде всего на уровне управления производством. При сложном процессе (на крупном производстве) представляется целесообразным также делегировать соответствующие полномочия на уровень управления цехом.

Перечень типовых ролей по обеспечению процесса управления рисками безопасности производства включает, но не ограничивается следующими позициями — ролями (с указанием исполнителя и его полномочий):

- организатор управления рисками, или, риск-менеджер производства (risk manager), последнее наименование роли встречается на практике чаще. Риск-менеджер уполномочивается владельцем рисков производства на обеспечение «здоровья, развития и регулярной жизнедеятельности» процесса управления рисками безопасности производства. Кто может и должен стать исполнителем этой роли? На практике

встречается делегирование полномочий риск-менеджера как руководителю департамента производственной безопасности предприятия (с аргументацией — это прежде всего контрольная деятельность), так и техническому директору (с аргументацией — это же техническое развитие производства). Однако по теории управления для достижения максимальной близости делегируемых действий каскадированным производственным целям и полномочиям участника следует принять, что наилучшим оптимальным решением будет выделение специальной штатной единицы или небольшого структурного подразделения в административном (линейном) подчинении директора.

Важно понимать при этом, что нецелесообразно называть эту роль «директор по рискам», поскольку интуитивно директор отвечает за часть основного производства и имеет свои производственные цели. Управление рисками не образует своего отдельного направления на производстве. Поэтому справедливо, что руководители направления производства, такие как ТОиР, капитальное строительство, развитие и так далее, являются и называются директорами. Тогда как риск-менеджер всего лишь сервисная, вспомогательная функция, он топ-менеджер, но не директор. Риск-менеджер только помогает основному производству. При этом по теории управления естественно делегировать риск-менеджеру и дополнительные полномочия для обеспечения жизнеспособности процессов управления и другими рисками, так как физическое существо управления всеми рисками производства, включая операционные риски (составная часть эффективности производства), едино. Технически разные риски производства (например, в областях надежности оборудования, устойчивости технологических процессов, стабильности электрообеспечения и др.) мало отличаются именно в процессной части, в процессных моделях управления рисками производства (ролевые модели и инструменты сильно различаются между собой). Так что появление позиции в организационной структуре «Менеджер рисков производства» разумно и рационально.

Вопрос об объединении «под крылом» риск-менеджера коммерческих и финансовых рисков, рисков нарушений требования государственного регулирования и других в этой статье не ставится и не решается.

Любопытно отметить разницу промышленности и страховой индустрии. Например, риск-менеджер (по функционалу) в кэптивной страховой компании является именно директором по менеджменту рисков (director, risk management), так как он отвечает за важнейшие направления основного бизнеса — сюрвей, обоснование нетто-ставки, урегулирование убытков, что является по сути единым процессом управления рисками, которые по процессам, процедурам, инструментам сильно отличаются от других направлений перестрахования, маркетинга, инвестиционной деятельности и т.д. Здесь менеджер рисков — это директор одного из направлений основного бизнеса, а вовсе не сервисная поддержка.

Как уже отмечалось выше, объем действий по управлению рисками безопасности крупного производства может потребовать дополнительных человеческих ресурсов или дополнительных ролей. Из практики известно о следующих ролях:

Единое ответственное лицо (ЕОЛ) цеха по рискам (single responsible person at the unit), уполномоченное на обеспечение «здоровья, развития и регулярной жизнедеятельности» процесса управления рисками безопасности производства цеха», штатный работник цеха, функционально подчиненный организатору управления рисками. Как общее правило, исполнитель роли ЕОЛ цеха по рискам — это заместитель начальника цеха или по технологии (технорук), или по оборудованию, или по производственной безопасности, если такая позиция имеется в организационной структуре.

Мастер инструментов (instrument master), эксперт (эксперты), уполномоченный директором по представлению организатора управления рисками на обеспечение «здоровья, развития и регулярной жизнедеятельности» инструментов управления рисками безопасности производства», линейный подчиненный организатора управления рисками. Исполнители этой роли могут состоять как в штате предприятия, так и привлекаться к работе по другим механизмам, поскольку их производственная цель — обеспечить готовность инструментов управления рисками, не является производственной целью цеха.

Состав команды мастеров инструмента существенно зависит от инструментария. Для второго поколения систем управления рисками это квалифицированные

ведущие и секретари риск-сессий, в настоящее время опыт привлечения специализированных подрядчиков для проведения модерируемых междисциплинарных сессий скорее негативный, а получаемые результаты необъективны, поскольку существенно зависят от ведущего, что нередко приводит к манипуляциям. С учетом этих обстоятельств штатная должность «ведущий риск-сессий» является более понятным решением для отсекаемого возможного недобросовестного поведения.

Для третьего поколения систем управления рисками это системные администраторы, обеспечивающие бесперебойную деятельность ПО «Цифровой двойник рисков», устойчивое функционирование ПО; надежное хранение данных и обучение/переобучение участников процесса управления рисками безопасности производств работе с ПО; поддержка пользователей. Роли и исполнители процесса управления рисками, выведенные с использованием вышеприведенного алгоритма для типовой организационной структуры и универсального процесса управления рисками безопасности производств, сведены на рис. 7.

На практике процессы управления необходимо измерять (для контроля со стороны руководства и для мотивации исполнителей), для чего разрабатываются и используются ключевые показатели эффективности или KPI (key performance indicators). На практике используется два вида показателей — контрольные и целевые (по своему физическому смыслу соответствуют необходимым и достаточным условиям достижения производственных целей).

Целевые (lagging) KPI — это метрики для измерения достижения поставленных производственных целей. Как правило, используются для оценки деятельности по итогам работы за определенный период организации (цеха, предприятия, дивизиона) в целом и персонально первых руководителей.

Контрольные (leading) KPI — это метрики для измерения правильности хода конкретных процессов управления производством. Как правило, используются для оценки деятельности конкретных исполнителей ролей процесса.

Важным достоинством контрольных KPI является возможность их применения для предупреждения отклонений и своевременного принятия мер по возвращению в штатное (запланированное) состояние.

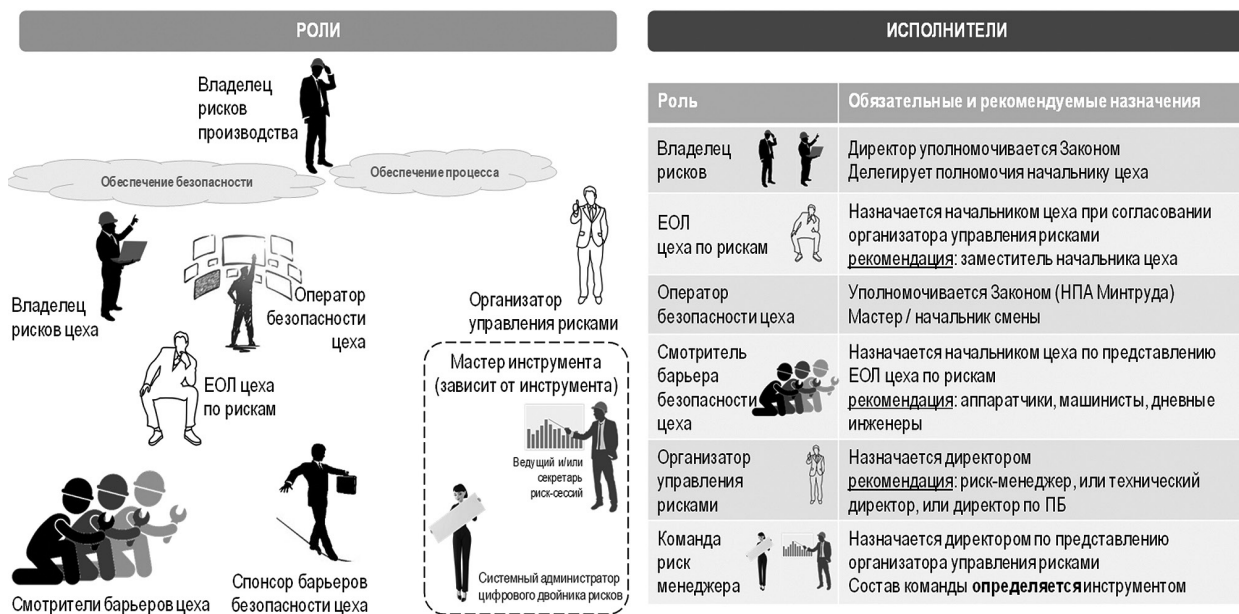


Рис. 7. Роли и исполнители процесса управления — менеджмента рисков безопасности производства  
Figure 7. Roles and performers of the process safety risks management

### 3. Практика управления рисками

Излагаемый в этом разделе материал является по сути описанием математической модели [13, 14] системы управления рисками безопасности производства (для автоматизации / цифровизации — это модуль цифрового двойника рисков). Объем статьи не позволяет ввести необходимые обозначения и представить расчетно-вычислительные алгоритмы этой математической модели надлежащим образом. Вместо этого дается их краткое описание.

#### 3.1. Оперативный уровень

Приемщиком решений на оперативном уровне в цехе (unit) является оператор безопасности. Эту роль на всех химических производствах в мире исполняет начальник смены (shift supervisor). Автору статьи не известны примеры, когда управление рисками безопасности на оперативном уровне ведется для группы цехов или производства в целом.

Начальник смены осуществляет оперативное управление цехом для достижения поставленных производственных целей. Производственная цель в области безопасности на оперативном уровне — обеспечить допустимость рисков безопасности производства в течение смены.

Сегодня, если судить по квалифицированному справочнику<sup>19</sup>, вышеуказанное требование не закреплено нормативно и поэтому в третьем поколении систем управления безопасностью должностные обязанности начальника смены должны включать действия по обеспечению безопасности. На языке математики начальник смены решает задачу оптимизации с ограничениями, детали зависят от специфики бизнеса. Например, максимизируемым показателем для него может быть установлен план «объем выпуск продукции (output)», при ограничении сверху — на «энергоэффективность (power efficiency)» (затраты электрической энергии, пара и так далее) и при ограничении снизу — на «качество продукции (product quality)». Важно, что предметом этой статьи не является рассмотрение ни производственных целей, помимо целей в области безопасности, ни соответствующих ключевых показателей безопасности.

Как отмечалось выше, рациональным результатом каскадирования целей в области безопасности на уровень начальника смены является производственная

<sup>19</sup> Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих (утв. постановлением Минтруда России от 21.08.1998 № 37) (ред. от 27.03.2018)

цель — «поддержание допустимости рисков безопасности производства в ходе нормальной эксплуатации/проведения технического обслуживания и ремонта». Важно понимать, что имеющиеся в непосредственном распоряжении начальника смены актуаторы это только регуляторы производственного процесса (задвиги, двигатели и т.п.) и часть оперативного персонала (аппаратчики и машинисты).

Наиболее сложный и ответственный момент при оперативном управлении безопасностью это принятие решения при достижении недопустимо высокого уровня риска. В этот момент возникает альтернатива «разгрузить/остановить цех (возможная потеря бонуса/премии)» или «продолжать производство (возможная авария/правонарушение)». Физический смысл этой альтернативы — потеря контроля над эскалацией. Поэтому для возможности эффективной работы начальника смены исполнитель этой роли, скорее всего обычный человек, а не гений, способный интуитивно предвидеть потерю контроля над эскалацией, должен заранее быть снабжен предварительно рассчитанными и обоснованными критическими значениями параметров состояния производства, которые позволят ему быстро и безошибочно принять решение об альтернативе.

Этот процесс допускает цифровизацию, поэтому расчет с контролируемой неопределенностью булевой величины «контроль эскалации» (со значениями «имеется» и «утерян») — это и есть одно из важнейших требований к инструментам управления рисками.

В интервале ситуаций производства от «штатная ситуация» до «потеря контроля над эскалацией» начальник смены «борется за плавучесть» производства, то есть стремится вернуть производство в штатную ситуацию [1], поддерживает допустимый риск.

Функции (действия) мастера / начальника смены, которые необходимо исполнять для достижения производственной цели в области безопасности, раскрываются и обоснованы ниже. По своему существу описываемые ниже действия являются стандартной операционной процедурой и на практике рекомендуется строить ее как принудительное прохождение обязательных действий, причем дисциплина направляется роботом. Робот подсказывает следующий шаг, чтобы не отклоняться от предписываемой последовательности, и контролирует правильность и полноту прохождения шага текущего.

Стандартную операционную процедуру СОП «Управление рисками безопасности производства начальником смены», используемую для поддержания допустимого риска при выходе из штатной ситуации, составляют действия:

Своевременное оповещение начальника смены о появлении предвестников [1]: выход за пределы норм технологического регламента; отказ оборудования; опасные действия и опасные условия, совершенные персоналом, а также по нарастающей при переходе к предаварийной ситуации (отказ барьера безопасности) или происшествию (потеря контроля над удержанием).

Апробированный формат оповещения о необходимости начала работы по управлению рисками — активация приборной панели по безопасности (дашборда текущих рисков), показывающей текущие значения уровня рисков (принцип «черный экран» для штатных ситуаций), и подача специальных сигналов оповещения (Предвестник! Предаварийная ситуация! Происшествие!) на мобильный коммуникатор начальника смены.

Ознакомление с причиной повышения риска, для чего начальник смены должен увидеть, где и какие события в области безопасности (предвестники, предаварийные ситуации или происшествия) появились, как они привязываются к технологической схеме, куда попадают на генплане цеха.

Физические основы, на которых строится система третьего поколения, исчерпывающе перечисляют возможные причины и тем самым однозначно определяют необходимую для принятия решения начальником смены информацию о причинах повышения риска. Возможный формат дашборда по причинам — графическая визуализация места и характера событий в области безопасности (предвестников, предаварийных ситуаций и/или происшествий).

Ознакомление с последствиями повышения риска, например с увеличением зон поражения, при реализации отдельных индивидуальных рисков или изменения паттерна карты потенциального риска.

Сегодня нет однозначного формата, естественно проистекающего из физических основ, представления данных о последствиях (в отличие от причин — смотри буллит выше). Поэтому сейчас идет поиск ожидаемой и удобной эксплуатационщиками визуализации последствий повышения риска, идет поиск

рационального формата дашборда по последствиям повышения рисков.

Ознакомление с прогнозом развития повышенного риска при продолжении эксплуатации по предусмотренным производственным планом смены СОП (повышение риска при переходе к другим режимам эксплуатации может повысить уровень рисков и даже сделать риски недопустимыми).

Формат соответствующего дашборда с прогнозом рисков отличается от дашборда текущих рисков (сами показатели безопасности не меняются) лишь тем, что дашборд с прогнозом показывает динамику, предсказывает уровень безопасности для случая продолжения эксплуатации в соответствии с производственным планом смены.

Принятие решения о действиях начальника смены в сложившейся ситуации. Это процесс до сих пор не нашел своего алгоритмического решения и поэтому здесь следует думать только о вариантах поддержки приемщика решений (см. разд. 2.4), а он может пойти по следующим направлениям:

- ничего не предпринимать, наблюдать и быть готовым к интервенции в будущем по мере развития предвестника. В любом случае идентифицированный предвестник должен быть зарегистрирован для дальнейшего осмысления;
- начать активно компенсировать повышение риска за счет реализации временных барьеров безопасности.

Выбор временных барьеров безопасности для компенсации эффекта возникших предвестников и снижения повысившегося риска потребует предоставить начальнику смены солидную поддержку. Ему потребуется видеть список возможных барьеров (с указанием их результативности в данном конкретном случае) и одновременно видеть прогноз результата реализации того набора временных барьеров безопасности, которые представляются начальнику смены наиболее рациональными (пока алгоритма формирования такого набора нет).

Для быстрого принятия решения начальником смены должны быть «подтащены» заранее продуманные и апробированные в прошлом временные решения, а также лучшие практики отрасли, для контроля угроз, наиболее подходящих, соответствующих возникшей нештатной ситуации, это есть дашборд по барьерам. Естественно, что необходимо обеспечить возможность видеонаблюдения в режиме реального времени тех участков цеха, к которым привязаны события в области безопасности, для этого целесообразно предусмотреть дашборд видеонаблюдения.

Возможный формат дашборда «Оперативное управление безопасностью цеха» представлен на рис. 8

Представляется целесообразным использовать для мотивации мастера/начальника смены два ключевых показателя эффективности достижения



Рис. 8. Дашборд «Оперативное управление безопасностью цеха» с 6 плитками (перспективный вариант)

Figure 8. Dashboard panel "Unit safety operative control" with 6 tiles (promising option)

производственной цели в области безопасности для текущей смены:

- плавный, как общее количество риска, превышающее плановые значения за смену. Не исключено, что его удобно измерять интуитивно понятными и наглядными показателями: возможное избыточное причинение вреда людям и возможные потери дохода производства из-за превышения плановых значений риска. Этот показатель хорош для поощрения и соревнования разных смен (даже в разных цехах, то есть в масштабе всего производства);
- резкий, как доля времени от продолжительности смены, при котором осуществлялась эксплуатация за пределами допустимости рисков. Этот показатель больше отвечает идее наказания, прямо указывая мастеру/начальнику смены, что такой уровень безопасности недопустим и что управление риском осуществлялось плохо (важно, чтобы такое наказание в случае остановки производства не накладывалось).

### 3.2. *Тактический уровень*

Приемщиком решений на тактическом уровне в цехе является владелец рисков цеха. Эту роль, как было обосновано выше, может принимать при делегировании полномочий директором производства только начальник цеха и никто другой.

Начальник цеха осуществляет тактическое управление цехом для достижения поставленных производственных целей. Производственная цель в области безопасности на тактическом уровне — обеспечить достижение плановых значений показателей безопасности производства цеха на периоде планирования. На практике основную массу управляющих воздействий по достижению производственных целей цеха, включая цели цеха в области безопасности, начальник цеха генерирует, производит в недельном цикле, в отличие от начальника смены, который принимает решение онлайн, т.е. мгновенно.

Физические основы такого темпа принятия решения таковы. Начальник цеха накапливает статистику событий в области безопасности — предвестников, предаварийных ситуаций и происшествий, — и анализирует эту статистику для выявления трендов. Результаты анализа статистики позволяют начальнику цеха рационально и обоснованно выстраивать предупреждение в несколько линий: предупреждать предвестники; укреплять барьеры безопасности; принимать

дополнительные меры для контроля событий «потеря удержания» (происшествие), чтобы избежать недопустимых рисков при нештатных ситуациях.

Вышеперечисленные действия не подсвечены в общих формулировках, описывающих обязанности начальника цеха как работу по совершенствованию организации производства, его технологии, механизации и автоматизации производственных процессов<sup>20</sup>. Поэтому в третьем поколении систем управления безопасностью должностные обязанности начальника смены должны включать действия по предупреждению событий в области безопасности для достижения производственной цели цеха в области безопасности (плана по рискам).

Функции (действия) начальника цеха, которые необходимо исполнять для достижения его производственной цели в области безопасности, раскрываются и обоснованы ниже. По своему существу описываемые ниже действия являются стандартной операционной процедурой и на практике рекомендуется строить ее как принудительное прохождение обязательных действий без «перепрыгивания» и «срезания углов», причем дисциплина направляется роботом. Робот подсказывает, что и как надо сделать на следующем шаге и контролирует полноту его исполнения, и только получение достоверных подтверждений правильности пройденного шага разрешает дальнейшие действия и указывает, что конкретно необходимо делать (если нужно — голосом; если нет — дисциплиной ознакомления с дашбордом и принятием обязательных решений).

Стандартную операционную процедуру СОП «Управление рисками безопасности производства начальника цеха», используемую для достижения плановых значений показателей безопасности производства цеха на периоде планирования, составляют действия:

- Накопление данных по динамике показателей состояния производства цеха за неделю (план/факт для выпуска продукции и количества работающих штатных сотрудников и подрядчиком), включая мониторинг исполнения решений по реализации временных барьеров безопасности (план/факт). Данные по потребляемым людским ресурсам требуются для расчета показателей безопасности, которые все являются удельными величинами.

<sup>20</sup> Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих (утв. постановлением Минтруда России от 21.08.1998 № 37) (ред. от 27.03.2018).

Требования к инструменту поддержки исполнения СОП — автоматизированная (а лучше цифровая). База данных по входным и выходным потокам, включая человеческие ресурсы и исполнению решений по временным барьерам безопасности производства цеха и дашборд производство план/факт.

- Накопление данных по фактам возникновения и длительности событий в области безопасности (СВОБ) от момента появления до окончания восстановления: предвестников (выход на нормы технологического режима, отказ оборудования, опасные действия и опасные условия); предаварийных ситуаций (отказ барьеров безопасности); происшествий (случаев потери контроля над удержанием) [1].

Требования к инструменту поддержки исполнения СОП — автоматизированная (а лучше — цифровая). База данных по СВОБ производства цеха и дашборд СВОБ план/факт.

- Поиск решений по временным барьерам безопасности для изменения трендов, показывающих рост СВОБ на основе анализа накопленных сведений из базы данных по входным и выходным потокам, включая человеческие ресурсы, и исполнения решений по временным барьерам безопасности производства цеха, а также базы данных по СВОБ производства цеха с учетом лучшей практики отрасли по контролю угроз производства.

Требования к инструменту поддержки исполнения СОП — калькулятор (только цифровой) для прогноза зависимости трендов СВОБ и показателей безопасности от возможных временных барьеров безопасности, включающий дашборд по временным барьерам и дашборд результативности (временных барьеров).

Последнее действие СОП — это представление предложений (в пределах лимита ответственности начальника цеха) по временным барьерам безопасности с обоснованием (прогнозом) их результативности. Представленные материалы должны дать ответ — удастся ли переломить негативные тренды или нет?

Возможный формат дашбордов «Тактическое управление безопасностью цеха» представлен на рис. 9.

### 3.3. Стратегический уровень

Управление рисками на стратегическом уровне изначально, начиная с первых работ по анализу опасностей и работоспособности [6], являлось первоочередным

предметом исследований, и сегодняшнее состояние вопроса прекрасно представлено в работе [23]. Тем не менее, представляется правильным включить в текст статьи следующее замечание.

На стратегическом уровне за обеспечение безопасности производства во всех цехах уполномочен директор предприятия. Как показывает практика, во главе многих предприятий находятся эффективные менеджеры, прекрасно знающие технику управления по целям и профессионально эту технику реализующие, но не всегда хорошо знакомые с производством и практически не готовые управлять рисками безопасности производств на своих предприятиях. В связи с этим главным затруднением для перехода на систему управления рисками безопасности производств третьего поколения станет не отсутствие необходимых компетенций у менеджеров высшего звена, а отсутствие ясной постановки цели бизнеса в области безопасности с уровня Совета директоров (акционеров). На практике измеримые производственные цели в области безопасности либо не ставятся вообще, либо ставятся на уровне лозунга, где упоминается только одно значение (например, ноль), а сама метрика достижения цели не устанавливается и управляющие воздействия не обсуждаются и не раскрываются. В таких условиях каскадирование целей не имеет смысла.

Разумно предположить, что никаким администрированием вышеупомянутого главного затруднения снять невозможно. Однако следует верить рыночным механизмам. Практикам хорошо известно, что безопасность и эффективность коррелируют очень сильно. Чем ниже уровень рисков производственной безопасности, тем лучше показатели экономической эффективности. Одним из рациональных объяснений этого закона природы является то, что сам принцип использования для управления безопасностью математических моделей переносится на эффективность и позволяет управлять операционными рисками значительно результативнее, чем это возможно сделать, например, в бережливом производстве, где само понятие риска вообще исключено из рассмотрения.

По этой причине требования по уровню подготовки и потребных компетенций директоров для обеспечения безопасности производства на стратегическом уровне в этой статье не обсуждаются.

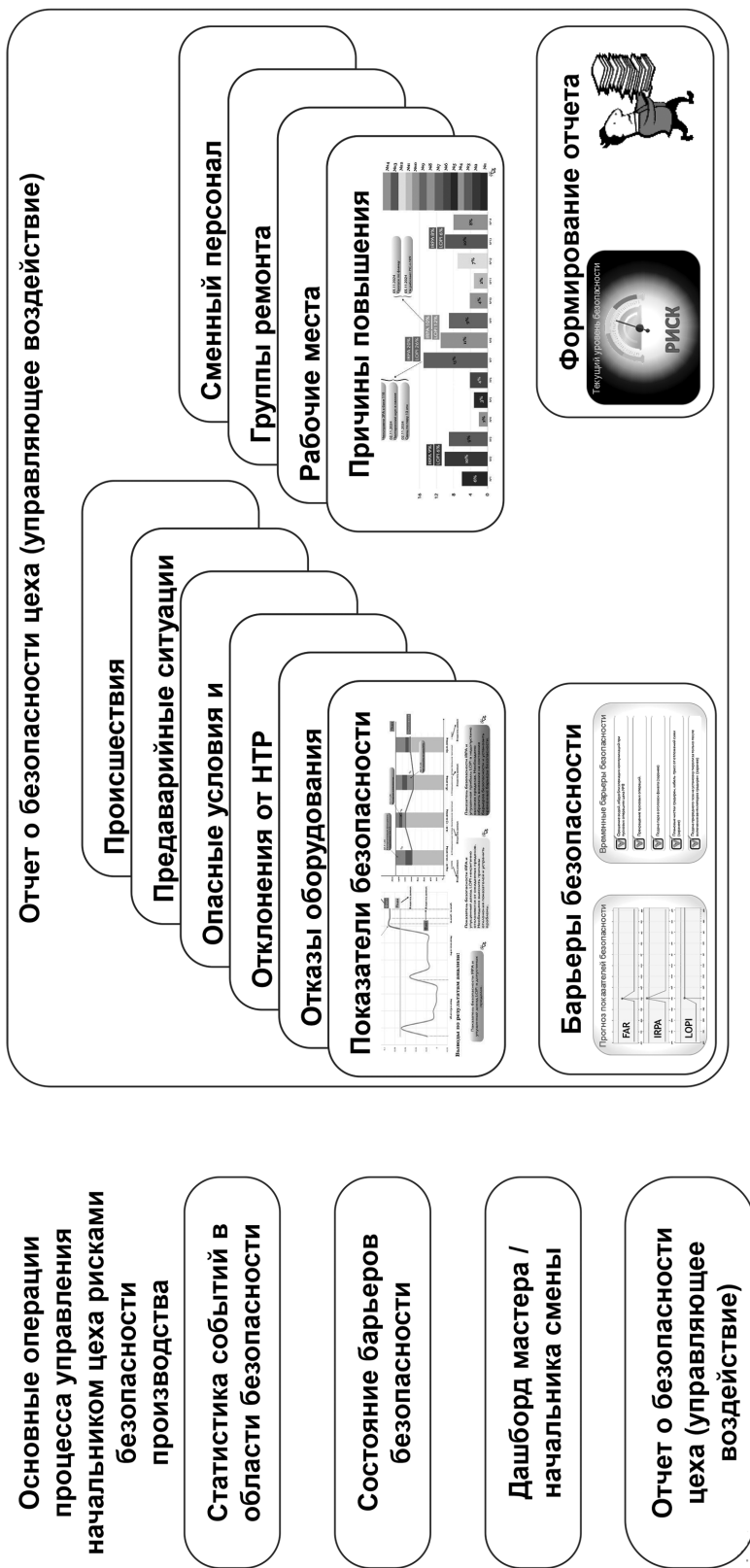


Рис. 9. Дашборды «Тактическое управление безопасностью цеха» (перспективный вариант)  
 Figure 9. Dashboards "Unit safety tactical management" (promising option)

#### 4. Образ результата

Этот раздел предназначен для руководителя-практика, которому необходимо одним взглядом (at one glance) оценить как ожидаемые преимущества, так и необходимые усилия для перехода на третье поколение систем управления безопасностью производства.

*Ожидаемые выгоды.* Только третье поколение систем управления рисками способно реализовать практическое достижение цели НОЛЬ в области безопасности, которое раскрывается формулой [1] (и дается лозунгом) «нулевой травматизм, нулевая аварийность, нулевые внеплановые потери». Третье поколение систем управления рисками безопасности производств можно охарактеризовать как современный деловой подход к обеспечению безопасности производств:

- подход, основанный на синтезе передовых разработок в области управления (контроля и менеджмента) процессами;
- подход, предлагающий инструменты, соответствующие сложности процессов управления рисками безопасности производства. Ранее такие инструменты отсутствовали из-за несовершенства компьютерных технологий;
- подход, интегрированный в управление бизнесом через производственные цели в области безопасности. Его парадигмой является неуклонное и рациональное движение производства к цели НОЛЬ в области безопасности через измерение целевых показателей безопасности и непрерывного совершенствования барьеров безопасности на основе лучших практик отрасли и внедрения инновационных технологий и новой техники.

Появление новой парадигмы было бы невозможно без появления понимания физической природы безопасности (что позволило бы достоверно оценить потоки информации по управлению рисками) и новых, ранее не доступных, возможностей цифровых технологий быстро работать с огромным объемом информации. Технически в новой парадигме провозглашается возможность рационального распределения ресурсов между усилиями по обеспечению надежности оборудования, наблюдаемости материальных потоков и правильности выполнения СОП людьми. Последнее направление в связи с успехами внедрения роботоподсказчиков позволяет говорить и о возможности снижения рисков от опасных действий и опасных условий до пренебрежимо малого уровня при весьма бюджетных затратах.

Экономически инвестиции в оборудование рациональны, но и там риски событий потери удержания также могут быть сделаны незначительными, что позволяет говорить о достижении цели НОЛЬ как о практической задаче. Конечно, с академической точки зрения цель НОЛЬ недостижима в принципе, но практики не видят особой разницы между нулем и пренебрежимо малой величиной.

Процессы управления безопасностью в системах третьего поколения: становятся более зрелыми по сравнению с процессами второго поколения; укрепляются в цикле управления производством на всех уровнях управления (начальник смены, начальник цеха, директор производства); но окончательно исключают действия по обеспечению надлежащего соблюдения применимых требований безопасности государственного регулирования страны пребывания (см. разд. 1).

Сами процессы управления кратко можно охарактеризовать следующим образом (развернутое описание теоретических и практических основ контроля и менеджмента рисками дано выше, в разд. 2 и 3). Планируются базовые барьеры безопасности, обеспечивающие достижение целевых показателей безопасности и сбалансированные в бюджете производства. В ходе эксплуатации вводятся временные барьеры безопасности для удержания рисков в допустимых пределах. Объективно оцениваются как промежуточные результаты (контрольные показатели), так и результаты достижения поставленных производственных целей в области безопасности (целевые ключевые показатели эффективности), в том числе для адресной индивидуальной мотивации каждого исполнителя роли в зависимости от полученного всей командой результата и личных усилий каждого конкретного работника.

Ролевая модель также становится более зрелой. Управление рисками безопасности делегируется с необходимыми полномочиями каждому работнику предприятия (в разд. 2 и 3 представлен инженерный алгоритм создания ролевой модели, наглядно демонстрирующий возрастание зрелости системы управления в части «матриц ответственности» типа RACI Chart). Делегирование не требует увеличения штатной численности персонала или обслуживающих подрядных организаций, поскольку достижение целей в области безопасности каскадируется каждому работнику и ее достижение включается в его должностные обязанности. Каскадирование производственных

целей и делегирование полномочий создает прочную инженерную основу для справедливой мотивации участников производства.

Основным инструментом является количественный анализ рисков (построение математических моделей возникновения и развития проявлений риска на конкретном производстве), используемый для получения достоверных значений показателей безопасности и оценки результативности существующих или планируемых барьеров безопасности. Достоинства подхода к обеспечению безопасности третьего поколения очевидны:

- практическая возможность неуклонно и разумно двигаться к цели НОЛЬ в рамках стандартного цикла управления бизнесом (PDCA);
- цели в области безопасности ставятся самим бизнесом, без ущерба для операционной эффективности (для смягчения риска, соответствующего текущим финансовым возможностям), при этом гарантированно обеспечивается выполнение государственных требований в области безопасности страны пребывания.

Автор считает целесообразным более подробно изложить основные рекомендации по практическому применению этого подхода в следующих статьях, поскольку обсуждение рекомендаций без учета современных инструментов управления рисками безопасности производств может оказаться неэффективным.

## Заключение

Рассмотрение текущей практики управления безопасностью химических производств в рамках теории управления сложными системами позволяет отчетливо различить принципиально разные:

- процессы управления: управление — контроль (control) и управление — менеджмент (management), которые одновременно ведутся на практике;
- уровни управления: оперативный (начальник смены, оператор безопасности), тактический (начальник цеха, владелец рисков) и стратегический (владелец бизнеса), на каждом из которых безопасностью и рисками управляют по-своему, в зависимости от специфики уровня.

В рамках возможного в представленной статье раскрыты особенности и специфика целей, процессной и ролевой модели, ключевых целевых и контрольных показателей эффективности контроля и линейного менеджмента безопасностью и рисками.

Делается важное для практики заключение, что только третье поколение систем управления рисками способно реализовать практическое достижение цели НОЛЬ в области безопасности, которое раскрывается формулой [1] (и дается лозунгом) «нулевой травматизм, нулевая аварийность, нулевые внеплановые потери».

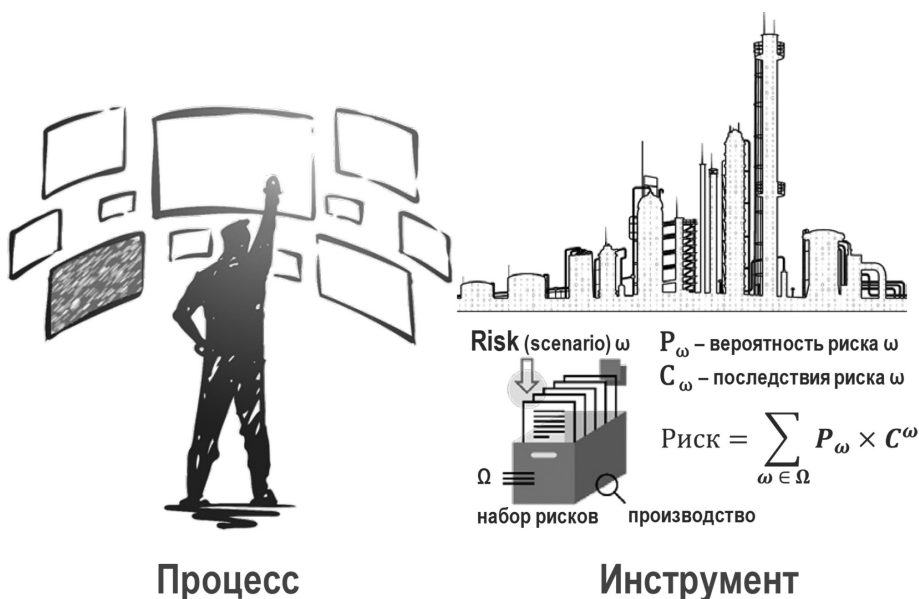


Рис. 10. Третье поколение систем управления рисками безопасности химических производств

Figure 10 Third-generation systems for controlling and managing chemical processes safety risks

Рассмотрев имеющие физический смысл управляющие воздействия и обусловленные ими алгоритмы регулирования и менеджмента рисками, стало возможным сформулировать минимально необходимые для практики требования к инструментам управления для их естественного встраивания в бизнес-процессы предприятий. Прежде всего инструменты управления рисками для обеспечения управляемости химическими производствами [1], должны:

- предоставлять структурированные данные по угрозам производства, а именно сведения о частях основной системы удержания и материальных потоках, контролируемой достоверности, полноте и актуальности. Такой инструмент (база данных) обеспечивает автоматическую без участия человека и проведения всевозможных риск-сессий или «охот на риски» идентификацию рисков;

- предоставлять структурированные данные по барьерам безопасности контролируемой достоверности, полноты и актуальности;

- достоверно прогнозировать (предсказывать) вероятность и последствия рисков, а также их агрегатов (показателей безопасности);

«Далеко не каждый инструмент, заявленный как инструмент управления рисками, удовлетворяет вышеперечисленным минимальным требованиям. На практике использование негодных инструментов дает недостоверные прогнозы и оценки, что неизбежно влечет недостижение целей в области безопасности и эффективности (нерациональное, подчас разорительное потребление ресурсов).

## Список источников [References]

1. Черноплеков А. Н. Безопасность и риски химических производств // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 5. С. 10–35 [Chernoplekov A. N. Safety and risks of chemical processes // Issues of Risk Analysis. 2024;21(5):10–35. (In Russ.)]
2. CCPS Guidelines for Risk Based Process Safety NY; AIChE, 2007 John Wiley & Sons pp. 857.  
<https://doi.org/10.1002/9780470925119>
3. Маршалл В. К. Основные опасности химических производств // перевод с англ.: Г. Барсамян, А. Двойнишников, М. Макстенек. М.: Мир, 1989. 671 с. ISBN 5-03-000990-6 [Marshall V. K. The main dangers of chemical production // translation from English: G. Barsamyan, A. Dvoinishnikov, M. Makstenek. M.: Mir, 1989. 671 p. ISBN 5-03-000990-6]
4. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение // М. Химия, 1991. 432 с. [Beschastnov M. V. Industrial explosions. Assessment and warning // M. Chemistry, 1991. 432 p. (In Russ.)]
5. Радионова С. Г., Махутов Н. А., Черноплеков А. Н., Караев А. Э. Совершенствование нормативного регулирования промышленной безопасности с учетом необходимости стимулирования инновационной деятельности предприятий // Федеральный Справочник, № 26, август 2012, С. 291–306 [Radionova S.G., Makhutov N.A., Chernoplekov A.N., Karaev A.E. Improvement of regulatory regulation of industrial safety, taking into account the need to stimulate innovative activities of enterprises // Federal Directory, No. 26, August 2012, pp. 291-306 (in Russ.)]
6. Lawley H. G. Operability Studies and Hazard Analysis // Chemical Engineering Progress, 1974, April, Vol. 70, No 4, pp. 45–56
7. Rasmussen, Professor Norman C.; et al. (October 1975). “Reactor safety study. An assessment of accident risks in U. S. commercial nuclear power plants. Executive Summary”. Wash-1400 (Nureg-75/014). Rockville, MD, USA: Federal Government of the United States, U. S. Nuclear Regulatory Commission.
8. The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster. The Hon Lord Cullen. Volume One. // London: HMSO, 1990-1-254 pp.
9. The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster. The Hon Lord Cullen. Volume Two. // London: HMSO, 1990-255-488 pp.
10. Lord Cullen of Whitekirk. Piper Alpha Perspectives. // The Chemical Engineer, 2018 July /August 2018 (Issue 925/926)
11. Дроняев О. И., Мартынюк В. Ф. О применении метода «Анализ опасности и работоспособности» при анализе риска аварий на производственных объектах // Безопасность жизнедеятельности. 2023. № 11. С. 41–47 [Dronyaev O. I., Martynyuk V. Ph. On the application of the method “Hazard and operability studies” in the analysis of the risk of accidents at production facilities // Bezopasnost' Zhiznedeyatel'nosti. 2023;(11):41–47 (In Russ.)]
12. Дроняев О. И., Мартынюк В. Ф. Подготовка и проведение собраний в методе «Анализ опасности и работоспособности» при анализе риска аварий на производственных объектах // Безопасность жизнедеятельности. 2024. № 10. С. 48–56 [Dronyaev O. I., Martynyuk V. Ph. Preparation and organization of the sessions preparation and organization of meetings when using the method “Hazard and operability studies” for the analysis

- of the risk of accidents at production facilities // *Bezopasnost' Zhiznedeyatel'nosti*. 2024;(10):48–56. (In Russ.)
13. Краснощеков П. С. Принципы построения моделей / П. С. Краснощеков, А. А. Петров. М.: Изд-во МГУ, 1983. 264 с. [Krasnoshchekov P. S. Modeling Principles / P. S. Krasnoshchekov, A. A. Petrov. M.: Publishing House of Moscow State University, 1983–264 p. (In Russ.)]
  14. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. / А. А. Самарский, А. П. Михайлов — М.: Наука. Физматлит, 1997. — 320 с. [Samarsky A. A. Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples / A. A. Samarsky, A. P. Mikhailov M.: Science. Fizmatlit, 1997. 320 p. (In Russ.)]
  15. Свод знаний по управлению бизнес-процессами BPM СВОК 3.0: перевод с английского / [научные редакторы Белайчук А. А., Елиферов В. Г.] М.: АПУБП, 2015. 432 с. ISBN 978-5-9906716-0-7 [Body of knowledge on business process management BPM СВОК 3.0: transl. from Engl. / [scientific editors Belaychuk A. A., Eliferov V. G.] M.: APUBP, 2015. 432 p. ISBN 978-5-9906716-0-7 (In Russ.)]
  16. Звено управления организацией: что это и какие виды существуют // Генеральный директор. 2019. № 5 URL: <https://www.gd.ru/articles/10288-zveno-upravleniya-eto> [Organization management link: what these are and what types exist // Director General. 2019. № 5. URL: <https://www.gd.ru/articles/10288-zveno-upravleniya-eto> (In Russ.)]
  17. Sklet, Snorre. (2006). Safety barriers: Definition, classification, and performance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 19. 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.12.004>
  18. Жуков И. С. Барьеры безопасности: понятие, классификация, концепции // *Безопасность труда в промышленности*. 2017. № 5. С. 49–56. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2017-5-49-56> [Zhukov I. S. Safety Barriers: Notion, Classification, Concepts // *Occupational Safety in Industry*. 2017;(5):49–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2017-5-49-56>]
  19. Гастев А. К. Как надо работать: практическое введение в науку организации труда / А. К. Гастев; под общ. ред. Н. М. Бахраха [и др.]. Изд. 3-е. М.: Либроком, 2011. 477 с. ISBN 978-5-397-01984-2 [Gastev A. K. How to work: a practical introduction to the science of labor organization / A. K. Gastev; under the general. ed. N. M. Bahrakh [et al.]. Ed. 3rd. M.: Librocom, 2011. 477 p. ISBN 978-5-397-01984-2. (In Russ.)]
  20. Коннов Д. В. Я пытаюсь отучить сотрудников от слова agile / *Harvard Business Review — Россия*, 2019, Октябрь 1 (интервью) / URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/700/> [Konnov D. V. I am trying to wean employees from the word agile / *Harvard Business Review — Russia*, “2019, October 1 (interview) / URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/700/> (In Russ.)]
  21. Галилей Г. Избранные труды в двух томах. Т. 1. / Составитель У. И. Франкфурт. М.: Наука. 1964. С. 242 [Galileo G. Selected works in two volumes. T.1 / Compiled by U.I. Frankfurt. M.: Science / 1964. P. 242]
  22. Brennan Kevin (2009). A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge (BABOK Guide) / *International Institute of Business Analysis*. 271 p. ISBN 978-0-9811292-1-1
  23. Быков А. А. Методологические и прикладные основы управления рисками предприятия и безопасностью населения и окружающей среды: моногр. / А. А. Быков, В. Э. Зайковский; под общ. ред. чл.кор. РАН Н. А. Махутова. Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. 617 с. ISBN 978-5-86889-954-6 [Bykov A. A. Methodological and applied foundations of enterprise risk management and public and environmental safety: monogr. / A. A. Bykov, V. E. Zaikovsky; under general. ed. Corr. Member of RAS N. A. Makhutov. Publishing House Tomsk. State University of Control Systems and Electronics, 2022. 617 p. ISBN 978-5-86889-954-6. (In Russ.)]

## Сведения об авторе

**Черноплёков Алексей Николаевич:** кандидат физико-математических наук, член Общества Ассоциация риск-менеджмента «Русское общество управления рисками» (РусРиск)  
 Количество публикаций: более 210  
 Область научных интересов: управление рисками безопасности производств и персонала  
*Контактная информация:*  
 Адрес: 119602, г. Москва, ул. Никулинская, 27–129  
[alexei.chernoplekov@yandex.ru](mailto:alexei.chernoplekov@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию: 31.10.2024  
 Одобрена после рецензирования: 11.11.2024  
 Принята к публикации: 12.11.2024  
 Дата публикации: 27.12.2024

*The article was submitted:* 31.10.2024  
*Approved after reviewing:* 11.11.2024  
*Accepted for publication:* 12.11.2024  
*Date of publication:* 27.12.2024

УДК 004.413.4:005  
Научная специальность: 2.10.1, 2.10.2, 2.10.3

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Техногенный риск: вопросы методологии

**Колесников Е.Ю.,**  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
имени Петра Великого,  
194064, Россия, Санкт-  
Петербург,  
ул. Политехническая, 29

## Аннотация

Понятия риска и так называемого риск-ориентированного подхода в настоящее время очень популярны в самых разных сферах общественной жизни. Успех реализации этого относительно нового подхода во многом определяется качеством его методологической и методической проработки. Между тем тщательный анализ действующей отечественной нормативно-правовой базы показал, что важнейшие вопросы методологии этого подхода далеки от удовлетворительного решения, что вызывает избыточную неопределенность получаемых с его помощью количественных оценок. Эта неопределенность, наличие которой обычно не осознается, в преобладающей своей части имеет субъективное происхождение. Именно возможность получения количественной меры опасностей разного рода, допускающая их сравнение и ранжирование, делает этот подход столь привлекательным и перспективным. В статье проанализирована действующая отечественная методологическая основа анализа и количественной оценки техногенного риска, двух его видов и шести разновидностей. Рассмотрены имеющиеся альтернативные варианты оценки возможности наступления неблагоприятных событий и основные нерешенные проблемы оценки их масштаба.

Статья состоит из трех частей, объединенных методологическим анализом актуальной отечественной нормативной базы понятия техногенный риск, его видов и разновидностей: а) в первой ее части подробно анализируются методологические подходы к трактовке шести разновидностей техногенного риска, отмечаются проблемы каждой из них; б) вторая часть статьи посвящена анализу способов оценки такой составляющей техногенного риска, как возможность наступления нежелательного события (причинения ущерба); в) в третьей части статьи анализируется проблема оценки другой его составляющей — размера ущерба.

---

**Ключевые слова:** риск; риск техногенный; методология; оценка возможности события; оценка последствий события.

---

**Для цитирования:** Колесников Е.Ю. Техногенный риск: вопросы методологии // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 40–65.

---

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

# Technogenic Risk: Issues of Methodology

**Evgeny Yu. Kolesnikov,**

Peter the Great St. Petersburg  
Polytechnic University,  
Polytechnicheskaj str., 29,  
St. Petersburg, 194064, Russia

## Abstract

The concepts of risk and the so-called risk-based approach are currently very popular in a wide variety of areas of public life. The success of this relatively new approach is largely determined by the quality of its methodological and technical elaboration. Meanwhile, a thorough analysis of the current domestic regulatory framework has shown that the most important issues of the methodology of this approach are far from a satisfactory solution, which causes excessive uncertainty in the quantitative estimates obtained with its help. This uncertainty, the presence of which is usually not recognized, in its predominant part has a subjective origin. It is the possibility of obtaining a quantitative measure of dangers of various kinds, allowing their comparison and ranking, that makes this approach so attractive and promising. The article analyzes the current domestic methodological basis for the analysis and quantitative assessment of the technogenic risk of its two types and six varieties. The available alternative options for assessing the possibility of adverse events and the main unresolved problems of assessing their scale were considered.

The article consists of three parts, united by a methodological analysis of the current domestic regulatory framework of the concept of technogenic risk, its types and varieties: a) in its first part, methodological approaches to the interpretation of six varieties of technogenic risk are analyzed in detail, the problems of each of them are noted; b) the second part of the article is devoted to the analysis of methods for assessing such a component of technogenic risk as the possibility of an undesirable event (damage); c) the third part of the article analyzes the problems of assessing its other component — the amount of damage.

**Keywords:** risk; technogenic risk; methodology; assessment of the possibility of an event; assessment of the consequences of the event.

**For citation:** Kolesnikov E. Yu. Technogenic risk: issues of methodology // Issues of Risk Analysis. 2024;21(6):40-65. (In Russ.).

**The author declares no conflict of interest.**

## Содержание

Введение

1. Толкование понятия техногенного риска
2. Виды и разновидности техногенного риска
3. Современное состояние методологии анализа и оценки разновидностей техногенного риска
4. Способы оценки возможности наступления последствий (причинения ущерба)
5. Методологические проблемы оценки величины последствий (ущерба)

Заключение

Список источников

## Введение

Намеренно не касаясь использования понятия *риск* в повседневной жизни, рассматривая его применение исключительно в рамках научно обоснованного риск-ориентированного подхода к решению самого широкого круга задач, мы вынуждены констатировать отсутствие консенсуса среди специалистов по вопросу толкования базового ключевого понятия — методология риска.

Большая часть имеющихся трактовок всех разновидностей риска прочно ассоциирует его с вероятностью (события, причинения ущерба или вреда). Авторы этих толкований, по-видимому, полагают, что понятие вероятность является почти что самоочевидным, поскольку его определения не приводят. Однако при некотором размышлении становится ясно, что оба этих понятия с точки зрения методологии до сих пор определены настолько недостаточно, что это серьезно затрудняет корректное выполнение количественных оценок риска.

Международный стандарт, принятый в качестве национального российского стандарта, дает следующую дефиницию: *риск — это влияние неопределенности на достижение поставленных целей*<sup>1</sup>. Если под поставленной целью понимать не только экономический результат (успех инвестиционного проекта или финансовые итоги страховой деятельности компании), но и обеспечение безопасности в самых различных ее аспектах, то предложенное толкование станет универсальным, причем настолько же бесспорным, насколько и бесполезным. Бесполезным потому, что оно не содержит алгоритма, формулы, как придать риску количественное измерение. А без этого важнейшего условия «менеджмент риска» означает всего лишь альтернативу классическому детерминированному подходу, при котором при задании ряда исходных данных задачи можно рассчитывать на получение вполне определенного результата. Альтернативу, допускающую из-за наличия неопределенности множественность исходов. В подобной трактовке «менеджмент риска» является не более чем пустой словесной конструкцией. Причем конструкцией неудачной, потому что понятие риска есть категория оценочная, призванная оценить (качественно, полуколичественно или количественно)

опасности разного рода. В этой связи правильнее говорить об управлении (менеджменте) опасными факторами, собственно и создающими опасность.

Понятие *риск* приобретает наибольшую полезность, когда ему придан количественный аспект, делающий возможным выполнение расчетов, математическое моделирование, являющееся третьим (наряду с теоретическим и экспериментальным) самым эффективным в настоящее время видом научного метода. Качественный и полуколичественный способы оценки риска также позволяют охарактеризовать его величину, но со значительно большей неопределенностью.

Видов риска, используемых сегодня в различных областях общественной жизни, немало, едва ли возможно предложить для них универсальные алгоритмы выполнения анализа и оценки. Успех получения количественных оценок конкретного вида риска (точнее — его показателей), величина неопределенности полученных при этом результатов зависят от множества причин, в том числе от того, насколько:

- обосновано понятие с методологической точки зрения;
- тщательно методически разработаны рекомендованные процедуры их выполнения.

К настоящему времени из всего многообразия видов риска оба этих важнейших аспекта проблемы лучше всего проработаны для техногенного риска. Важнейшим обстоятельством является то, как понятие техногенного риска трактуется документами действующей российской нормативно-правовой базы, насколько тщательно оно проработано с методологической точки зрения. Именно это во многом определяет успех функционирования риск-ориентированного подхода в области техносферной безопасности в России в целом. С учетом этого соображения из всего многообразия литературных источников автор сосредоточился на методологическом анализе действующей нормативно-правовой базы, образуемой действующими отечественными нормативно-правовыми актами (НПА) и нормативными документами (НД).

## 1. Толкование понятия техногенного риска

Проанализируем методологический аспект, исследуя, как понятие техногенного риска трактуется в нормативной литературе. Как известно, для обеспечения

<sup>1</sup> ГОСТ Р 51897-2021 (ISO Guide 73:2009) «Менеджмент риска. Термины и определения».

гарантированного права своих граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду государство реализует целый комплекс мер, одной из важнейших среди которых является создание максимально совершенной нормативно-правовой среды, адекватной существующим угрозам. Для решения этой задачи государственные органы законодательной и исполнительной власти принимают документы, обязательные к исполнению, называемые *нормативными правовыми актами* — «официальные документы, принятые (изданные) в определенной форме правотворческим органом в пределах своей компетенции и направленные на установление, изменение и отмену правовых норм»<sup>2</sup>.

Наряду с понятием нормативного правового акта, существует понятие *нормативного документа*, каковым является любой документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности и/или их результатов<sup>3</sup>. К числу НД относятся стандарты, своды правил, технические условия и т.д. Юридическая сила нормативных документов меньше, чем НПА, поскольку они могут носить рекомендательный характер.

Объединяющим началом для НД и НПА является то обстоятельство, что они разрабатываются коллективом профессионалов, проходят соответствующую экспертизу и процедуру утверждения. И это выгодно отличает их от произведений научной и учебной литературы, которые, как показывает опыт, могут быть совершенно разного качества.

Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ дал одно из самых удачных на сегодня развернутое толкование риска [техногенного]: «*риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда*»<sup>4</sup>.

В свою очередь, российский стандарт (НД), гармонизированный со стандартом МЭК, предложил более лаконичную трактовку понятия риска (риска технологических систем): «*риск — это сочетание*

*вероятности события и его последствий*»<sup>5</sup>. Такая трактовка техногенного риска является общей для целой группы отечественных НД, посвященных анализу и оценке техногенного риска.

Таким образом, техногенный риск (дословно «рожденный техникой») — оценочное понятие для оценки опасности всего многообразия ситуаций, возникающих в процессе функционирования объектов техносферы и чреватых причинением ущерба людям, компонентам природной среды и материальным ценностям.

## 2. Виды и разновидности техногенного риска

Обычно техногенный риск рассматривают в довольно узком смысле, применительно к техногенным чрезвычайным ситуациям (авариям, взрывам и пожарам, выбросам и сбросам опасных веществ). В представленной статье это понятие трактуется шире. Мы проанализируем два его вида и шесть разновидностей.

Как известно, объекты техносферы могут функционировать в двух режимах: штатном и аварийном. При этом в обоих случаях они, как правило, причиняют определенный ущерб среде обитания человека, его здоровью и благополучию, а также благополучию других биологических видов:

1. Аварийный режим (режим техногенной чрезвычайной ситуации) на объектах техносферы, как правило, характеризуется скоротечностью и высокими уровнями воздействия, его опасность оценивается техногенным риском первого вида, имеющим три разновидности:

- риск техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС);
- аварийный риск;
- пожарный риск (в части оценки опасности взрывов и пожаров на производственных объектах).

2. Штатный, безаварийный режим работы объектов техносферы, сопровождающийся: выбросом и сбросом загрязняющих веществ; образованием твердых производственных (ТПрО) и коммунальных (ТКО) отходов; энергетическим загрязнением среды (тепловым, акустическим, электромагнитным, радиоактивным). Перечисленные негативные факторы обычно

<sup>2</sup> <http://pravo.minjust.ru> (дата обращения: 15.02.2024).

<sup>3</sup> ГОСТ 1.1-2002 «Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения».

<sup>4</sup> ФЗ РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

<sup>5</sup> ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем (МЭК 60300-3-9:1995 Управление надежностью. Часть. 3. Руководство по применению. Раздел 9. Анализ риска технологических систем).

имеют относительно незначительные уровни, однако действуют они на протяжении длительного времени и способны причинить среде обитания определенный ущерб. Опасность этого режима работы объектов техносферы характеризует второй вид техногенного риска, также имеющий три разновидности:

- 1) профессиональный риск;
- 2) риск здоровью населения;
- 3) экологический риск.

Первые три разновидности техногенного риска используются для анализа и количественной оценки опасности ситуаций, когда на некоторой территории из-за нештатного поведения технического объекта возникает обстановка, «которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и/или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей»<sup>6</sup>. Развитие событий в подобных ситуациях обычно характеризуется быстротечностью и значительным масштабом. Типичные представители подобных ситуаций: аварийный (залповый) выброс опасного вещества из технологического оборудования; взрыв и/или неконтролируемое горение опасного вещества вне специального очага.

Четвертая, пятая и шестая разновидности техногенного риска оценивают негативное воздействие объектов техносферы на здоровье персонала, популяционное здоровье (здоровье населения) и биоту в режиме их штатного функционирования. В частности, понятие профессионального риска используется для оценки опасности производственной среды для персонала технических (производственных, коммунальных, транспортных и т.д.) объектов. Эта опасность создается либо уже имеющимися в наличии в рабочей зоне вредными факторами (что может привести со временем к профессиональным заболеваниям), либо потенциальными опасными факторами возможной травмоопасной ситуации, чреватой получением работниками травмы.

Предназначение понятий риска здоровью населения и экологического риска — оценка вреда (ущерба) человеческой популяции и прочим биологическим видам, причиняемого долговременными выбросами и сбросами в окружающую среду загрязняющих

химических, биологических и радиоактивных веществ, размещением твердых отходов, при оказании на нее хронического воздействия физической природы (создание шума, вибрации, электромагнитного излучения и т.д.). Несмотря на то, что создаваемые при этом уровни вредных факторов обычно относительно невелики из-за большой продолжительности их действия, величина причиняемого ущерба может быть значительной.

### 3. Современное состояние методологии анализа и оценки разновидностей техногенного риска

Проанализируем, насколько совершенна проработка всех шести вышеназванных разновидностей техногенного риска с методологической точки зрения, включая методическую базу выполнения их анализа и количественной оценки, изложенную в действующих НД и НПА.

#### 3.1. Риск техногенной чрезвычайной ситуации

Федеральный закон<sup>7</sup> толкования риска ЧС не содержит, а согласно российскому стандарту риск чрезвычайной ситуации — это мера опасности чрезвычайной ситуации, сочетающая вероятность возникновения чрезвычайной ситуации и ее последствия<sup>8</sup>. Кроме того, этот стандарт вводит понятия количественных показателей:

а) индивидуального риска ЧС — количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как вероятность гибели на рассматриваемой территории за год отдельного человека в результате воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации;

б) социального риска ЧС — количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как вероятность гибели на рассматриваемой территории за год одновременно более чем десяти человек в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации. Следует отметить, что такая

<sup>6</sup> ФЗ РФ от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

<sup>7</sup> ФЗ РФ от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

<sup>8</sup> ГОСТ Р 55059-2012 БЧС. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения.

трактовка социального риска не соответствует международному риск-ориентированному подходу, согласно которому социальный риск принято оценивать функцией, т.е. зависимостью вероятности причинения определенного ущерба от величины этого ущерба (как это и реализовано для показателя социального аварийного риска), поскольку многолетняя практика убедительно показывает, что вероятность причинения любых видов ущерба тем ниже, чем больше величина ущерба;

в) коллективного риска ЧС — *количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как математическое ожидание числа погибших в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации на рассматриваемой территории за год;*

г) потенциального территориального риска ЧС — *количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как вероятность возникновения за год на рассматриваемой территории всей совокупности поражающих факторов источников возможной чрезвычайной ситуации с уровнем, который может привести к гибели людей и причинению материального ущерба;*

д) экономического риска ЧС — *количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как математическое ожидание случайной величины материального ущерба от чрезвычайной ситуации на рассматриваемой территории за год.*

Таким образом, с точки зрения методологии, для этой разновидности техногенного риска введено понятие риска ЧС, сочетающее вероятность и последствия, а для его количественной характеристики — пять показателей.

Методическая основа (методы) процедуры выполнения количественных оценок относительно подробно разработана только для показателя индивидуального риска ЧС, который согласно ГОСТ Р 22.2.02-2015 есть сумма соответствующих показателей техногенных ЧС и природных ЧС в определенной точке территории<sup>9</sup>. В свою очередь, показатель  $R_T(x, y)$  индивидуального риска техногенных ЧС в любой точке территории рассчитывается по соотношению:

<sup>9</sup> ГОСТ Р 22.2.02-2015 «Оценка риска чрезвычайной ситуации при разработке проектной документации объектов капитального строительства».

$$R_T(x, y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P_i \times P_{ij} \times P_{гибij}(x, y), \quad (1)$$

где:

$P_i$  — вероятность (условная) возникновения техногенной ЧС от  $i$ -го источника (аварии). Этот параметр приведен в приложение Б стандарта как доля аварий, сопровождающихся ЧС, для списка из 12-ти укрупненных видов производств. При этом метод определения вероятности самой аварии в стандарте не указан;

$P_{ij}$  — вероятность (условная) реализации  $j$ -го сценария ЧС от  $i$ -го источника (указание о методе присвоения параметру численного значения в стандарте отсутствует);

$P_{гибij}(x, y)$  — вероятность гибели отдельного человека в определенной точке селитебной территории при возникновении техногенной ЧС от  $i$ -го источника при реализации  $j$ -го сценария ЧС. Стандарт приводит ссылки на методики вычисления этого параметра, разработанные различными ведомствами для достаточно полного перечня поражающих факторов (воздушной взрывной волны, волны прорыва гидротехнических сооружений, летящих обломков или осколков, теплового излучения, пожара, пролива, огненного шара, факельного горения), ионизирующего излучения, токсического действия аварийных выбросов. В этом перечне не хватает только сценария «пожар-вспышка».

Величину показателя  $R_{II}(x, y)$  индивидуального риска природных ЧС в любой точке  $(x, y)$  территории рекомендовано рассчитывать по формуле:

$$R_{II}(x, y) = \sum_{i=1}^N P_{IIi}(x, y), \quad (2)$$

где  $R_{IIi}(x, y)$  — значения индивидуального риска при реализации  $i$ -ой природной опасности, приведенные в приложении В стандарта для основных видов природных ЧС (оползней, селей, лавин, наводнений и ураганов).

Остальные четыре введенных показателя риска ЧС пока методически не разработаны и остаются на уровне определений.

Подводя итоги, следует признать, что методологический аспект риска техногенных ЧС в целом проработан относительно неплохо:

а) толкование этого понятия учитывает оценку как последствий негативного события (хотя эти последствия трактуются очень сужено, только как летальный исход для людей), так и возможность их

наступления (с помощью вероятностей сопутствующих событий), в итоге количественные показатели риска имеют размерность вероятности;

б) методическая база относительно полно разработана только для одного показателя риска из пяти;

в) указания на выполнение анализа и количественной оценки неопределенности полученных результатов оценки риска техногенных ЧС в НПА и НД отсутствуют. При этом очевидно, что неопределенность результата количественных оценок в этом случае несколько больше в связи с использованием укрупненных справочных данных.

Проблема количественной оценки последствий (ущерба) является общей методологической проблемой для всех разновидностей техногенного риска. Ей будет посвящен отдельный раздел в завершающей части статьи.

### 3.2. Риск аварии (аварийный риск)

Основополагающий в области промышленной безопасности закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ<sup>10</sup> толкования риска аварии не дает. Соответствующее определение имеется в Руководстве по безопасности: *риск аварии — мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и соответствующую ей тяжесть последствий*<sup>11</sup>. Очевидно, что такое толкование дает опасности аварии исключительно качественную характеристику, поскольку «возможность» корректно количественно оценить в настоящее время невозможно.

Для целей количественного оценивания риска в области промышленной безопасности используются понятия *показателей риска* (потенциального, индивидуального, социального и других):

а) потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) — частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке опасного производственного объекта и прилегающей территории;

б) индивидуальный риск — ожидаемая частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии;

в) социальный риск (или риск поражения группы людей) — зависимость частоты возникновения сценариев аварий  $F$ , в которых пострадало на определенном уровне не менее  $N$  человек, от этого числа  $N$ . Характеризует социальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации совокупности сценариев аварии и представляется в виде соответствующей  $F/N$ -кривой.

Алгоритм и расчетные соотношения, а также необходимый справочный материал для оценки величины указанных показателей аварийного риска содержатся в Руководстве по безопасности<sup>12</sup>:

а) потенциальный аварийный риск в любой точке территории оценивается суммой произведений частоты реализации в течение года сценариев развития аварии на условную вероятность гибели незащищенного человека от воздействия их поражающих факторов и на коэффициент защищенности имеющихся средств защиты;

б) индивидуальный аварийный риск рекомендовано оценивать суммой по всем областям нахождения человека в течение года произведений величины потенциального риска в этой области на вероятность нахождения в ней этого человека;

в) социальный риск рекомендовано представлять в виде графика ступенчатой функции зависимости частоты реализации сценариев аварии от числа  $N$  погибших.

Наряду с Руководством по безопасности, Ростехнадзором утверждена целая серия прочих НД, конкретизирующих расчетные алгоритмы оценки показателей аварийного риска для различных конкретных сценариев аварии.

Таким образом, с точки зрения методологии понятие риска аварии определено очень обобщенно, как мера опасности, характеризующая возможность вызывания аварией различных последствий.

В отношении методической базы этой разновидности техногенного риска можно сказать следующее:

а) показатели аварийного риска разработаны достаточно основательно. В НПА и НД предложены расчетные математические модели, приведен необходимый справочный материал. Для оценки вероятности взрывопожароопасных сценариев аварии и величины

<sup>10</sup> ФЗ РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

<sup>11</sup> Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387.

<sup>12</sup> Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387.

их поражающих факторов Руководство по безопасности отсылает к НД МЧС России;

б) для количественной характеристики возможности возникновения аварии и причинения ею ущерба вперемешку используются понятия частоты и вероятности, что с математической точки зрения неудовлетворительно, поскольку частота события есть частный факт (подробнее об этом ниже, в соответствующей части статьи);

в) хотя в преамбуле многих НПА и НД по промышленной безопасности, рассматривающих последствия аварии, перечисляются несколько видов ущерба (гуманитарный, материальный, экологический, ущерб государству и др.), действующие на сегодняшний день показатели аварийного риска учитывают только гуманитарный, причем лишь гибель людей;

г) в отношении анализа и количественной оценки неопределенности полученных результатов в Руководстве по безопасности дана лишь общая рекомендация, о том, что это следовало бы делать. Какие-либо рекомендации о том, как именно это делать, отсутствуют полностью. Однако даже само упоминание необходимости анализа и количественной оценки неопределенности показателей риска заслуживает всяческого одобрения, поскольку пока это редкость для отечественной методологии техногенного риска.

### 3.3. Пожарный риск

Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ дает пожарному риску определение довольно общего качественного свойства как «*мере возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей*»<sup>13</sup>. Российский стандарт, являющийся аутентичным переводом соответствующего стандарта ISO, предлагает иную формулировку, более близкую к международной трактовке техногенного риска: «*пожарный риск — сочетание вероятности реализации этого события (или сценария) и его последствий, часто выражаемый в виде произведения вероятности и величины последствий*»<sup>14</sup>. Некоторая недосказанность приведенного определения заключается в том, что, поскольку сценариев пожара/взрыва может быть несколько, следовало бы указать, как агрегировать величины пожарных рисков для них.

<sup>13</sup> ФЗ РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности».

<sup>14</sup> ГОСТ Р 51901.10-2009/ISO/TS/16732:2005 «Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии».

Для возможности выполнения количественных оценок пожарной опасности в ст. 2 закона № 123-ФЗ введено понятие расчетных величин пожарного риска, которым даны крайне неудачные определения:

- *индивидуальный пожарный риск* — *пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара* (как уже было отмечено выше, риск, в отличие от опасных факторов пожара, не может привести к гибели, он является лишь оценочной категорией);

- *социальный пожарный риск* — *степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара* (аналогично, опасность — качественная оценка воздействия (фактического или предполагаемого) опасных факторов).

Порядок их определения изложен в НПА «Методика определения расчетных величин пожарного риска...» (далее Методика)<sup>15</sup>. Название этого документа не должно вводить в заблуждение. Это полноценный нормативно-правовой акт, утвержденный приказом МЧС России и зарегистрированный Минюстом РФ (кроме того, порядок расчета пожарных рисков утвержден специальным постановлением Правительства РФ<sup>16</sup>). Таким образом, расчетные величины пожарного риска, по сути, являются его показателями и по своему назначению близки к показателям аварийного риска.

Подход Методики к трактовке расчетных величин пожарного риска несколько удачнее. Она полагает, что «риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте характеризуется числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков» и вместо дефиниций этих понятий приводит расчетные соотношения для их вычисления.

Для людей, находящихся в зданиях или на территории объекта, предварительно предполагается вычислить еще одну расчетную величину потенциального риска, равную в каждой точке территории (помещении здания) сумме по всем сценариям взрыва/пожара произведений частоты реализации сценария на условную вероятность гибели человека от воздействия его поражающих факторов.

<sup>15</sup> Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. МЧС России 10.07.2009 (в редакции приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404»).

<sup>16</sup> Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».

Расчетная величина индивидуального пожарного риска определенного работника согласно Методике оценивается частотой его поражения опасными факторами пожара, взрыва в течение года и рассчитывается как сумма по всем локациям его нахождения в течение года на территории объекта (в помещениях здания) произведений величины потенциального риска в этой локации на вероятность нахождения работника в ней.

Расчетную величину социального пожарного риска работников объекта Методика приравнивает к частоте возникновения событий (по-видимому, имеются в виду сценарии взрыва/пожара), ведущих к гибели десяти и более человек. Этот фрагмент документа непонятен, поскольку таковых сценариев может быть несколько, а о суммировании их частот ничего не сказано. Подобное суммирование частот сценариев Методика предполагает при оценке расчетной величины социального пожарного риска людей на селитебной территории вокруг объекта<sup>17</sup>.

Характеризуя в целом методическую базу анализа и количественной оценки пожарного риска, следует констатировать:

а) предложенные подходы к количественной оценке показателей потенциального и индивидуального аварийных рисков и соответствующих расчетных величин пожарного риска практически совпадают, для расчета рекомендовано использовать симбиоз понятий частоты и вероятности событий;

б) одновременно подходы принципиально различаются для оценки социального риска. Действующий же подход к оценке расчетной величины социального пожарного риска игнорирует — общеизвестный факт, что вероятность события причинения ущерба зависит от величины ущерба и убывает с ростом величины ущерба;

в) в НПА МЧС России описан достаточно полный перечень возможных сценариев взрыва/пожара на производственных объектах, приведены аналитические (инженерные) математические модели для оценки величины их поражающих факторов и необходимый справочный материал;

г) в отношении анализа и количественной оценки неопределенности расчетных величин пожарного риска ситуация совершенно удручающая. В НПА МЧС России

<sup>17</sup> Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. МЧС России 10.07.2009 (в редакции приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404»).

отсутствует даже упоминание о ее наличии, что с современной точки зрения является просто нонсенсом.

### 3.4. Профессиональный риск

Трудовой кодекс России дает следующее определение: «профессиональный риск — вероятность причинения вреда жизни и/или здоровью работника в результате воздействия на него вредного и/или опасного производственного фактора при исполнении им своей трудовой функции с учетом возможной тяжести повреждения здоровья»<sup>18</sup>, полностью соответствующее международному подходу к оценке техногенного риска.

Методов оценки профессионального риска в настоящее время существует множество. Рекомендации для работодателя по их выбору утверждены приказом Минтруда России<sup>19</sup>. Несколько забегаю вперед, заметим, что с методической точки зрения риск-ориентированный подход в области охраны труда на сегодняшний день разработан значительно хуже, нежели в области пожарной и промышленной безопасности. Главной причиной этого является отсутствие соответствующих математических моделей, позволяющих прогнозировать:

- вероятность наличия и величину (интенсивность) опасных/вредных факторов в рабочей зоне (области нахождения работника);
- условную вероятность получения человеком травм и профессиональных заболеваний под их воздействием.

Это вынуждает Минтруд России в основном рекомендовать к использованию качественные или полуквантитативные методы экспертной оценки.

Перечисляя рекомендуемые методы оценки профессионального риска, приказ Минтруда России ссылается на российские стандарты<sup>20</sup>.

Первый из них, разработанный на основании стандарта МЭК 31010:2019, содержит описание около трех десятков различных методов (в стандарте они названы технологиями) оценки риска и не учитывает специфику охраны труда, в чем заключается его серьезный методологический изъян.

<sup>18</sup> Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ.

<sup>19</sup> Рекомендации по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков. Утв. приказом Минтруда России от 28.12.2021 № 926.

<sup>20</sup> ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска»; ГОСТ Р 12.0.010-2009 «Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков».

ГОСТ Р 12.0.010-2009 разработан в России рабочей группой, состоящей из представителей федерации независимых профсоюзов России, Российского Союза Промышленников и Предпринимателей и ООО «Экожилсервис». Под риском в нем понимается «сочетание (произведение) вероятности (или частоты) нанесения ущерба и тяжести этого ущерба», а под оценкой риска «количественное или качественное определение значения показателя риска»<sup>21</sup>. Данный стандарт посвящен именно профессиональному риску, поскольку в нем рассматриваются следующие виды ущерба:

- а) ухудшение состояния здоровья работника и/или его потомства;
- б) нарушение функционального состояния организма;
- в) прогнозируемое сокращение предстоящей продолжительности жизни;
- г) нарушение психосоциального благополучия (удовлетворенности работой, семьей, доходами и здоровьем).

А для количественной их оценки предложен ряд разнородных показателей:

- количество и тяжесть профессиональных заболеваний;
- продолжительность временной утраты трудоспособности (ВУТ);
- сумма пособий по временной нетрудоспособности (рублей);
- количество случаев стойкой утраты профессиональной трудоспособности;
- степень утраты профессиональной трудоспособности в процентах;
- сумма расходов на обеспечение по социальному страхованию по этому виду экономической деятельности.

С математической точки зрения ГОСТ Р 12.0.010-2009 разработан неудовлетворительно. Для «дискретных» (счетных) видов ущерба расчет риска (профессионального) предложено выполнять по соотношению:

$$R = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i, \quad (3)$$

где:

$P_i$  — вероятность (частота) причинения работнику ущерба  $i$ -го вида;

<sup>21</sup> ГОСТ Р 12.0.010-2009 «Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков».

$U_i$  — величина ущерба  $i$ -го вида;

$N$  — общее число возможных видов ущерба.

К сожалению, ввиду множества перечисленных этим стандартом видов ущерба, показатели которых имеют различную размерность (или не имеют ее вовсе: б) и г)), применение соотношения (3) в общем случае является невозможным.

Ввиду полного отсутствия адекватных математических моделей, позволяющих прогнозировать как величину ущерба здоровью работников от воздействия имеющихся вредных и опасных производственных факторов, так и вероятность их причинения, для оценки параметров  $P_i$ ,  $U_i$ ,  $N$  стандарт рекомендует использовать статистическую информацию или экспертные оценки.

Подводя итог, следует констатировать, что разработка методологии количественной оценки профессионального риска в настоящее время находится в самом начале пути:

- а) в принципиальном плане, методологически, понятие профессионального риска определено через вероятность и величину ущерба, предложен его количественный показатель;
- б) рекомендованный метод количественной оценки этого показателя неудовлетворителен, крайне слабо методически разработан;
- в) аналогично ситуации с пожарным риском, в области профессионального риска какие-либо упоминания о наличии неопределенности, анализе ее происхождения и количественной оценке отсутствуют. О неопределенности речь идет лишь в ГОСТ Р 58771-2019, посвященном техногенному риску в целом.

### 3.5. Риск ущерба здоровью населения

Проанализируем современные методологические основы следующей разновидности техногенного риска — риска здоровью населения (также используется альтернативный термин — для здоровья населения). По-видимому, можно относительно точно датировать начало разработки этой методологии в России, если вести отсчет с совместного постановления<sup>22</sup>. Отметим,

<sup>22</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 10.11.1997 № 25 и Главного государственного инспектора РФ по охране природы от 10.11.1997 № 03-19/24-3483 «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации».

что из действующих НПА ни основной в этой области Закон от 17.03.1999 № 52-ФЗ, ни постановление Правительства от 03.03.2018 № 222 толкования понятию *риск для здоровья человека* не дают, однако, наряду с методиками расчета риска, оно в них неоднократно упоминается<sup>23</sup>.

Ряд определений ключевых понятий этой научной области можно найти в НД Р 2.1.10.1920-04 (далее Руководство по оценке риска), заслуживающем особого внимания:

- *риск для здоровья* — вероятность развития угрозы жизни или здоровью человека либо угрозы жизни или здоровью будущих поколений, обусловленная воздействием факторов среды обитания;

- *индивидуальный риск* — оценка вероятности развития неблагоприятного эффекта у экспонируемого индивидуума, например, риск развития рака у одного индивидуума из 1 тыс. лиц, подвергавшихся воздействию. При оценке риска, как правило, оценивается число дополнительных по отношению к фону случаев нарушений состояния здоровья, т.к. большинство заболеваний, связанных с воздействием среды обитания, встречается в популяции и при отсутствии анализируемого воздействия;

- *ущерб (вред) здоровью человека* — наблюдаемое или ожидаемое нарушение состояния здоровья человека или состояния здоровья будущих поколений, обусловленное воздействием факторов среды обитания. Ущерб характеризуется медико-социальной значимостью наблюдаемых или ожидаемых негативных последствий для жизни или здоровья человека и/или будущих поколений, а также частотой случаев негативных последствий и их стоимостными оценками;

- *популяционный риск* — агрегированная мера ожидаемой частоты вредных эффектов среди всех подвергшихся воздействию людей (например, четыре случая заболевания раком в год в экспонируемой популяции);

- *оценка риска для здоровья* — процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья человека

<sup>23</sup> ФЗ РФ от 17.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; постановление Правительства РФ от 03.03.2018 № 222 «Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон».

*или здоровья будущих поколений, обусловленных воздействием факторов среды обитания*<sup>24</sup>.

Анализ показывает, что из всего спектра вредных воздействий со стороны объектов техносферы на популяционное (здоровье населения) в настоящее время более всего исследовано влияние токсичных химических веществ с учетом их комбинированного, многосредового поступления в организм человека из атмосферного воздуха и воздуха помещений, питьевой воды и водоемов, а также из почвы (при ее случайном заглатывании) и с пищей.

Руководство по оценке риска является объемным документом, подробно описывающим современные методологические подходы к анализу и количественной оценке риска популяционному здоровью населения, обусловленному воздействием химических веществ (отдельно канцерогенных и неканцерогенных). В нем последовательно изложен алгоритм выполнения процедуры, введен ряд количественных показателей риска, приведены некоторые расчетные соотношения, описаны сопутствующие методические проблемы, содержится обширный справочный материал. Документ написан ведущими российскими специалистами на базе многолетнего зарубежного и отечественного опыта выполнения подобных работ и отражает состояние знания в этой области на начало текущего столетия.

Величина риска здоровью на концептуальном уровне оценивается вероятностью дополнительной заболеваемости среди экспонируемой популяции, которая, в свою очередь, находится как отношение числа прогнозируемых дополнительных случаев в год к численности этой популяции. В этом отношении несколько диссонирует определение понятия *ущерб здоровью человека*, возможность реализации которого охарактеризована числом случаев причинения этого ущерба, а величина оценена не только в стандартном натуральном выражении, но и в стоимостном, что является очень важной новеллой, которая будет рассмотрена далее.

В укрупненном изложении — по версии Руководства по оценке риска — анализ риска здоровью включает:

- оценку риска;
- управление риском;
- информирование (населения) о риске.

<sup>24</sup> Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

В свою очередь, рекомендованный алгоритм оценки риска содержит четыре этапа:

- 1) идентификация опасности;
- 2) оценка зависимости «доза-эффект»;
- 3) оценка экспозиции;
- 4) характеристика риска (служащая «мостиком»

между анализом и управлением риском).

В тексте Руководства по оценке риска неоднократно указывается на крайнюю сложность исследуемой проблемы, обусловленную полифакторностью (широчайшим спектром факторов, оказывающих воздействие на здоровье человека). Это обстоятельство во многом определяет значительную неопределенность получаемых количественных оценок, на что неоднократно указано в тексте Руководства по оценке риска.

Анализ показывает, что методология выполнения количественных оценок риска здоровью лучше всего проработана для канцерогенных веществ, особенно для т.н. беспороговых канцерогенов, вызывающих генотоксичные эффекты. В подобных случаях Руководство по оценке риска вводит показатель дополнительного канцерогенного риска CR:

$$CR_i = LADD_i \cdot SF_i, \quad (4)$$

где:

$CR_i$  — дополнительный канцерогенный риск, вызываемый  $i$ -ым веществом;

$LADD_i$  (*Lifetime Average Daily Dose*) — среднесуточная доза, мг/кг-сут., (комбинированного поступления в организм человека: перорально, ингаляционно и через кожу);

$SF_i$  — фактор наклона  $i$ -го вещества, мг/кг-сут<sup>-1</sup>, зависимости «доза-эффект».

Отметим, что соотношение (4) применимо только для такого диапазона доз  $LADD$ , для которого установлена линейная зависимость «доза-эффект».

Для неканцерогенных веществ (коих значительно больше) используется иной количественный показатель — коэффициент опасности  $HQ$ , являющийся отношением:

$$HQ_i = \frac{AD_i}{RfD_i}; \text{ или } HQ_i = \frac{AC_i}{RfC_i}, \quad (5)$$

где:

$AD_i$  — средняя доза, мг/кг-сут., поступления  $i$ -го вещества в организм человека;

$RfD_i$  — референтная доза, мг/кг-сут., суточное воздействие  $i$ -го химического вещества в течение всей жизни, устанавливаемое с учетом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводящее к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения;

$AC_i$  — средняя концентрация, мг/м<sup>3</sup> (мг/дм<sup>3</sup> — в воде)  $i$ -го вещества в окружающей среде;

$RfC_i$  — референтная концентрация, мг/м<sup>3</sup> (мг/дм<sup>3</sup> — в воде), концентрация  $i$ -го вещества в окружающей среде, при которой его воздействие в течение всей жизни, устанавливаемое с учетом всех имеющихся современных научных данных, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения.

В условиях одновременного поступления нескольких химических веществ одним и тем же путем (например, ингаляционным или пероральным) либо одновременного воздействия нескольких веществ с однонаправленным действием (обладающим эффектом суммации) предложено рассчитывать индекс опасности:

$$HI = \sum_i HQ_i. \quad (6)$$

К сожалению, показатели  $HQ$  и  $HI$  далеко не во всех случаях позволяют спрогнозировать величину риска для здоровья населения, поскольку для очень большого числа химических веществ установить аналитические зависимости «доза-эффект» не представляется возможным. Дословно — п. 7.4.14 Руководства по оценке риска гласит: «...если коэффициент опасности превышает единицу, то вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению  $HQ$ , однако точно указать величину этой вероятности невозможно». Эта формулировка не вполне корректна, поскольку «пропорциональность» означает линейную зависимость, которой на самом деле в данном случае нет.

Подводя итоги, следует указать на неплохую методологическую проработанность этой разновидности техногенного риска для случая воздействия канцерогенных веществ, а для неканцерогенных, в части методов оценки среднесредовых концентраций, маршрутов поступления химических веществ в организм человека, величины суточных доз, а также вызываемых ими вредных эффектов для здоровья населения, но не собственно количественной оценки риска.

Руководство по оценке риска стало методической основой для разработки целой серии документов — Методических рекомендаций, утвержденных главным санитарным врачом РФ. В них изложены методы оценки риска здоровью населения, обусловленного вредными факторами химической и физической природы: токсичными веществами в атмосферном воздухе и питьевой воде; транспортным шумом и электромагнитными полями. Проанализируем их кратко.

*Химические вещества в атмосферном воздухе.* Самыми недавними из названных методических рекомендаций являются МР 2.1.10.0156-19, рассматривающие оценку риска причинения ущерба популяционному здоровью, вызываемого загрязнением атмосферного воздуха химическими веществами<sup>25</sup>. В нем методические подходы Руководства по оценке риска к количественной оценке риска здоровью населения, обусловленного канцерогенами, оставлены без изменений, а касательно неканцерогенов они получили некоторое развитие. Вызывает некоторое недоумение используемая в МР 2.1.10.0156-19 формулировка «оценка риска и ущерба здоровью», поскольку понятие риска уже включает в себя оценку вероятности и величины ущерба от негативного события (воздействия).

Для количественных оценок риска здоровью населения, создаваемого неканцерогенными токсикантами в атмосферном воздухе, расчетные соотношения не представлены, вместо этого приведена таблица с интервальными значениями (см. табл.).

В приложениях 1 и 2 к МР 2.1.10.0156-19 только для четырех веществ: озона, диоксида азота и двух фракций взвешенных веществ ( $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ), приведены значения относительного риска RR (отношения риска возникновения какого-либо заболевания у лиц, подвергавшихся воздействию изучаемого фактора, к риску заболевания у лиц, не подвергавшихся этому воздействию), отдельно для кратковременных и долгосрочных воздействий, полученные по результатам эпидемиологических исследований.

В заключение следует отметить, что достигнутый уровень методической разработанности этой части методологии оценки риска здоровью населения пока совершенно неудовлетворителен.

<sup>25</sup> МР 2.1.10.0156-19 Методические рекомендации «Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения».

*Химические вещества в питьевой воде.* Методические рекомендации МР 2.1.4.0032-11 с научной и методической точки зрения разработаны значительно лучше. Основания для принятых допущений в них указаны явно и предложен подход (хотя и спорный) к оценке агрегированного риска здоровью населения, обусловленного содержащимися в питьевой воде химическими веществами<sup>26</sup>.

Разработчики документа указали, что содержащиеся в нем расчетные соотношения основаны исключительно на априорных принципах (например, на общефизиологическом законе Вебера-Фехнера либо на токсикологических, подобных используемым моделях при обосновании величины ПДК). Апостериорные данные (результаты эпидемиологических исследований) не использовались.

МР 2.1.4.0032-11 различают три вида вредных эффектов для популяционного здоровья, вызываемых химической загрязненностью питьевой воды:

- канцерогенные;
- ольфакторно-рефлекторные;
- санитарно-токсикологические.

Подход к количественной оценке риска здоровью, вызываемого канцерогенными веществами, совершенно аналогичен таковому в Руководстве по оценке риска по соотношению (4). Однако предложенный метод количественной оценки эффектов второй группы (рефлекторной реакции человека на окраску, запах, мутность или кислотно-щелочной привкус питьевой воды) неудачен, поскольку фактически он оценивает не вероятность причинения ущерба здоровью, а вероятность отказа человека от употребления загрязненной питьевой воды вследствие ее ненадлежащего запаха, цвета, мутности или кислотно-щелочного привкуса.

В основу предложенных количественных соотношений для расчета величины пробит-функции положен закон Вебера-Фехнера:

а) для цветности воды:

$$Pr = -3,33 + 0,67 \cdot Ц, \quad (7)$$

где Ц — цветность питьевой воды в градусах (0–1000°), оцениваемой визуально по специальной шкале или фотоколориметрически;

<sup>26</sup> МР 2.1.4.0032-11. Методические рекомендации «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности».

Таблица. Классификация уровней риска

Table. Classification of risk levels

Уровень риска	Коэффициент опасности НQ вещества	Индекс опасности HI группы веществ с однонаправленным действием	Годовой риск неканцерогенных медико-социальных эффектов
Высокий	> 3,0	> 6,0	> 1,1·10 <sup>-3</sup>
Настораживающий	1,1–3,0	3,1–6,0	1,1·10 <sup>-4</sup> –1·10 <sup>-3</sup>
Допустимый	0,1–1,0	1,1–3,0	1,1·10 <sup>-6</sup> –1·10 <sup>-4</sup>
Минимальный	< 0,1	< 1,0	< 10 <sup>-6</sup>

б) мутности:

$$Pr = -3 + 0,25 \cdot M, \quad (8)$$

где M — мутность питьевой воды (размерность не указана);

в) водородному показателю (кислотно/щелочной привкус):

$$Pr = 4 - pH, \quad pH < 7; \quad (9)$$

$$-11 + pH, \quad pH > 7.$$

Значение вероятности находится далее по величине Pr стандартным образом;

г) что касается вероятности отказа от питья воды с запахом, для ее оценки дана таблица, в которой пяти градациям интенсивности запаха в баллах поставлено в соответствие пять значений вероятности.

В завершение описания алгоритма оценки «риска здоровью» по ольфакторно-рефлекторным эффектам питьевой воды предписано обосновать «суммарный риск», величине которого следует присвоить наибольшее значение из результатов оценки факторов а)–г).

Метод МР 2.1.4.0032-11 количественной оценки риска для здоровья населения, обусловленного неканцерогенными химическими веществами в питьевой воде, ссылается на вероятностный принцип обоснования величин ПДК. Как известно, в его основе лежит экспериментальное обоснование значения концентрации  $C_{lim}$ , мг/дм<sup>3</sup>, являющейся пороговой для исследуемого токсического эффекта. В качестве ПДК принимают:

$$ПДК = \frac{C_{lim}}{K_3}, \quad (10)$$

где  $K_3$  — коэффициент запаса, который для разных веществ равен 10 или 100.

Авторы документа постулировали, что на графике «доза-эффект» (эффект приравнен к доле экспонируемой популяции, у которой достоверно обнаружена патология, вызываемая данным токсикантом) величине  $C_{lim}$  соответствует «эффект» 0,16 (т.е. 16%). В итоге для количественной оценки риска здоровью населения, вызываемого содержащимся в питьевой воде в концентрации  $C_i$ , мг/дм<sup>3</sup>, неканцерогенным токсикантом, ими предложено соотношение, фактически означающее использование беспороговой модели:

$$Risk_i = 1 - e^{-\frac{\ln 0,84 \cdot C_i}{ПДК_i \cdot K_3}}, \quad (11)$$

где ПДК<sub>i</sub> — предельно-допустимая концентрация, мг/дм<sup>3</sup>, i-го вещества в питьевой воде.

Еще один принятый разработчиками МР 2.1.4.0032-11 постулат, позволивший им обойти требование Руководства по оценке риска о том, что суммарный риск неканцерогенных веществ должен оцениваться только в группах однотипного токсического воздействия, заключается в том, что «на уровне малых доз и концентраций (менее 15 ПДК или RfC), характерных для современного качества питьевой воды, неканцерогенные эффекты для всех веществ проявляются однотипно неспецифически». С учетом этого для количественной оценки суммарного риска  $Risk_{\Sigma}$  здоровью населения, обусловленного содержащимися в питьевой воде неканцерогенными химическими веществами, ими предложена формула:

$$Risk_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Risk_i), \quad (12)$$

которая в случае  $Risk_i < 0,001$  для всех i может быть упрощена:

$$Risk_{\Sigma} \approx \sum_{i=1}^n Risk_i. \quad (13)$$

Окончательно агрегированный риск здоровью населения из-за химического загрязнения питьевой воды рекомендовано оценивать при помощи интегрального показателя ИП опасности питьевой воды:

$$ИП = \frac{Risk_k}{ПЗ_k} + \frac{Risk_p}{ПЗ_p} + \frac{Risk_n}{ПЗ_n}, \quad (14)$$

где:

$Risk_k$  — суммарный канцерогенный риск;

$ПЗ_k$  — приемлемое значение канцерогенного риска;

$Risk_p$  — суммарный риск рефлекторно-ольфакторных эффектов;

$ПЗ_p$  — приемлемое значение рефлекторно-ольфакторных эффектов;

$Risk_n$  — суммарный риск неканцерогенных веществ;

$ПЗ_n$  — приемлемое значение неканцерогенного риска.

Приемлемые значения всех трех видов риска приведены в МР 2.1.4.0032-11.

Укажем, что в целом описанный подход к интегральной оценке риска здоровью населения, связанного с загрязненностью питьевой воды, вызывает сомнение из-за трактовки риска рефлекторно-ольфакторных эффектов, о чем было сказано выше.

Методические рекомендации<sup>27</sup> посвящены оценке риска здоровью населения, обусловленного физическими факторами: транспортным шумом и электромагнитными полями. С методической точки зрения они близки, поскольку основаны на общих принципах, используемых в ЕС и США («гармонизированы с международными документами»).

**Транспортный шум.** МР 2.1.10.0059-12 указывают, что длительный транспортный шум (автотранспортных потоков, железнодорожных поездов и самолетов) способен вызывать целую гамму негативных эффектов от нарушений сна до инфаркта миокарда. Укрупненно эти эффекты объединены в три группы, описывающие воздействие на:

- слуховой аппарат;
- сердечно-сосудистую систему;
- нервную систему.

Разработчики МР 2.1.10.0059-12 сообщают, что рекомендованные ими расчетные соотношения для количественной оценки риска здоровью населения реализуют пороговый принцип и основаны на

<sup>27</sup> МР 2.1.10.0059-12. Методические рекомендации «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума».

апостериорных данных (результатах эпидемиологических исследований).

Интенсивность акустического воздействия предложено оценивать эквивалентным уровнем средневзвешенного суточного шума, дБА:

$$L_{сут} = \frac{1}{24} \left( 16 \cdot 10^{\frac{L_{день}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{ночь}}{10}} \right), \quad (15)$$

где:

$L_{день}$  — эквивалентный уровень средневзвешенного дневного шума, дБА;

$L_{ночь}$  — эквивалентный уровень средневзвешенного ночного шума, дБА.

В качестве количественной оценки негативного эффекта здоровью (ущерба) населения из-за транспортного шума принята частота случаев возникновения негативных эффектов дискомфорта либо дополнительной заболеваемости на фоне естественного старения организма. Оценка суммарного риска нарушений сердечно-сосудистой системы (сс), нервной системы (нс) и органов слуха (сл) основана на эволюционных математических моделях развития этих неблагоприятных эффектов под воздействием шума и выполняется решением соответствующих рекуррентных уравнений:

$$R_{t+1}^{сл} = R_t^{сл} + \left( 0,0118 \cdot R_t^{сл} + 0,001 \cdot \left\langle \frac{L_{сут} \cdot (1 - R_t^{сл})}{50} - 1 \right\rangle \right) \cdot C, \quad (16a)$$

$$R_{t+1}^{сс} = R_t^{сс} + \left( 0,052 \cdot R_t^{сс} + 0,015 \cdot \left\langle \frac{L_{сут} \cdot (1 - R_t^{сс})}{58,5} - 1 \right\rangle \right) \cdot C, \quad (16b)$$

$$R_{t+1}^{нс} = R_t^{нс} + \left( 0,0074 \cdot R_t^{нс} + 0,0016 \cdot \left\langle \frac{L_{сут} \cdot (1 - R_t^{нс})}{43} - 1 \right\rangle \right) \cdot C, \quad (16в)$$

где:

$R_{t+1}^a$  — риск нарушения а-той системы органов (а = сл, сс, нс) для следующего момента времени (временного шага  $t + 1$ );

$R_t^a$  — риск нарушения этой системы органов на предыдущем временном шаге (на момент времени  $t$ );

$R_t^{сг}$  — суммарный риск развития нарушений различной тяжести органов слухового аппарата (шум в ушах, кондуктивная нейросенсорная потеря слуха, потеря слуха), вызванных шумом, на момент времени  $t$ ;

$R_t^{сс}$  — суммарный риск развития нарушений различной тяжести сердечно-сосудистой системы (повышение кровяного давления, гипертензивная болезнь сердца, ишемическая болезнь сердца, стенокардия, инфаркт миокарда), вызванных шумом, на момент времени  $t$ ;

$R_t^{нс}$  — суммарный риск развития нарушений различной тяжести нервной системы (нервное напряжение, расстройство сна, когнитивные нарушения, вегетососудистая дистония), вызванных шумом, на момент времени  $t$ ;

$L_{сут}$  — эквивалентный уровень средневзвешенного суточного шума, дБА, в исследуемый период времени  $t$ ;

$C$  — эмпирический коэффициент, равный единице для временного шага — один год и 0,0833 для временного шага — один месяц;

$\langle Y \rangle$  — скобки Келли, принимающие значения:  $\langle Y \rangle = 0$  при  $Y < 0$  и  $\langle Y \rangle = Y$  при  $Y \geq 0$ .

В МР 2.1.10.0059-12 приведены начальные значения риска (в начале воздействия транспортного шума) для трех названных систем органов:  $R_0^{сг} = 0,023$ ;  $R_0^{сс} = 0,007$ ;  $R_0^{нс} = 0,02855$ .

Таким образом, решение уравнений (16а-16в) позволяет спрогнозировать значение суммарного риска нарушений здоровья различной степени тяжести для каждой из этих трех систем органов в любой момент времени в будущем, которое определяется значением риска и уровнем шума в предыдущий момент времени.

В завершение алгоритма количественную оценку риска воздействия транспортного шума на здоровье населения (развития заболеваний органов кровообращения, нервной системы и органов слуха) предложено осуществлять с использованием показателя агрегированного риска по формуле (12).

**Электромагнитные поля.** Прежде оценки воздействия на человека электромагнитных полей (ЭМП) МР 2.1.10.0061-12 делит их на восемь частотных диапазонов: от сверхнизких НЧ (0–30 кГц) до крайне высоких КВЧ (30–300 ГГц). Далее в таблицах 2, 3 и Приложениях

2, 3 со ссылками на опубликованные работы приводятся сведения об обнаруженных их авторами негативных эффектах для здоровья людей при воздействии ЭМП различных частот, длительностей и интенсивностей<sup>28</sup>.

С учетом того обстоятельства, что на момент разработки методических рекомендаций считались доказанными лишь эффекты в отношении возникновения лейкозов у детей под воздействием ЭМП населенных мест и формирования опухолей головного мозга (менингиом, глиом) при длительном (более 10 лет) интенсивном (более одного часа в день) использовании сотовых телефонов, при оценке риска здоровью населения под влиянием ЭМП в качестве ущерба МР 2.1.10.0061-12 рассматривают именно эти три нозологические формы.

Аналогично транспортному шуму для оценки вероятности возникновения лейкозов, глиом и менингиом при длительном воздействии ЭМП предложено решать рекуррентные уравнения, основанные на пороговой модели:

а) вероятность заболевания глиомой (число случаев на 100 тыс. чел.):

$$P_{t+1}^G = P_t^G + \left[ \left( -2,43 \cdot 10^{-5} \cdot C_t^3 + 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot C_t^2 - 0,072 \cdot C_t + 0,48 \right) + 0,03 \cdot \left\langle \frac{I_t^H}{0,075} - 1 \right\rangle \right] \cdot C; \quad (17a)$$

б) вероятность заболевания менингиомой (число случаев на 100 тыс. чел.):

$$P_{t+1}^M = P_t^M + \left( 0,02 \cdot P_t^M + 6 \cdot 10^{-5} \cdot \left\langle \frac{I_t^H}{0,075} - 1 \right\rangle \right) \cdot C; \quad (17б)$$

в) вероятность заболевания лейкозом (число случаев на 100 тыс. чел.):

$$P_t^L = \left( -9,12 \cdot 10^{-7} \cdot C_t^4 + 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot C_t^3 - 9,2 \cdot 10^{-3} \cdot C_t^2 + 0,1 \cdot C_t + 2,8 \right) \cdot \left[ 1 + 0,075 \cdot e^{-0,035 \cdot C_t} \cdot \left( 0,2 \cdot \left\langle \frac{I_t^L}{0,1} - 1 \right\rangle + 1,5 \cdot \left\langle \frac{I_t^H}{0,075} - 1 \right\rangle \right) \right]; \quad (17в)$$

<sup>28</sup> МР 2.1.10.0061-12 Методические рекомендации «Оценка риска здоровью населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населенных мест».

где:

$P_{t+1}^a$  — вероятность заболевания ( $a = г, м, л$ ) для следующего момента времени (временного шага  $t+1$ );

$P_t^a$  — вероятность заболевания ( $a = г, м, л$ ) на предыдущем временном шаге (на момент времени  $t$ );

$P_t^г$  — вероятность заболевания глиомой, вызванного ЭМП, на момент времени  $t$ ;

$P_t^м$  — вероятность заболевания менингиомой, вызванного ЭМП, на момент времени  $t$ ;

$P_t^л$  — вероятность заболевания лейкозом, вызванного ЭМП, на момент времени  $t$ ;

$I_t^H$  — интенсивность высокочастотного электромагнитного излучения, Вт/м<sup>2</sup>, в исследуемый период времени  $t$ ;

$I_t^L$  — магнитная индукция низкочастотного ЭМП, мТл;

$C$  — эмпирический коэффициент, равный единице для временного шага — один год и 0,0833 для временного шага — один месяц.

В качестве ремарки отметим, что с физико-математической точки зрения уравнения (17а — 17в) оформлены не должным образом:

- толкование параметра  $C_t$  отсутствует;
- параметр  $I_t^H$  назван «напряженностью излучения» с нелепой размерностью  $т/м^2$ ;

• параметр  $I_t^L$  — «напряженностью низкочастотного излучения» с размерностью мТ, что, впрочем, неудивительно для санитарных врачей.

Далее, следуя предложенному алгоритму, для расчета риска заболевания населения учитываемыми тремя нозологическими формами, «с учетом их тяжести» предложены соотношения:

$$P_t^г = 0,98 \cdot P_t^г; \quad (18a)$$

$$P_t^м = 0,95 \cdot P_t^м; \quad (18б)$$

$$P_t^л = 0,95 \cdot P_t^л. \quad (18в)$$

Вызывает удивление, что формула, аналогичная (4), для оценки агрегированного риска здоровью населения, вызванного электромагнитной нагрузкой, в МР 2.1.10.0061-12 не приведена, что можно было бы ожидать с учетом (18а–18в).

При этом расчетные соотношения для суммирования ЭМП различных частот в МР 2.1.10.0061-12 имеются.

Итого, в целом оценка такой разновидности техногенного риска как методологически, так и методически

разработана относительно неплохо (за исключением лишь риска здоровью населения из-за загрязненности атмосферного воздуха неканцерогенами):

а) понятие риска здоровью населения достаточно полно определено;

б) предложены показатели для его количественной оценки;

в) рекомендованы математические модели, позволяющие выполнять количественные оценки (расчеты) величины количественных показателей;

г) в части анализа и количественной оценки неопределенности получаемых результатов проанализированные НД противоречивы: с одной стороны, в них подробно рассмотрены источники этой неопределенности, возникающие на разных этапах процедуры, а с другой — имеется ряд серьезных недостатков.

Рассмотрим их на примере Руководства по оценке риска:

- во-первых, принципиально неверно, что у неопределенности указана только эпистемическая ее составляющая (параметрическая, модельная, вычислительная). Объективная, стохастическая неопределенность (параметрическая) вынесена за скобки и названа вариабельностью;

- во-вторых, в качестве одного из источников эпистемической неопределенности (субъективного типа) рассматриваются ошибки (модели, расчетов и т.п.). Это тоже неверно, поскольку понятие ошибки подразумевает знание правильного значения. Следовательно, неопределенность в подобных случаях отсутствует;

- в-третьих, количественную оценку неопределенности Руководство по оценке риска рекомендует выполнять в вероятностной постановке, используя методы статистического моделирования (Монте-Карло). Однако это фактически нереализуемо, поскольку требует обладания информацией о законах распределения вероятности величины параметров. Произвольное же их задание лишь умножит неопределенность.

### 3.6. Экологический риск

Обратимся теперь к анализу методологической и методической составляющих последней разновидности техногенного риска — риска экологического. Следует с сожалением констатировать, что из шести анализируемых нами его разновидностей с этой точки зрения понятие экологического риска разработано наихудшим образом.

Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ экологическому риску дано следующее толкование: «...это

вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера»<sup>29</sup>. Очевидно, что оно не согласуется с международной трактовкой этого понятия, согласно которой экологический риск применяется для оценки негативного воздействия техносферы на объекты природной среды: из-за выбросов или сбросов в нее токсичных химических веществ или биологических агентов, размещения отходов, воздействия факторов физической природы (ионизирующих излучений, электромагнитных полей, тепловых потоков, виброакустических волн и т.п.) в повседневном штатном режиме ее функционирования. Иначе говоря, речь идет о хроническом долговременном воздействии с относительно небольшими интенсивностями. Воздействия же на компоненты природной среды экосистемы совершенно другого типа — кратковременные, с высокими интенсивностями, типичные для аварийных событий (или чрезвычайных ситуаций), принято оценивать рисками иного типа — аварийным или риском ЧС, учитывающими весь спектр причиняемого при этом ущерба, в том числе экологического.

Что касается документов, регламентирующих методы расчета экологического риска, приходится признавать, что в настоящее время в России вообще отсутствуют НПА, посвященные этому вопросу, если не считать постановление Правительства РФ<sup>30</sup>, в котором это понятие также не упоминается. При этом введено шесть категорий «риска причинения ущерба» от низкого до чрезвычайно высокого (имеется в виду ущерб окружающей природной среде).

Категория риска причинения ущерба присваивается поднадзорному предприятию-природопользователю с учетом его категории I–IV, назначенной согласно другому постановлению Правительства России<sup>31</sup>, и некоторых особых обстоятельств, таких как его расположение в особо охраняемой природной территории

<sup>29</sup> ФЗ РФ от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

<sup>30</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2021 № 1096 «О федеральном государственном экологическом контроле (надзоре)».

<sup>31</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

федерального значения, водоохранной зоне территориального моря и т.п. В свою очередь, категория предприятия-природопользователя присваивается ему на основании укрупненного признака — вида хозяйственной деятельности, и в некоторых случаях, объема используемого сырья или выпускаемой продукции. Главный недостаток подобного подхода состоит в том, что он:

- во-первых, не позволяет оценить фактическое воздействие, оказываемое этим объектом экологического надзора на природную среду и ее экосистемы;
- во-вторых, совершенно не стимулирует предприятия-природопользователи заниматься природоохранной деятельностью, поскольку предприятие не может изменить (понижить) присвоенную ему категорию риска.

Признанным мировым лидером в области анализа и оценки экологического риска является Агентство по охране окружающей среды США (US EPA). Деятельность по оценке рисков для природных объектов началась в США в 1970-е гг. XX века с принятием ряда важнейших федеральных законов: «О чистом воздухе» (1970); «О пестицидах, инсектицидах и т.п.» (1972); «О безопасности питьевой воды» (1974). На первоначальном этапе основным объектом изучения в области экологического риска были онкологические заболевания и прочие проблемы популяционного здоровья, вызываемые химическими веществами. Но постепенно фокус его внимания переместился на изучение распределения химических веществ в компонентах природной среды, путей их попадания в организм представителей биоты (особенно водной) и на учет факторов, влияющих на эти процессы.

Что касается России, то в настоящее время единственным отечественным нормативным документом в области анализа и оценки экологического риска является национальный стандарт ГОСТ Р 14.09-2005, разработанный на основе соответствующего Руководства US EPA. Под оценкой экологического риска стандарт подразумевает: «качественную и/или количественную оценку реальных или потенциальных воздействий загрязняющих веществ на растения и диких животных»<sup>32</sup>. При этом «воздействие» трактуется достаточно широко. В стандарте приведены примеры таких эффектов:

<sup>32</sup> ГОСТ Р 14.09-2005 «Экологический менеджмент. Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента».

- устойчивость водной экосистемы, включая композицию ее видов и трофическую структуру;

- достаточный рост и воспроизводство устойчивых популяций животных на участке и т.п., вызываемые «стрессором», под которым понимается «любой физический, химический или биологический объект, неблагоприятное воздействие которого на живой организм может вызвать нежелательный эффект».

При этом в стандарте описывается только воздействие токсичных для биоты химических веществ.

Важным понятием анализа и оценки экологического риска стандарт считает *концептуальную модель*, под которой он понимает математическую модель, объединяющую ряд рабочих гипотез о механизмах влияния стрессора на составляющие экосистемы исследуемого участка территории/акватории, включая такие аспекты, как:

- экологическое многообразие на участке;
- перечень учитываемых стрессоров (загрязняющих веществ) и их концентрации в компонентах природных сред на участке;

- механизмы поступления, распространения (рассеивания), деградации и поглощения загрязняющих веществ в атмосфере, воде и почве;

- механизмы экотоксичности стрессоров, в т.ч. пути их поступления в организм животных и/или растений;

- зависимости «воздействующий фактор — результат» (под которыми понимается широкий спектр эффектов, примеры которых приведены выше).

Приведенное описание состояния дел в области анализа и количественной оценки экологического риска показывает, что разработка их методологической и методической основы, особенно в части выполнения количественных оценок, в настоящее время находится лишь в самой зачаточной стадии, причем за рубежом.

Важным понятием анализа и оценки экологического риска стандарт считает *концептуальную модель*, под которой он понимает математическую модель, объединяющую ряд рабочих гипотез о механизмах влияния стрессора на составляющие экосистемы исследуемого участка территории/акватории, включая такие аспекты, как:

- экологическое многообразие на участке;

- перечень учитываемых стрессоров (загрязняющих веществ) и их концентрации в компонентах природных сред на участке;

- механизмы поступления, распространения (рассеивания), деградации и поглощения загрязняющих веществ в атмосфере, воде и почве;

- механизмы экотоксичности стрессоров, в т.ч. пути их поступления в организм животных и/или растений;

- зависимости «воздействующий фактор — результат» (под которыми понимается широкий спектр эффектов, примеры которых приведены выше).

Приведенное описание состояния дел в области анализа и количественной оценки экологического риска показывает, что разработка их методологической и методической основы, особенно в части выполнения количественных оценок, в настоящее время находится лишь в самой зачаточной стадии, причем за рубежом.

В качестве положительного момента можно указать на внимание, уделяемое методологией экологического риска проблеме неопределенности получаемых количественных оценок экологического риска. Хотя это касается исключительно качественного аспекта неопределенности — анализа ее источников (природы и происхождения неопределенности). Этот вопрос имеет достаточно давнюю историю. Еще в начале 1980-х гг. конгресс США поручил национальной академии наук проанализировать методологию экологического риска. Для решения поставленной задачи был создан специальный комитет US National Research Council (US NRC). После скрупулезного анализа состояния дел в своем первом отчете US NRC констатировал, что основным препятствием на пути дальнейшего развития методологии является нерешенность проблемы количественной оценки неопределенности, получаемой в рамках ее результатов<sup>33</sup>. Причем, по мнению членов комитета, описанная проблема не нашла своего решения и в течение последующих 26-ти лет, на что было указано в третьем его отчете<sup>34</sup>, датированном 2009 г.

<sup>33</sup> US National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington, D.C.: National Academy Press, 1983.

<sup>34</sup> US National Research Council. Science and decisions. Advanced risk assessment. Washington, D.C. : National Academy Press, 2009. 403 p.

Далее перейдем к оценке возможности причинения объектами техносферы ущерба (возможности наступления негативных последствий) людям, компонентам окружающей среды (включая биоту) и имуществу как в штатных, так и в нештатных условиях функционирования этих объектов.

#### 4. Способы оценки возможности наступления последствий (причинения ущерба)

В рамках риск-ориентированного подхода, когда речь идет о техногенном риске, последствия события принято оценивать именно величиной причиненного им ущерба. Результаты выполненного нами выше анализа методологических основ всех шести его разновидностей показывают, что в качестве меры возможности причинения ущерба большая их часть рассматривает *вероятность* этого события.

##### 4.1. Вероятность как мера возможности причинения ущерба

Несмотря на широкую популярность понятия *вероятность* в самых разных сферах общественной жизни (от бытового общения до квантовой механики), до исчерпывающего его понимания пока еще далеко. Можно выделить четыре трактовки вероятности, различающиеся в зависимости от области их применения:

- математическую (аксиоматическую);
- физическую;
- инженерную, экономическую;
- субъективную (бытовую).

*Математическая трактовка.* Как известно, наиболее совершенная на сегодняшний день аксиоматическая концепция вероятности принадлежит А.Н. Колмогорову [1]. Она рассматривает вероятность в качестве меры на множестве элементарных событий и в этой связи является понятием чисто математическим, которое де-факто очень часто трактуют как физико-математическое (естественно-научное), для чего достаточно принять, что при многократном повторении ( $N \rightarrow \infty$ ) опыта отношение  $m/N$  стремится к вероятности массового события, где  $m$  — число «благоприятных» исходов. Однако эта аксиома некорректна, поскольку:

- во-первых, она требует неявного домысливания, когда выборке событий (значений) всегда ограниченного объема придаются свойства генеральной совокупности [2];

- во-вторых, постулирование стремления дисперсии выборочного среднего к нулю по мере бесконечного увеличения объема выборки, как доказывает множество фактов, в реальном мире объектов техносферы не является обоснованным (об этом ниже).

Таким образом, в области техносферной безопасности и социально-экономических явлений, в инженерном деле, математическая трактовка вероятности неприменима.

*Физическая трактовка.* Как известно, основной задачей науки является получение априорного знания. В рамках классической физики (механики), фундамент которой был заложен И. Ньютоном, безальтернативным подходом к прогнозированию поведения объекта (определению его состояния в последующие моменты времени) долгое время являлся динамический (детерминистический).

Ситуация радикально изменилась в 1860 г., когда впервые Дж. Максвелл при выводе закона распределения молекул идеального газа по скоростям использовал вероятностный, статистический подход. Этот подход применим исключительно к массовым явлениям, поскольку описывает некоторые свойства особых объектов — ансамблей, состоящих из большого числа объектов типа одинаковых молекул идеального газа в некотором макрообъеме.

Как выяснилось, определенный профиль скоростей газовых молекул является константой для любого равновесного термодинамического состояния и очень быстро восстанавливается при любом его нарушении. Таким образом, распределение вероятности величины скорости в этом случае является необъяснимым эмерджентным свойством системы молекул идеального газа, количество которых имеет порядок числа Авогадро ( $10^{23}$ ).

Необъяснимость в данном случае не является чем-то необычным. По сути, все основные физические законы феноменологичны, на что впервые обратил внимание еще Эрнест Мах.

В последующем вероятностный подход в физике был развит Л. Больцманом и Дж. Гиббсом (считающимся создателем статистической физики). Согласно Больцману, вероятность пребывания термодинамической системы в состоянии с энергией  $E$ , Дж:

$$P \sim e^{-\frac{E}{kT}}, \quad (19)$$

где:

$k$  — постоянная Больцмана,  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$T$  — температура в системе, К.

Позже Больцман обосновал истолкование энтропии термодинамической системы как величины, пропорциональной логарифму вероятности ее состояния. Таким образом, в классической физике вероятностный подход позволяет описать и спрогнозировать некоторые свойства систем, состоящих из огромного числа идентичных микробъектов.

Некоторую модификацию понятие вероятности получило в рамках квантовой механики, в которой принято считать, что оно (точнее, плотность вероятности) применимо даже к отдельной микрочастице. Впрочем, здесь не будет противоречия со статистическим подходом, если рассматривать каждую такую частицу как систему, состоящую из большого числа частиц меньшего масштаба. Следует отметить, что среди физиков до настоящего времени не затихает дискуссия о природе вероятности в области квантово-механических явлений, т.е. явлений, масштаб которых по величине действия (произведение энергии на время) имеет порядок постоянной Планка:  $6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Подытоживая, мы видим, что физическая трактовка вероятности с достаточно высокой точностью позволяет описывать и прогнозировать некоторые свойства таких объектов, как ансамбли, состоящие из огромного числа идентичных частиц.

*Инженерная и экономическая трактовки.* Обе эти трактовки относятся к применению понятия вероятности к описанию и прогнозированию поведения реальных объектов техносферы и социума, существенно отличающихся своими свойствами от объектов, изучаемых физикой. Главное их отличие заключается в относительной уникальности каждого из них, делающей спорным применение к ним традиционных статистических подходов.

Использование здесь термина *инженерный* означает отсылку к инженерным методам расчета, отличающимся разумными упрощениями расчетной модели. Таковые упрощения позволяют с минимальными затратами вычислительных ресурсов получить приемлемую точность результата. Описанные нами в предыдущем разделе статьи методы оценки разновидностей техногенного риска, по сути, являются именно инженерными.

Автором инженерной, называемой также частотной трактовки вероятности считается Ричард фон Мизес, хотя схожие идеи нередко высказывались до него. Он полагал (первое издание книги вышло в 1928 г.), что

его толкование вероятности применимо для любых массовых явлений в термодинамике, генетике, страховании, теории азартных игр. Важнейшим понятием своей трактовки вероятности Р. фон Мизес назвал «коллектив» — результат многократного (в идеале — бесконечного) повторения опыта, а вероятностью — предел отношения  $m/N$ . Ключевой постулат трактовки вероятности Р. фон Мизесом — неограниченное стремление к нулю дисперсии относительной частоты  $m/N$ . Справедливость этого тезиса Р. фон Мизес доказывал, ссылаясь на многомиллионную статистику игорных домов Монте Карло [3]. Именно на этом тезисе традиционно построено изложение теории вероятности во всех учебниках.

Сделаем небольшое отступление. Теория вероятности в математической и частотной (инженерной) трактовках имеет дело со случайными массовыми событиями и процессами. При этом важно помнить, что трактовки случайного в математике и обыденной жизни (и техносферной безопасности) различаются. Если во втором случае случайными называют события с непредсказуемым исходом, то для математика случайным (синоним — стохастическим) является лишь то событие (число), которое подчиняется какому-либо распределению вероятности, — А. Н. Колмогоров: «математические объекты, не характеризующиеся вероятностью (не имеющие вероятностной меры), случайными не являются» [1]. В этой связи часто встречающиеся в техносфере недетерминированные, но не случайные события (числа) правильнее называть *неопределенными*.

Анализ показывает, что ключевой постулат частотной трактовки вероятности Р. фон Мизеса, по сути, эквивалентен существованию явления *статистической устойчивости* выборки, под которой обычно понимают стремление к нулю математического ожидания дисперсии выборочного среднего по мере неограниченного увеличения объема выборки.

И. Горбань уточняет, что на самом деле статистическая устойчивость выборки может быть определена по-разному: либо относительно ее среднего, либо среднеквадратического отклонения (СКО) [4]. Но это скорее математические нюансы.

Между тем важнейшим обстоятельством является то, что к настоящему времени накоплено достаточное количество фактов, позволяющих усомниться (в его точечной версии) в истинности ключевого

постулата (по сути, фундамента) частотной трактовки вероятности применительно к объектам и явлениям реального мира. Множество подобных фактов касательно выборок из различных областей науки и техники И. Горбань привел в своей монографии [4]. А. Вошинин в качестве возможных причин этого называет присутствие в них составляющих нестатистической природы, систематической погрешности, методических ошибок, ошибок округления и др. [5].

Указанное важное обстоятельство заставляет нас переосмыслить использование частотной трактовки вероятности как меры возможности причинения ущерба в рамках методологии анализа и оценки техногенного риска.

Для более адекватной оценки возможности реализации недетерминированных массовых событий реального мира, обладающих «ограниченной статистической устойчивостью», И. Горбанем разработана теория гиперслучайных чисел [4]. Согласно его толкованию, *гиперслучайная величина (процесс)* — это множество ансамблей случайных чисел (процессов)  $A$ , каждый из которых статистической устойчивостью обладает (а, следовательно, допускает частотную трактовку вероятности). Множество пределов относительных частот случайных чисел (процессов) этих ансамблей образует интервал между нижней  $\inf(P(A/g))$  и верхней  $\sup(P(A/g))$  границами (здесь  $g$  — условия проведения опыта).

Таким образом, И. Горбань, будучи физиком, видит основную причину ограниченной статистической устойчивости массовых объектов техносферы в изменениях (являющихся низкочастотным шумом) условий их функционирования. Он полагает, что «если зафиксировать условия  $g$ , гиперслучайные числа вырождаются в обычные случайные».

Однако применительно к процессам и явлениям, происходящим с массовыми объектами в техносфере, еще одной причиной ограниченной статистической устойчивости является значительный разброс их индивидуальных характеристик (даже таких однородных, на первый взгляд, как отрезки технологических трубопроводов). В этой связи, в отличие от молекул идеального газа, они образуют не единый статистический ансамбль (генеральную совокупность), а несколько субгенеральных совокупностей, элементы которых значительно ближе друг к другу по своим основным параметрам и/или условиям эксплуатации. И по этой причине частотные вероятности этих субгенеральных совокупностей

также образуют интервал: от  $\inf(P(A/f))$  до  $\sup(P(A/f))$  (здесь  $f$  — параметр, характеризующий совокупно их основные свойства и условия эксплуатации).

Не вдаваясь в анализ разброса  $f$ , можно учесть гиперслучайность  $A$  «по факту» (на основании анализа статистики событий) в интервальной постановке заданием параметров функций накопленной вероятности и плотности вероятности  $A$  вместо привычных скалярных интервальными числами (подробнее эта идея будет развита ниже).

*Субъективная трактовка вероятности.* На бытовом уровне понятие вероятность также используется, и довольно часто. Говорящий оценивает вероятность дождя или вероятность победы команды  $A$  над командой  $B$  и т.п. Ни одна из вышеописанных трактовок вероятности в таком случае непригодна, хотя бы потому, что ни о каких массовых событиях речь не идет. По сути, полуколичественно в баллах от 0 до 1, оценивается исключительно возможность реализации события. И это число является типичным результатом экспертной оценки.

История науки знает несколько попыток formalизовать методы интуитивной оценки индивидом субъективной вероятности любого события, наиболее известные из них принадлежат Л. Сэвиджу [6] и Бруно де Финетти [7]. В этой области принято говорить о вере индивида в реализацию события, подчеркивая иррациональные основания формирования им такой балльной оценки.

Разработанные для этой цели методы основаны на идее заключения условного пари, в котором индивид готов получить некоторую денежную сумму  $S$  при наступлении события  $E$  и выплатить сумму  $R$  в противном случае. В таком случае отношение  $R/(R + S)$  характеризует субъективную оценку индивидом вероятности события  $E$ .

В теории субъективной вероятности разработано несколько логических правил, накладывающих ряд ограничений на высказывания, с тем чтобы формируемые значения вероятности отвечали общим требованиям ее исчисления (в частности, чтобы сумма вероятностей полной группы событий не превышала единицы).

#### 4.2. Иные меры возможности причинения ущерба

*Частота (ожидаемая частота) событий.* Действующая в настоящее время методология анализа и количественной оценки некоторых разновидностей техногенного

риска предполагает при расчете их количественных показателей использование, наряду со значениями вероятности (условной вероятности) событий, значения средних частот их реализации в течение года.

С математической точки зрения использование понятия частоты без ряда явно сформулированных допущений для прогностических целей является ошибкой. Это обусловлено тем, что частота любого события — это всего лишь факт, зафиксированный в опыте для ограниченной группы объектов техносферы в течение оговоренного периода наблюдения. Если предположить, что данная целевая группа объектов принадлежит к одной генеральной совокупности, результаты экспериментов будут случайными числами, а если к разным генеральным совокупностям — гиперслучайными. Их статистическая обработка даст статистике — выборочное среднее, СКО и т.д. Математические правила оценки этих параметров для гиперслучайных чисел описаны в [4]. Представление всей совокупности этих параметров скалярным числом, как это делается в настоящее время, мягко говоря, некорректно.

Для того чтобы получить возможность прогнозирования на основании весьма ограниченной выборки значений частоты событий, полученных опытным путем, следует допустить, что:

- свойства наблюдаемой ограниченной группы объектов характерны для гораздо большей по объему группы объектов;
- эти свойства и условия эксплуатации объектов будут неизменными в течение неограниченного периода времени.

То есть, по сути, придать частоте события (значению, полученному в опыте) смысл вероятности как атрибутивного свойства данной группы объектов.

*Теория возможности.* Еще одной альтернативой понятию вероятности события является математическое понятие возможности в трактовке теории возможности, первая версия которой была предложена в 1978 г. Лотфи Заде в качестве одного из приложений своей теории нечетких множеств для оценки правдоподобности лингвистических переменных (экспертных суждений). В последующем усилиями ряда исследователей теория возможности получила свое дальнейшее развитие. Среди наиболее известных работ можно назвать монографию Д. Дюбуа и А. Прада [8], а также труды Ю. П. Пытьева, например [9].

Теория возможностей является построенной аксиоматически, аналогично математической версии — теорией вероятности. Она более приспособлена для оценки меры правдоподобности реализации массовых явлений, не обладающих статистической устойчивостью (гиперслучайных в трактовке И. Горбаня), т.е. событий с большей неопределенностью. В отличие от классической теории вероятности, в которой мерой правдоподобия реализации события  $A$  является точечное скалярное число  $P(A)$  его вероятности, в теории возможности для этой цели используется два понятия: *возможность* события  $Pos(A)$  и его *необходимость*  $Nec(A)$ , причем:

$$Nec(A) = 1 - Pos(\bar{A}). \quad (20)$$

#### **4.3. Оценка возможности причинения ущерба с использованием интервальной вероятности**

Как было установлено ранее, из-за своих индивидуальных различий массовые объекты реальной техносферы в большей части случаев не относятся к одной генеральной совокупности и потому не обладают статистической устойчивостью. Однако эту генеральную совокупность можно представить состоящей из бесконечного числа субгенеральных совокупностей, состоящих из практически идентичных массовых объектов (без индивидуальных различий), отличающихся от объектов соседней субгенеральной совокупности на бесконечно малую величину. При этом диапазон индивидуальных отличий является не только конечным, но и относительно небольшим, иначе идентификация этого массового объекта стала бы невозможной.

В таком случае можно полагать, что эти вновь образованные субгенеральные совокупности обладают статистической устойчивостью, а следовательно, пределу относительной частоты любого события для них в частотной трактовке может быть придан смысл его вероятности. По условию формирования субгенеральных совокупностей пределы относительных частот любого события для них образуют некоторый ограниченный интервал — отрезок числовой оси.

Если либо дедуктивно (на основании некоторых общих соображений), либо индуктивно (обработкой выборки статистическими методами) удастся обосновать справедливость для генеральной совокупности того или иного распределения вероятности, станет

возможным получение выгод, предоставляемых теорией вероятности:

- прогнозирование вероятности событий и их функций;
- вычисление статистик (статистических моментов);
- другое.

Отличие от классической теории вероятности будет заключаться в том, что параметры этих распределений (плотности вероятности, функции накопленной вероятности и иных) будут заданы не привычными точечными, а интервальными числами.

Проиллюстрируем сказанное на простейшем примере однопараметрического экспоненциального распределения (наиболее популярного в теории надежности технических систем), пригодного для так называемой «рабочей фазы» жизненного цикла ее элемента, для которой характерно постоянство величины интенсивности отказов. Вероятность отказа  $P(t)$ , год<sup>-1</sup>, элемента технической системы при наработке  $t$ , ч, задается в данном случае соотношением:

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, \quad (21)$$

где:

$\lambda$  — интенсивность отказа элемента, ч<sup>-1</sup>.

Задав интенсивность отказа  $\lambda$  интервальным числом  $\lambda \in [3,2 \cdot 10^{-6}, 7,5 \cdot 10^{-6}]$  ч<sup>-1</sup>, получим прогноз вероятности отказа  $F(t)$  элемента при наработке  $t = 7300$  ч/год, она прогнозируется на основании (21) интервальным числом  $F(7300) \in [0,023; 0,053]$ .

## 5. Методологические проблемы оценки величины последствий (ущерб)

Для первых трех рассматриваемых в этой статье разновидностей техногенного риска последствия (ущерб) в общем случае наиболее полны, поскольку могут включать в себя причинение ущерба людям, имуществу и окружающей среде (с учетом ущерба биоте), или, иначе говоря, иметь три составляющие:

- 1) гуманитарную (причинение вреда жизни и здоровью людей);
- 2) экологическую (загрязнение компонентов природной среды, ущерб биоте);
- 3) материальную (причинение вреда имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу).

При этом количественная оценка гуманитарного компонента полного ущерба должна учитывать разные степени поражения людей — от причинения легких травм до летального исхода.

Для трех остальных разновидностей техногенного риска (профессионального, ущерба здоровью населения и экологического) последствия негативного события сводятся к одному из указанных трех компонентов полного ущерба.

Между тем, с методологической точки зрения в действующих подходах к исчислению величины полного ущерба при количественной оценке техногенного риска имеется немало нерешенных проблем. Это касается всех шести его разновидностей.

Главная из них заключается в том, что названные три составляющие полного ущерба не обладают аддитивностью (их нельзя складывать), поскольку НПА допускают различную их размерность, например:

а) гуманитарный ущерб предлагается оценивать прогнозируемым (или фактическим) числом погибших. Причем все сводится только к погибшим именно потому, что не получается суммировать число погибших с числом раненых (травмированных);

б) экологическую компоненту полного ущерба при ЧС отдельные методические документы предлагают оценивать площадью пораженной территории в км<sup>2</sup>, или массой поступивших в окружающую среду загрязняющих веществ, т;

в) ущерб при оценке профессионального риска:

- общей длительностью временной нетрудоспособности (ВУТ), сут.;
- сокращением ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ), год;
- нарушением функционального состояния организма.

Решение данной ключевой проблемы оценки полного ущерба заключается в достижении консенсуса относительно того, что все его компоненты должны быть монетизированы, т.е. выражены в денежном эквиваленте. В части экологической компоненты полного ущерба при ЧС, авариях и пожарах этот вопрос на сегодняшний день решен. Имеются соответствующие апробированные подходы и утвержденные методики. Самое сложное — это найти консенсус в профессиональном сообществе касательно оценки стоимости человеческой жизни. Если бы это удалось сделать на уровне российского законодателя (Федерального

собрания), дальнейшее значительно упростилось бы. Так, располагая легальной величиной стоимости жизни среднестатистического человека (СЖСЧ), без труда можно получить денежный эквивалент любой травмы. Это можно сделать, например, на основании механизма, утвержденного постановлением Правительства РФ, которым фактически определена степень утраты здоровья (и величины страховой выплаты), процентов, при получении работником любой травмы (перечень учитываемых видов травм занимает в постановлении Правительства РФ 19 страниц!)<sup>35</sup>.

Альтернативный способ экономической оценки гуманитарного ущерба разработан Роспотребнадзором в 2011 г. применительно к оценке риска ущерба здоровью<sup>36</sup>. Такой подход заключается в использовании показателя *цена риска потери здоровья* человеком *i*-ой возрастной группы населения из-за *j*-го вида заболевания или смерти. Этот показатель дифференцирован для пяти возрастных групп и учитывает две составляющие — объективную и субъективную. Объективная составляющая включает оценку:

- расходов на все виды лечения;
- расходов из фонда социального страхования;
- потери налоговых отчислений в бюджет и внебюджетные фонды;
- расходов на приобретение медицинских товаров и услуг (по-видимому, на стадии реабилитации);
- прочих расходов (не расшифровано).

Субъективная компонента цены риска призвана учесть субъективный дискомфорт индивида, интересы его близких и родственников. Задумано верно, но это скорее лишь пожелание, поскольку корректная, с относительно небольшой неопределенностью, оценка субъективной компоненты цены риска едва ли возможна.

Практика доказала нежизнеспособность предложенного подхода. Чтобы сделать эту схему работоспособной, необходимы объемные справочные материалы значений цены риска по всем заболеваниям,

<sup>35</sup> Постановление Правительства РФ от 15.11.2012 № 1164 «Об утверждении Правил расчета суммы страхового возмещения при причинении вреда здоровью потерпевшего» (с изменениями и дополнениями) в редакции постановления Правительства РФ от 21.02.2015 № 150 с учетом решения Верховного Суда РФ от 12.07.2022 № АКПИ22-254.

<sup>36</sup> МР 5.1.0029-11 Методические рекомендации к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания.

дифференцированные не только по пяти возрастным группам, но и по всем субъектам России, поскольку межрегиональные различия очевидны, к тому же требующие ежегодной индексации для учета инфляции.

Второй серьезной методологической проблемой оценки полного ущерба негативного техногенного события (ЧС, взрыва/пожара) является отсутствие четкого перечня объектов, причиняемый ущерб которым подлежит учету. Нередко НПА и НД в преамбуле приводят довольно широкий перечень таких объектов. Например, Руководство по безопасности основной целью анализа риска аварий называет «установление степени аварийной опасности ОПО и/или его составных частей для заблаговременного предупреждения угроз причинения вреда жизни, здоровью людей, вреда животным, растениям, окружающей среде, безопасности государства, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу»<sup>37</sup>. Таким образом, полный ущерб от аварии, по версии этого НД, наряду с тремя вышеназванными составляющими, должен содержать еще оценку ущерба (вреда):

- а) безопасности государства;
- б) причинения вреда жизни и здоровью биоты (флоре и фауне);
- в) имущественным интересам владельца ОПО и третьих лиц.

Не отрицая правильности их учета в принципе, следует четко признать, что поскольку в настоящее время *методы* экономической оценки названных видов ущерба отсутствуют, они не должны входить в число учитываемых. Их следует вынести на перспективу, только когда такая возможность появится в будущем.

Касательно оценки величины последствий имеется и ряд более частных проблем.

## Заключение

Как показано в статье, с методологической точки зрения к настоящему времени разновидности техногенного риска в России разработаны неодинаково. В лидерах риски — пожарный и аварийный, а замыкает список риск экологический (несмотря на свою солидную историю). Однако и у ведущих его разновидностей

<sup>37</sup> Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387.

немало методологических проблем, касающихся как количественной оценки возможности наступления нежелательного события, так и оценки величины его последствий.

Из всего спектра альтернатив для оценки возможности событий автором предложено использование интервальной вероятности — способа, наиболее адекватного объектам реальной техносферы. Это позволит, в том числе, явно выразить и, что еще важнее, количественно оценить неопределенность, являющуюся атрибутом (неотъемлемым свойством) любых количественных оценок, в том числе показателей техногенного риска. В этом случае неопределенность количественно будет характеризоваться шириной интервального числа.

Подытоживая, следует заключить, что для успешной реализации риск-ориентированного подхода в области техносферной безопасности требуется серьезное совершенствование его методологических основ.

## Список источников [References]

1. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей. М.-Л.: ОНТИ, 1936. 80 с. [Kolmogorov A. N. Basic concepts of probability theory. M.-L.: ONTI, 1936. 80 p. (In Russ.)]
2. Алимов Ю. И., Кравцов Ю. А. Является ли вероятность «нормальной» физической величиной? // Успехи физических наук. 1992. Т. 162. № 7. С. 149–182 [Alimov Yu. I., Kravtsov Yu. A. Is probability a “normal” physical quantity? // Successes of physical sciences. 1992;162(7):149–182. (In Russ.)]
3. Richard Von Mises Probability, Statistics and Truth 2<sup>nd</sup> ed. Dover Publications, Inc. New York, 1957. 257 p.
4. Горбань И. И. Случайность и гиперслучайность К.: Наукова думка, 2016. 291 с. [Gorban I. I. Randomness and hyper-randomness K.: Naukova Duma, 2016. 291 p. (In Russ.)]
5. Вошинин А. П. Интервальный анализ данных: развитие и перспективы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2002. Т. 68. № 10. С. 118–126 [Voshchinin A. P. Interval data analysis: development and prospects // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics. 2002;68(10):118–126. (In Russ.)]
6. Savage Leonard J. The Foundations of Statistics. New York, Wiley, 1954. 294 p.
7. De Finetti, Bruno Theory of probability. A critical introductory treatment. Chichester, John Wiley and Sons. 1979. 605 p.
8. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад; ред. пер. Орловский С. А.; пер. с фр. Тарасов В. Б. М.: Радио и связь. 1990. 286 с. ISBN 5-256-00184-1 [Dubois D., Prad A. Theory of possibilities. Applications to the representation of knowledge in computer science / D. Dubois, A. Prad; ed. trans. Orlovsky S. A.; trans. from fr. Tarasov V. B. M.: Radio and communications. 1990. 286 c. ISBN 5-256-00184-1]
9. Пытьев Ю. П. Возможность как альтернатива вероятности. Математические и эмпирические основы, применение / монограф. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 464 с. [Pyatiev Y. P. Possibility as an alternative to probability. Mathematical and empirical foundations, application / monograph. M.: FIZMATLIT, 2007. 464 p. (In Russ.)]

## Сведения об авторе

**Колесников Евгений Юрьевич:** доктор технических наук, профессор высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), доцент  
 Количество публикаций: более 110  
 Область научных интересов: анализ и количественная оценка неопределенности параметров техногенного риска  
 Scopus Author ID: 57212259662  
 ORCID: 0000-0003-0833-6863  
 SPIN-код: 9473–1733  
 Контактная информация:  
 Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29  
 e.konik@list.ru

Статья поступила в редакцию: 15.04.2024

После доработки: 11.10.2024

Одобрена после рецензирования: 15.10.2024

Принята к публикации: 18.10.2024

Дата публикации: 27.12.2024

The article was submitted: 15.04.2024

Received after reworking: 11.10.2024

Approved after reviewing: 15.10.2024

Accepted for publication: 18.10.2024

Date of publication: 27.12.2024

УДК 336.64, 338.27  
Научная специальность: 5.2.4

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Моделирование и прогнозирование рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия

**Каранина Е.В.\***,

Вятский государственный  
университет,  
610000, Россия, г. Киров,  
ул. Московская, 36

**Ерешко Ф.И.**,

Федеральный  
исследовательский центр  
«Информатика и управление»  
РАН,  
119333, Россия, г. Москва,  
ул. Вавилова, д. 44, корп. 2

## Аннотация

В статье уделено внимание теоретико-методологическим подходам к оценке и прогнозированию рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Проанализированы модели аналитической теории и практики, приводимые в работах различных авторов, в том числе авторов представленной статьи.

Предложен авторский подход к расчету прогноза рисков предприятия на основе экономико-математической модели.

Авторский подход предполагает оценку и прогностическое моделирование рисков на основе комплекса ключевых индикаторов финансово-хозяйственной деятельности в рамках базовой модели предприятия с набором устойчивых индикаторов в системе составляющих материального (производственного и кадрового состояния) и финансового (финансового состояния) блоков. Прогностическое моделирование строится на текущих формулах оценки ключевых рисков и в этом исследовании раскрыто на примере комплекса ключевых показателей финансового блока.

**Ключевые слова:** финансово-хозяйственная деятельность предприятия; базовая модель предприятия; материальный блок; финансовый блок; прогностическое моделирование; показатели финансового состояния.

**Для цитирования:** Каранина Е.В., Ерешко Ф.И. Моделирование и прогнозирование рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 66–80.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Modeling and Forecasting of Risks of Financial and Economic Activities of the Enterprise

**Elena V. Karanina\***,

Vyatka State University,  
Moskovskaya str., 36, Kirov,  
610000, Russia

**Felix I. Ereshko,**

Federal Research Center  
«Informatics and Management»  
RAS,  
Vavilov str., 44, bldg. 2, Moscow,  
119333, Russia

## Abstract

The article pays attention to theoretical and methodological approaches to assessing and predicting the risks of financial and economic activities of the enterprise. Models of analytical theory and practice cited in the works of various authors, including the authors of the presented article, are analyzed.

The author's approach to calculation of enterprise risk forecast on the basis of economic and mathematical model is offered.

The author's approach involves assessment and predictive risk modeling based on a set of key indicators of financial and economic activities within the framework of the basic model of the enterprise with a set of stable indicators in the system of components of the material block (production and personnel condition) and the financial block (financial condition). Predictive modeling is based on current formulas for assessing key risks, and in this study it is disclosed using the example of a set of key indicators of the financial unit.

**Keywords:** risks of financial and economic activities of the enterprise, basic model of the enterprise, material block, financial block, predictive modeling, indicators of financial condition.

**For citation:** Karanina E.V., Ereshko F.I. Modeling and forecasting of risks of financial and economic activities of the enterprise // *Issues of Risk Analysis*. 2024;21(6):66-80. (In Russ.).

**The authors declares no conflict of interest.**

## Содержание

Введение

1. Теоретико-методические аспекты идентификации, моделирования и прогнозирования рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия

2. Оценка и прогнозирование рисков на основе базовой модели предприятия

Заключение

Список источников

## Введение

Уровень эффективности финансово-хозяйственной деятельности предприятия во многом зависит от стратегии финансового менеджмента, при построении которой модели прогнозирования занимают одну из ведущих позиций. Если предприятие полагается только на осуществление деятельности в режиме реального времени, то его риски многократно возрастают. Но если предприятие полагается на финансовое планирование и прогнозирование, то такой подход позволит предугадать любые негативные экономические события и стабилизировать финансовое состояние на рынке с минимальными потерями. При этом, ориентируясь при прогнозировании на множество индикаторов, встраиваемых в сценарные и имитационные модели развития в условиях нестабильной экономической среды, можно учесть изменения и факторные влияния в рамках целого комплекса параметров, выявляя наиболее чувствительные и вариабельные.

Процесс моделирования и прогнозирования рисков нацелен на управление потенциальными последствиями хозяйственных решений компании. Моделирование позволяет оценить варианты решений, исследовать каждую альтернативу и сделать выбор в пользу наилучшего решения. А прогноз финансовых рисков определяет угрозы, которые предприятие могло бы получить в результате решения с учетом утраты финансов предприятия.

В работе предлагается сочетание экспертных экономических оценок и расчетов по динамическим моделям развития предприятий. Комплексный подход предполагает оценку и прогностическое моделирование рисков на основе комплекса ключевых индикаторов, ведь рисков огромное множество. Но оптимальным будет подход учета рисков финансово-хозяйственной

деятельности в рамках базовой модели предприятия с набором устойчивых индикаторов в системе составляющих материального (производственного и кадрового состояния) и финансового (финансового состояния) блока. Прогностическое моделирование строится на текущих формулах оценки ключевых рисков и в этом исследовании будет раскрыто на примере комплекса ключевых показателей финансового блока.

## 1. Теоретико-методические аспекты идентификации, моделирования и прогнозирования рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия

Рассмотрим сущность управления рисками финансово-хозяйственной деятельности предприятия, по мнению некоторых авторов, где моделирование и прогнозирование играют важную роль.

Исходя из сущности управления рисками, можно сделать вывод о том, что снижение любого вида опасности требует прогноза для поддержания стабильного финансового положения компании. Руководству компании необходимо четко представлять, как оценить экономическое состояние предприятия на рынке в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

Важно определить, что моделирование и прогнозирование рисков в деятельности предприятия должны проводиться систематически. А основным предметом изучения будут считаться производственные процессы, финансовые операции и финансовые результаты за определенный период времени. Но некоторые авторы все-таки выделяют предметом исследования в риск-менеджменте именно категорию «риск», что позволяет определить необходимость оценки и прогнозирования не всего комплекса производственно-финансовых

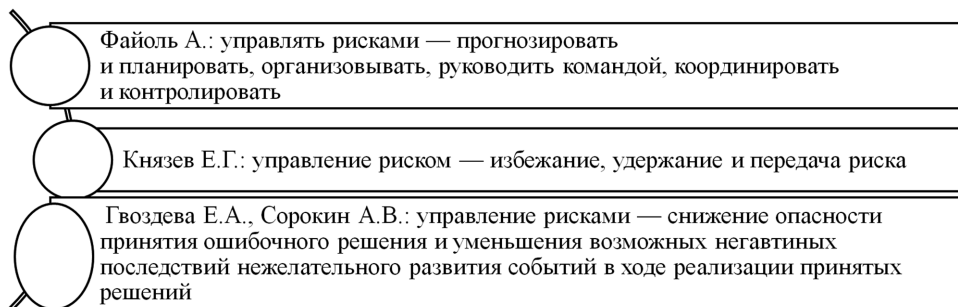


Рис. 1. Сущность управления рисками [13–15]

Figure 1. Essence of risk management [13–15]

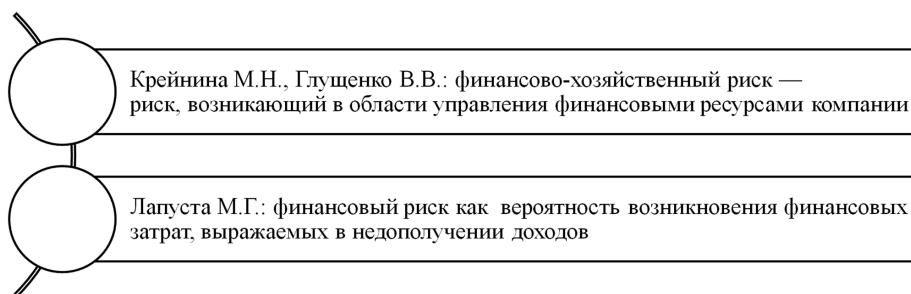


Рис. 2. Сущность финансово-хозяйственного риска [6, 7]

Figure 2. Nature of financial and economic risk [6, 7]

показателей, оцениваемых на основе финансовой и управленческой отчетности, объем которых весьма существен (более 300), а только ключевых параметров, определяющих уровень производственных и финансовых рисков.

При этом стандарт управления рисками рассматривает риск в первую очередь как комбинацию вероятности события и его последствий<sup>1</sup>. Таким образом, чтобы проанализировать финансовый риск необходимо знать, в какой момент и каким образом он себя проявит. С учетом необходимости перспективного восприятия и вероятностной природы рисков необходимо рассматривать прогнозирование рисков финансово-хозяйственной деятельности предприятия как ведущий и неотъемлемый компонент стратегического управления и аналитической деятельности экономических подразделений и риск-менеджеров.

Как известно, для оценки финансовых рисков предприятия могут использовать некоторые экономические модели прогнозирования вероятности несостоятельности (см. табл. 1). Все эти модели характеризуют финансовые возможности в деятельности предприятия. То есть моделирование финансово-хозяйственных рисков предприятия описывает такие результаты деятельности за определенный промежуток времени в процессе использования активов и пассивов, как ликвидность, рентабельность, уровень оборачиваемости и т.д.

В том случае, если предприятие имеет низкий уровень риска банкротства, то оно способно осуществлять любые операции на финансовом рынке и отвечать по своим обязательствам в полном объеме.

Необходимо учитывать, что прогнозирование составляет фундаментальную основу деятельности всех

хозяйствующих субъектов [13]. При этом все чаще предприятия прогнозируют те риски, которые казались в недавнем прошлом незначительными.

С одной стороны, предприятие может осуществлять свою деятельность полноценно, расплачиваться по всем обязательствам, включая кредиторскую задолженность и оплату труда персонала. Но, с другой стороны, финансовое положение такой организации может быть подвержено риску снижения платежеспособности. Поэтому предприятия в современных условиях стремятся своевременно выявлять незначительные изменения в своей деятельности в условиях высокой прибыли и стабильного производства.

Первым этапом в проведении моделирования и прогнозирования финансовых рисков предприятия является их идентификация, а также определение вида риска с учетом классификационных признаков, сферы и направлений деятельности.

В зависимости от вида деятельности предприятия можно с точностью определить, какие финансовые риски могут возникнуть. Основные финансовые риски можно представить следующим образом:

- риск неплатежеспособности возникает в том случае, когда организация несбалансированно ведет учет оборотных активов;
- риск снижения финансовой устойчивости может стать следствием предыдущего риска, когда нарушается равновесие между собственными и заемными средствами;
- риск банкротства, который может привести к потере капитала предприятия. Риск характеризуется реальным шансом, что капитал сможет покрыть или не покрыть недостаток финансирования от работы предприятия. При этом банкротство следует также понимать, как неспособность юридического лица

<sup>1</sup> ISO 31000:2018, Risk management — Guidelines, IDT.

**Таблица 1. Модели прогнозирования вероятности банкротства**

*Table 1. Bankruptcy probability prediction models*

Наименование модели	Расчетная формула	Характеристика модели
Модель Альтмана двухфакторная	$Z = -0,3877 - 1,0736 * X1 + 0,0579 * X2$ , где: T1 = Оборотные активы / краткосрочные обязательства; T2 = Обязательства / Собственный капитал	менее 0 – вероятность банкротства меньше 50%; больше 0 – вероятность больше 50%; равно 0 – вероятность банкротства равна 50%
Модель Альтмана пятифакторная	$Z = 1,2 * T1 + 1,4 * T2 + 3,3 * T3 + 0,6 * T4 + T5$ , где: T1 = Оборотный капитал / Активы; T2 = Нераспределенная прибыль / Активы; T3 = EBIT / Активы; T4 = Собственный капитал / Обязательства; T5 = Выручка / Активы	1,8 и менее – «Красная» зона, существует вероятность банкротства предприятия; от 1,8 до 2,9 – «Серая» зона, пограничное состояние, вероятность банкротства невысока, но не исключается; 2,9 и более – «Зеленая» зона, низкая вероятность банкротства
Модель Р. Таффлера	$Z = 0,53 * K1 + 0,13 * K2 + 0,18 * K3 + 0,16 * K4$ , где: K1 – показатель рентабельности предприятия (прибыль до уплаты налога/текущие обязательства); K2 – показатель состояния оборотного капитала (текущие активы/общая сумма обязательств); K3 – финансовый риск предприятия (долгосрочные обязательства/общая сумма активов); K4 – коэффициент ликвидности (выручка от продаж/сумма активов)	менее 0,2 – высокий риск; от 0,2 до 0,3 – умеренный риск; более 0,3 – низкий риск
Модель Р. Лиса	$Z = 0,063 * K1 + 0,092 * K2 + 0,057 * K3 + 0,001 * K4$ , где: K1 – оборотный капитал/сумма активов; K2 – прибыль от реализации / сумма активов; K3 – нераспределенная прибыль / сумма активов; K4 – собственный капитал / заемный капитал	менее 0,37 – высокий риск; более 0,37 – низкий риск

выполнять финансовые обязательства, определенные в контексте его деятельности в течение периода, превышающего три месяца.

Кроме того, Я. В. Ситникова определяет финансовые риски и их последствия по следующей классификации (см. табл. 2).

В условиях активного применения цифровых технологий в аналитической деятельности предприятия для целей анализа рисков используют некоторые программные комплексы: Project Expert, Альт-Инвест, Мастер проектов, Воронов&Максимов, Инвестор 3.0, ТЭО-ИНВЕСТ и т.д. (см. табл. 3).

При этом процесс моделирования финансовых рисков сопровождается рядом проблем аналитического плана и требует учета некоторых принципов.

Любая модель для оценки финансовых рисков должна основываться на достоверных и точных данных. Также может проводиться процедура верификации, если моделирование выполняется в условиях отсутствия достоверной информации.

Верификация модели — это оценка достаточной полноты функциональности, точности и достоверности модели с использованием всей доступной информации в тех случаях, когда проверка адекватности невозможна [11]. Роль верификации состоит в том, чтобы удостовериться в точных результатах, так как без верификации представленная модель может быть бесполезной, давать неточные прогнозы и приводить к неправильным управленческим решениям. Осуществить верификацию можно на отчетности прошлого года или исторических данных.

Некоторые авторы определяют негативные последствия финансовых рисков как стоимость риска. Ведь после того, как было проведено моделирование и прогнозирование финансовых рисков, происходит согласование стоимости рисков с руководителями предприятия. Так стоимость риска распределяют по оптимальному ранжированию. Для этого предприятие может создавать разного рода комиссии, которые будут включать генерального директора предприятия, его

**Таблица 2. Финансовые риски и их проявление [10]**

Table 2. Financial risks and their manifestation [10]

Финансовый риск	Проявление финансового риска
Инвестиционный	Потеря привлекательности инвестиционного проекта
Процентный	Изменение процентной ставки по кредиту. Изменение процентной ставки по депозитному вкладу
Валютный	Изменение обменного курса иностранной валюты: а) при экспорте товаров и услуг; б) при условии оплаты товаров и услуг в иностранной валюте; в) при изменении валютных курсов на валютном рынке FOREX
Кредитный	Невозможность оплатить кредит и проценты по нему в срок и в полном объеме. Несвоевременная и (или) неполная оплата готовой продукции, отпущенной предприятием в кредит
Депозитный	Неправильный выбор коммерческого банка или угроза дефолта: а) невозврат депозитных вкладов в намеченный договором срок или в полном объеме; б) непогашение депозитных сертификатов
Налоговый	Вероятность введения новых налогов и сборов. Увеличение уровня ставок по существующим налогам и сборам. Изменение сроков и условий осуществления налоговых платежей. Отмена льгот по налогам и сборам. Вероятность отмены налогов и сборов. Уменьшение размеров ставок по налогам и сборам
Инфляционный	Обесценивание реальной стоимости капитала, а также ожидаемых доходов или прибыли в результате инфляционных процессов
Биржевой	Возможность потери активов или денежных средств: а) при неблагоприятном курсе ценных бумаг или валютном курсе; б) при осуществлении маржинальной торговли на рынке ценных бумаг

**Таблица 3. Программные комплексы для моделирования и прогнозирования финансовых рисков [9]**

Table 3. Software packages for modeling and forecasting financial risks [9]

Программное обеспечение	Характеристика
Project Expert	Формирует и прогнозирует финансовую и управленческую отчетность для предприятия; рассчитывает показатели эффективности и финансовые показатели; позволяет разработать качественный бизнес-план
Альт-Инвест	Осуществляет анализ финансовой состоятельности, экономической эффективности любых инвестиционных проектов
ТЭО-ИНВЕСТ	Осуществляет финансовое планирование и анализ эффективности любых проектов на базе имитационной модели денежных потоков

руководителей, главного бухгалтера и риск-менеджера. Стоимость риска в процессе его моделирования и прогнозирования должна иметь сравнительную величину, как, например, расходы на проведение мер по их управлению.

Финансовые риски, связанные с внедрением важных изменений, необходимо оценивать перед формированием плана проекта, включающего бюджет и подробное описание технической реализации. Подобными рисками могут быть риски, связанные с реализацией крупных инвестиционных проектов, покупкой (продажей) бизнеса или серьезными технологическими изменениями [8].

## 2. Оценка и прогнозирование рисков на основе базовой модели предприятия

Разные авторы характеризуют методы и подходы моделирования и прогнозирования финансовых рисков в зависимости от цели и стратегии предприятия. В общем виде могут выступать методы: статистический; экспертный; имитационного моделирования, методы анализа чувствительности. Поэтому рассмотрим, как в современных условиях научные деятели способны оценивать финансовые риски.

Н. Е. Терентьев использует такой метод оценки финансового риска как имитационное моделирование.

Применение имитационного моделирования позволяет обеспечить реализацию другого базового принципа системного подхода — рассмотрения всего пространства возможных, по мнению экспертов, вариантов, что открывает путь для вероятностного описания результирующих денежных потоков модели. В процессе моделирования следует учитывать лишь статистически значимые варианты (имеющие вероятность возникновения больше, например, 0,01%), определяя их оптимальное число на основе алгоритмов анализа сходимости. Такой анализ дает возможность выявлять периоды, в которых результирующий денежный поток компании является стабильным, а также периоды его падения и подъема. Кроме того у компании появляется реальный шанс рассчитать величину риска, которая в этом случае определяется как интегральная вероятность того, что значение результирующего денежного потока выйдет из области допустимых значений (например, станет отрицательным) [12].

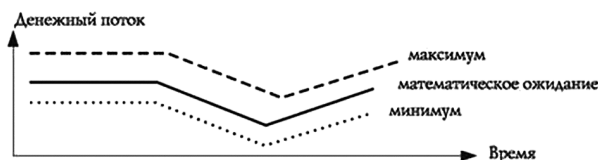


Рис. 3. Моделирование денежного потока

Figure 3. Cash flow simulation

Такой подход позволяет анализировать денежные потоки с помощью огромных массивов данных компании для принятия стратегического решения. При этом важно в процессе использования такой модели обращать внимание на уровень подготовки кадров организации. Иногда кадры определяют потенциал компании, а значит это требует постоянного инвестирования в повышение квалификации персонала.

Н. Е. Бойко и Е. А. Калинина предлагают использовать методы экспресс-диагностики для прогнозирования вероятности банкротства предприятия. По мнению вышепредставленных научных деятелей, риски являются неотъемлемой составляющей в финансовой деятельности организации, а значит могут стать основанием для принятия управленческих решений. Поэтому авторы используют в основе своих работ модели российского прогнозирования банкротства [1]. Именно такими моделями учитывают особенности российского бизнеса, в отличие от моделей зарубежных авторов (Э. Альтман, Р. Лис и др.).

Экспресс-модель прогнозирования вероятности банкротства Н. Е. Бойко и Е. А. Калининой включает в себя следующие показатели:

- коэффициент долгосрочного финансирования;
- коэффициент комплексной оценки;
- коэффициент срочной ликвидности;
- коэффициент финансирования.

Для обеспечения наглядности рекомендуемой модели предлагается использовать ее графическую интерпретацию, откладывая значения показателей, характеризующих финансовую устойчивость предприятия по вертикальной оси, а значения показателей, характеризующие платежеспособность предприятия, по горизонтальной оси [1]. Поэтому модель прогнозирования банкротства имеет фигуру ромба. А за критерий нормативного значения отвечает площадь ромба, рассчитанная по формуле:

$$S = \frac{(K1 + K2) * (K3 + K4)}{2},$$

где:

- K1 — коэффициент долгосрочного финансирования;
- K2 — коэффициент финансирования;
- K3 — коэффициент комплексной оценки;
- K4 — коэффициент срочной ликвидности.

В процессе расчетов четырех показателей по исходным четырем точкам строится фигура. Любые ее отклонения от нормативного значения можно считать риском финансовой устойчивости организации.

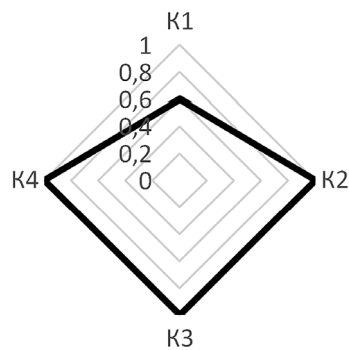


Рис. 4. Экспресс-модель прогнозирования вероятности банкротства

Figure 4. Express model for predicting bankruptcy probability

Также авторы этой модели предлагают использовать ее на протяжении некоторого периода времени, чтобы убедиться в достоверности модели и увидеть

негативные тенденции в деятельности организации. Кроме того, ключевыми преимуществами методики экспресс-диагностики банкротства являются: простота расчета, который позволяет быстро оценить финансовое состояние предприятия; наглядность, которая позволяет оперативно выявлять «узкие места» в деятельности предприятия, а также равновесный подход к оценке финансовой устойчивости и платежеспособности [1].

В работах автора статьи рекомендуется оценивать комплексный финансовый риск на основе ряда ключевых параметров рисков финансового состояния и структуры капитала (см. табл. 4) [4].

При расчете комплексного финансового риска используются специальные формулы для расчета показателей, которые можно представить (см. табл. 5). Важную роль играет оценка эффекта финансового рычага, так как этот показатель позволяет оценить реальный уровень рентабельности организации и ее устойчивость, то есть комплексно определяющий уровень эффективности использования заемных средств.

Необходимо учитывать, что финансовые риски могут быть сложными и разделяться на разные подвиды. Поэтому такие риски могут возникать на

разных этапах финансово-хозяйственной деятельности организации. Так, например, в составе риска реального инвестирования могут быть выделены риски: несвоевременной подготовки инвестиционного проекта; несвоевременного завершения проектно-конструкторских работ; несвоевременного окончания строительно-монтажных работ; несвоевременного открытия финансирования по инвестиционному проекту; потери инвестиционной привлекательности проекта в связи с возможным снижением его эффективности и т.п. [4, 5].

Соответственно, для анализа и построения прогноза подобных финансовых рисков может использоваться базовая модель, которая описывает весь процесс производства, динамику материальных и финансовых потоков в результате использования инвестиций и собственного капитала (см. табл. 6). Описание базовой модели содержится в работах [2, 3, 16].

Таким образом, для прогнозирования комплексного финансового риска требуется рассмотреть не менее трех основных групп рисков на основе восьми представленных показателей, а также требуется провести встраивание ограничений (пороговых значений) при условии использования базовой модели предприятия (см. табл. 7).

**Таблица 4. Элементы и критерии оценки комплексного финансового риска**

*Table 4. Elements and criteria of complex financial risk assessment*

Программное обеспечение	Характеристика
1. Оценка риска структуры капитала	Включает оценку трех критериев: 1. Максимизации уровня прогнозируемой финансовой рентабельности (на основе максимизации критерия эффекта финансового рычага). 2. Минимизации стоимости капитала (минимизация критерия средневзвешенной стоимости). 3. Минимизации финансовых рисков (снижения риска финансовой устойчивости структуры капитала)
2. Оценка риска потери ликвидности	Включает анализ ликвидности баланса в результате ранжирования активов и пассивов, их сопоставления, построения шкалы риска потери платежеспособности и оценку зоны риска: безрисковая зона; зона допустимого риска; зона критического риска; зона катастрофического риска
3. Оценка риска потери финансовой устойчивости	Подготовка исходных данных на основе предварительного агрегирования, определение суммарной величины запасов, определение возможностей источников формирования требуемых запасов и затрат, расчет показателей обеспеченности, формирование трехкомпонентного вектора, установление типа финансовой ситуации: абсолютная, допустимая устойчивость, неустойчивое финансовое положение, критическое финансовое состояние, расчет показателей финансовой устойчивости и независимости. Также необходимо провести оценку рентабельности, точки безубыточности, запаса финансовой прочности, эффекта финансового рычага, коэффициентов ликвидности и чувствительности

**Таблица 5. Показатели оценки комплексного финансового риска**

*Table 5. Comprehensive financial risk measures*

Наименование показателя	Формула
Эффект финансового рычага	$DFL = (1 - T) \times (ROA - r) \times \frac{D}{E},$ <p>где:                      (1 - T) – коэффициент налогового бремени;                      T – ставка налога на прибыль;                      ROA – экономическая рентабельность (отношение валовой прибыли к средней стоимости инвестируемого капитала);                      r – средний рыночный процент (ставка рыночного процента), r – затраты по обслуживанию заемных средств / сумма всех используемых заемных средств;                      D/E – плечо финансового рычага. Заемный капитал / Собственный капитал. Интерпретация плеча ФР: больше 0,7 – компания рискует потерять финансовую устойчивость (для России нормальным считается коэффициент 1). Но чем он больше, тем ниже финансовая устойчивость компании. 0,5-0,7 – оптимальное значение. Ниже 0,5 – компания упускает возможность повысить эффективность за счет привлечения заемных средств.                      Эффект финансового рычага (DFL) должен иметь положительное значение</p>
Рентабельность капитала	$ROC = \frac{NOPAT}{C(A)},$ <p>где:                      NOPAT – чистая операционная прибыль после уплаты налогов;                      C(A) – капитал (активы).                      Пороговое значение: ROC &gt; WACC, где WACC – средневзвешенная стоимость капитала</p>
Средневзвешенная стоимость заемного капитала	$WACC = \sum_i^n Y_i \cdot C_i,$ <p>где:                      Y<sub>i</sub> – удельный вес i-го источника в долях;                      C<sub>i</sub> – стоимость i-го источника;                      n – количество источников капитала</p>
Порог рентабельности (точка безубыточности)	$BEP = \frac{FC}{KMR},$ <p>где:                      FC – затраты постоянные;                      KMR – коэффициент маржинального дохода.</p> $KMR = \frac{MR}{TR},$ <p>MR = TR – VC,                      где:                      TR – выручка (объем продаж);                      VC – затраты переменные</p>
Запас финансовой прочности	$FSM = (TR - PR) / TR,$ <p>где: PR – прибыль от продаж товара.                      Интерпретация: коэффициент FSM меньше 0,2 – положение критическое, коэффициент FSM от 0,2 до 0,5 – положение неустойчивое, коэффициент FSM от 0,5 до 0,8 – положение устойчивое</p>
Коэффициент финансовой устойчивости	$FSC = \frac{E + LL}{A},$ <p>Рассчитывается по данным бухгалтерского баланса как отношение суммы собственного капитала (E) и долгосрочных пассивов (LL) к общей стоимости активов предприятия (A).                      Рекомендуемое значение FSC – больше или равно 0,5</p>

Окончание табл. 5

Наименование показателя	Формула
Коэффициент текущей ликвидности	$CUR = \frac{CA}{CL},$ <p>где:                      CA – текущие активы (все оборотные активы: денежные средства, дебиторская задолженность, запасы и краткосрочные вложения);                      CL – краткосрочные кредиты и займы, кредиторская задолженность и прочие текущие пассивы;                      при CUR = 2 – предприятие является платежеспособным;                      при CUR = от 1 до 2 – предприятие ограничено платежеспособностью.                      при CUR ≤ 1 – предприятие неплатежеспособно</p>
Коэффициент β	$\beta = \frac{K \times \delta_n}{\delta_p},$ <p>где:                      K × бн – доходность актива (бизнеса);                      бр – изменение доходности рынка (отрасли).                      Если β = 0 – риск отсутствует;                      0 &lt; β &lt; 1 – риск ниже рыночного;                      β = 1 – риск на уровне рыночного;                      1 &lt; β &lt; 2 – риск выше среднерыночного</p>

**Таблица 6. Базовая модель предприятия с учетом рисков финансово-хозяйственной деятельности [3]**

*Table 6. Basic model of the enterprise, taking into account the risks of financial and economic activities [3]*

Баланс	Блок	Характеристика
Материальный	Блок «Производство»	Анализируются такие элементы шага $t$ : $X_k^p$ – запасы продуктов на начало шага $t$ (вектор соответствующей размерности); $Z_k^p$ – выпуск продуктов; $Y_k^{p,p}$ – количество продуктов, идущих на создание производственных фондов (фондообразующие продукты); $Y_k^{p,p}$ – количество продуктов, идущих непосредственно на производство (сырьевые продукты); $X_k^{p,+}$ – количество продуктов, поступающих на предприятие; $X_k^{p,-}$ – количество продуктов, уходящих с предприятия. Тогда динамика количества продуктов предприятия описывается следующим конечно-разностным уравнением: $X_k^p(t+1) = X_k^p(t) + X_k^{p,+}(t) + Z_k^p(t) - X_k^{p,-}(t) - Y_k^{p,p}(t) - Y_k^{p,p};$ $X_k^p(1) = X_k^{p,0}$
	Блок «Производственные фонды»	Анализируются такие элементы шага $t$ : $X_k^q(t)$ – количество производственных фондов на начало шага $t$ (вектор соответствующей размерности); $Z_k^q(t)$ – производственные фонды, созданные на шаге $t$ . Динамика количества производственных фондов: $X_k^q(t+1) = X_k^q(t) + Z_k^q(t); X_k^q(1) = X_k^{q,0}$
	Блок «Труд»	$X_k^l(t)$ – численность сотрудников различных специальностей на начало шага $t$ (вектор размерности); $X_k^l(t)$ – изменение численности персонала предприятия на шаге $t$ . $X_k^l(t+1) = X_k^l(t) + X_k^l(t)$
Финансовый баланс и финансовые результаты	X	Анализируются такие элементы шага $t$ : $M_k$ – денежные средства предприятия; $S_k^p$ – товарные запасы; $S_k^q$ – основные фонды; $A_k$ – активы предприятия; $L_k$ – обязательства; $E_k$ – собственный капитал; $P_k$ – прибыль от продаж. Показатели рисков финансового состояния предприятия: DFL – эффект финансового рычага; ROC – рентабельность капитала; WACC – средневзвешенная стоимость; BEP – порог рентабельности; FSM – запас финансовой прочности; FSC – коэффициент финансовой устойчивости; CUR – коэффициент текущей ликвидности; β – коэффициент. Показатели рисков оцениваются с учетом пороговых значений (нормативов), определенных в табл. 5

**Таблица 7. Показатели прогнозирования рисков финансового состояния предприятия в базовой модели предприятия**

*Table 7. Enterprise financial risk prediction metrics in the core enterprise model*

Наименование показателя	Формула
Эффект финансового рычага	$DFL = (1 - T) \times (ROA - r) \times \frac{D}{E},$ <p>где:                      (1 - T) – коэффициент налогового бремени;                      T – ставка налога на прибыль;                      ROA – экономическая рентабельность (отношение валовой прибыли к средней стоимости инвестируемого капитала);                      r – средний рыночный процент (ставка рыночного процента), r = затраты по обслуживанию заемных средств / сумма всех используемых заемных средств;                      D/E – плечо финансового рычага. Заемный капитал / Собственный капитал. Интерпретация плеча ФР: больше 0,7 – компания рискует потерять финансовую устойчивость (для России нормальным считается коэффициент 1). Но чем он больше, тем ниже финансовая устойчивость компании. 0,5-0,7 – оптимальное значение. Ниже 0,5 – компания упускает возможность повысить эффективность за счет привлечения заемных средств.                      Эффект финансового рычага (DFL) должен иметь положительное значение.</p> $ROA(t) = 2 \frac{Q^{p,-}(t) - U^{p,-}(t)}{A(t+1) + A(t)};$ $DFL(t) = (1 - T) \times (ROA(t) - r) \times \frac{L(t+1)}{E(t+1)};$ $ROA(T) = 2 \frac{\sum_{t=1}^T (Q^{p,-}(t) - U^{p,-}(t))}{A^0 + A(T+1)};$ $DFL(T) = (1 - T) \times (ROA(T) - r) \times \frac{L(T+1)}{E(T+1)};$ <p><math>A^0</math> – начальное значение активов</p>
Рентабельность капитала	$ROC = \frac{NOPAT}{C(A)},$ <p>где:                      NOPAT – чистая операционная прибыль после уплаты налогов;                      C(A) – капитал (активы).                      Пороговое значение: ROC &gt; WACC, где WACC – средневзвешенная стоимость капитала.</p> $NOPAT(t) = E(t+1) - E(t) + \gamma(t-1)H(t-1);$ $ROC(t) = \frac{NOPAT(t)}{A(t+1)};$ $NOPAT(T) = E(T+1) - E^0 + \sum_{t=1}^{T+1} \gamma(t-1)H(t-1);$ $ROC(T) = \frac{NOPAT(T)}{A(T+1)};$ <p><math>E^0</math> – начальное значение собственного капитала</p>
Средневзвешенная стоимость заемного капитала	$WACC = \sum_i^n Y_i \cdot C_i,$ <p>где:  <math>Y_i</math> – удельный вес i-го источника в долях;  <math>C_i</math> – стоимость i-го источника;                      n – количество источников капитала.</p> $WACC(t) = Y_1 A(t) + Y_2 (M(t+1) - M(t)) + Y_3 (S^p(t+1) - S^p(t)) + Y_4 (S^o(t+1) - S^o(t))$

Продолжение табл. 7

Наименование показателя	Формула
Порог рентабельности (точка безубыточности)	$BEP = \frac{FC}{KMR},$ <p>где: FC – затраты постоянные; KMR – коэффициент маржинального дохода.</p> $KMR = \frac{MR}{TR},$ $MR = TR - VC,$ <p>где: TR – выручка (объем продаж); VC – затраты переменные.</p> $BEP = \frac{FC}{KMR};$ $FC(t) = U^{p,q}(t);$ $KMR = \frac{MR}{TR};$ $TR(t) = Q^{p,-}(t);$ $MR(t) = TR(t) - VC(t);$ $VC(t) = Q^l(t) + U^{p,p}(t);$ $PR(t) = TR(t) - FC(t) - VC(t)$
Запас финансовой прочности	$FSM = (TR - PR)/TR,$ <p>где: PR – прибыль от продаж товара. Интерпретация: коэффициент FSM меньше 0,2 - положение критическое, коэффициент FSM от 0,2 до 0,5 – положение неустойчивое, коэффициент FSM от 0,5 до 0,8 – положение устойчивое.</p> $PR(t) = TR(t) - FC(t) - VC(t);$ $TR(t) = Q^{p,-}(t);$ $FC(t) = U^{p,q}(t);$ $VC(t) = Q^l(t) + U^{p,p}(t)$
Коэффициент финансовой устойчивости	$FSC = \frac{E + LL}{A},$ <p>Рассчитывается по данным бухгалтерского баланса как отношение суммы собственного капитала (E) и долгосрочных пассивов (LL) к общей стоимости активов предприятия (A). Рекомендуемое значение FSC – больше или равно 0,5. <math>FSC = [E(t) + L(t)]/A(t)</math></p>
Коэффициент текущей ликвидности	$CUR = \frac{CA}{CL},$ <p>где: CA – текущие активы (все оборотные активы: денежные средства, дебиторская задолженность, запасы и краткосрочные вложения); CL – краткосрочные кредиты и займы, кредиторская задолженность и прочие текущие пассивы. При CUR = 2 – предприятие является платежеспособным; При CUR = от 1 до 2 – предприятие ограничено платежеспособностью. При CUR ≤ 1 – предприятие неплатежеспособно</p> $CUR = \frac{CA}{CL},$ $CUR = A(t)/[H(t)+L(t)]$

Окончание табл. 7

Наименование показателя	Формула
Коэффициент $\beta$	$\beta = \frac{K \times \delta_n}{\delta_p},$ <p>где:  <math>K \times \delta_n</math> – доходность актива (бизнеса);  <math>\delta_p</math> – изменение доходности рынка (отрасли).                      Если <math>\beta = 0</math> – риск отсутствует;  <math>0 &lt; \beta &lt; 1</math> – риск ниже рыночного;  <math>\beta = 1</math> – риск на уровне рыночного;  <math>1 &lt; \beta &lt; 2</math> – риск выше среднерыночного</p>

### Заключение

В процессе осуществления финансово-хозяйственной деятельности различных отраслевых субъектов необходимо учитывать моделирование как материальных (производственных, кадровых), так и финансовых факторов. Риски могут возникать на разных этапах финансово-хозяйственной деятельности организации, могут быть многогранными, иметь различные виды и подвиды, при этом структурирование их по принципу формирования базовой модели предприятия является вполне логичным и оптимальным.

В статье показано на примере встраивания в базовую модель, как для анализа и построения прогноза можно учитывать показатели финансовых рисков на основе исходных данных базовой модели: активы; денежные средства; основные фонды; товарные запасы; капитал, в том числе собственный и заемный; прибыль и др. Выделено восемь ключевых показателей финансовых рисков и методики их оценки как в рамках текущего периода, так и прогностического моделирования: DEL — эффект финансового рычага; ROC — рентабельность капитала; WACC — средневзвешенная стоимость капитала; BEP — порог рентабельности (точка безубыточности); FSM — запас финансовой прочности; FSC — коэффициент финансовой устойчивости; CUR — коэффициент текущей ликвидности;  $\beta$  — коэффициент. Таким образом, для прогнозирования комплексного финансового риска требуется рассмотреть не менее трех основных групп рисков на основе восьми представленных показателей, а также необходимо провести встраивание ограничений (пороговых значений) при условии использования базовой модели предприятия.

### Список источников [References]

- Бойко Н. Е., Калинина Е. А. Прогнозирование вероятности банкротства предприятия методами экспресс-диагностики // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2022. Т. 2. № 1(49). С. 179–190. [https://doi.org/10.51965/20767919\\_2022\\_2\\_1\\_179](https://doi.org/10.51965/20767919_2022_2_1_179) [Boyko N. E., Kalinina E. A. Forecasting the probability of bankruptcy of the enterprise rapid diagnostics methods // Vestnik of Volzhsky University after V. N. Tatischev. 2022;2(1):179–190. (In Russ.) [https://doi.org/10.51965/20767919\\_2022\\_2\\_1\\_179](https://doi.org/10.51965/20767919_2022_2_1_179)]
- Довгучиц С. И., Мушков А. Ю., Ерешко Ф. И. Математическое моделирование в решении задач информационно-аналитического обеспечения управления развитием оборонно-промышленного комплекса // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2021. № 1. С. 5–15. [https://doi.org/10.52135/2410-4124\\_2021\\_1\\_5](https://doi.org/10.52135/2410-4124_2021_1_5) [Dovguchits S. I., Mushkov A. Yu., Ereshko F. I. Mathematical modeling in the solution tasks of the information and analytical center provide guidance for the development of the military — industrial complex // Scientific Bulletin of the Military-Industrial Complex of Russia. 2021;(1):5–15. (In Russ.) [https://doi.org/10.52135/2410-4124\\_2021\\_1\\_5](https://doi.org/10.52135/2410-4124_2021_1_5)]
- Ereshko F. I., Mushkov A. Y., Turko N. I., Tsvirkun A. D. Managing large-scale projects in a mixed economy // Automation and Remote Control. 2022;83(5):755–779. <https://doi.org/10.1134/S0005117922050083>.
- Каранина Е. В. Риск-менеджмент: учебник: / Е. В. Каранина. Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. 190 с.: табл., ил., схем. Режим доступа: URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576201> Библиогр. в кн. ISBN 978-5-4499-1172-8. <https://doi.org/10.23681/576201> [Karanina E. V. Risk management: textbook / E. V. Karanina.

- Moscow; Berlin: Direct-Media, 2020. 190 p.: table, mud, schemes. Access mode: URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576201> Bibliogr. in book ISBN 978-5-4499-1172-8. (In Russ.) <https://doi.org/10.23681/576201>
5. Каранина Е. В. Управление рисками: механизмы, инструменты, профессиональные стандарты: учебник: / Е. В. Каранина. Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. 257 с.: ил., табл., схем. Режим доступа: URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576521> Библиогр. в кн. ISBN 978-5-4499-1161-2. <https://doi.org/10.23681/576521> [Karanina E. V. Risk management: mechanisms, tools, professional standards: textbook / E. V. Karanina. Moscow; Berlin: Direct-Media, 2020. 257 p. mud, table, schemes. Access mode: URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576521> Bibliogr. in book ISBN 978-5-4499-1161-2. (In Russ.) <https://doi.org/10.23681/576521>]
  6. Лапуста М. Г. Риски в предпринимательской деятельности: учеб. пос. / М. Г. Лапуста, Л. Г. Шаршукова. М.: Инфра-М; 2018. 223 с. ISBN 5-86225-373-4 [Lapusta M. G. Risks in entrepreneurial activity: textbook / M. G. Lapusta, L. G. Sharshukova. M.: Infra-M; 2018. 223 p. ISBN 5-86225-373-4 (In Russ.)]
  7. Панфилова Э. А. Понятие риска: многообразие подходов и определений // Теория и практика общественного развития. 2010. № 4. С. 30–34 [Panfilova E. A. Concept of risk: variety of approaches and definitions // Theory and Practice of Social Development. 2010;(4):30–34. (In Russ.)]
  8. Пионткевич Н. С. Методический подход к оценке финансовых рисков хозяйствующего субъекта // Известия Уральского государственного экономического университета. 2016. № 2(64). С. 48–57 [Piontkевич N. S. A methodological approach to assessing of financial risks of an organization // Journal of the Ural State University of Economics. 2016;(2):48–57. (In Russ.)]
  9. Рыжкова Е. А. Анализ программного обеспечения для определения рисков деятельности предприятия // The Scientific Heritage. 2018. № 23. С. 51–54 [Ryzhkova E. A. Analysis of the software to determine the risks of the enterprise's activity // The Scientific Heritage. 2018;(23):51–54. (In Russ.)]
  10. Ситникова Я. В. Определение финансовых рисков как основа прогнозирования несостоятельности (банкротства) предприятий // Вестник НГУЭУ. 2012. № 1. С. 197–206 [Sitnikova Ya. V. Financial risks determination as a basis of bankruptcy prediction // Vestnik NSUEM. 2012;(1):197–206. (In Russ.)]
  11. Солодов А. К. Основы финансового риск-менеджмента: [учебник и учебное пособие] / Солодов А. К.; Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. М.: Издание Александра К. Солодова, 2018. 286 с. ISBN 978-5-9907435-1-9 [Solodov A. K. Fundamentals of financial risk management: [textbook and teaching aid] / Solodov A. K.; Financial University under the Government of the Russian Federation. M.: Edition of Alexander K. Solodov, 2018–286 p. ISBN 978-5-9907435-1-9. (In Russ.)]
  12. Терентьев Н. Е. Модели прогнозирования развития компаний с учетом рисков / Н. Е. Терентьев. М.: Ин-т экономики, 2009. 47 с.: (Научные доклады Института экономики РАН); ISBN 978-5-9940-0189-9 [Terentyev N. E. Risk-based company development forecasting models / N. E. Terentyev. M.: Institute of Economics, 2009. 47 p.: (Scientific reports of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences); ISBN 978-5-9940-0189-9. (In Russ.)]
  13. Финансовое планирование и прогнозирование: учеб. пособие / [Е. А. Разумовская, М. С. Шуклин, В. И. Баженова, Е. С. Панфилова]; под общ. ред. Е. А. Разумовской; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 284 с. ISBN 978-5-7996-2242-8 [Financial planning and forecasting: textbook / [E. A. Razumovskaya, M. S. Shuklin, V. I. Bazhenova, E. S. Panfilova]; under the general editorship of E. A. Razumovskaya; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Ural. Federal University Yekaterinburg: Publishing House of the Ural. University, 2017. 284 p. ISBN 978-5-7996-2242-8 (In Russ.)]
  14. Финансово-экономические риски: учебное пособие / Е. Г. Князева, Л. И. Юзвович, Р. Ю. Луговцов, В. В. Фоменко. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 112 с. ISBN 978-5-7996-1459-1 [Financial and economic risks: textbook / E. G. Knyazeva, L. I. Yuzvovich, R. Yu. Lugovtsov, V. V. Fomenko. Ekaterinburg: Publishing house of the Ural. University, 2015. 112 p. ISBN 978-5-7996-1459-1. (In Russ.)]
  15. Гвоздева Е. А., Сорокин А. В. Риск-менеджмент: Учебное пособие для студентов всех форм обучения направления подготовки «Экономика». Издание 2-е дополненное и исправленное / Рубцовский индустриальный институт. Рубцовск, 2021. 84 с. [Gvozdeva E. A., Sorokin A. V. Risk management: A textbook for students of all forms of education in the field of training “Economics”. 2nd edition, supplemented and corrected / Rubtsovsk Industrial Institute. Rubtsovsk, 2021. 84 p. (In Russ.)]

16. Сытов А.Н. Построение гарантирующих управлений в модели производственной подсистемы предприятия / А.Н. Сытов // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): Труды Шестнадцатой международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2023 года. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2023. С. 521–530.  
<https://doi.org/10.25728/mlsd.2023.0521>. EDN ORRGQR [Sytov A.N. Construction of guaranteeing departments in the model of the production subsystem of the enterprise / A.N. Sytov // Management of the development of large-scale systems (MLSD '2023): Proceedings of the Sixteenth International Conference, Moscow, September 26–28, 2023. M.: Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikov RAS, 2023. P. 521-530. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.25728/mlsd.2023.0521>. EDN ORRGQR]

## Сведения об авторах

**Каранина Елена Валерьевна:** доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой финансов и экономической безопасности ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ)  
Количество публикаций: более 400

Область научных интересов: управление рисками, экономическая безопасность, риск-ориентированный подход, резилиенс-диагностика рисков экосистем, финансовая безопасность, региональная экономика  
ResearcherID: L-1395-2016  
Scopus Author ID: 57192661919  
ORCID: 0000-0002-5439-5912  
*Контактная информация:*  
Адрес: 610000, г. Киров, ул. Московская, 36  
karanina@vyatsu.ru

**Ерешко Феликс Иванович:** доктор технических наук, профессор, заведующий отделом «Информационно-вычислительных систем», Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН  
Количество публикаций: более 220  
Область научных интересов: моделирование экономических процессов, оценка рисков, системы поддержки принятия решений, модели оптимизации в деятельности предприятий АПК и ОПК  
Scopus Author ID: 24599411700  
ORCID: 0000-0002-1732-2204  
*Контактная информация:*  
Адрес: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2.  
fereshko@yandex.ru

---

Статья поступила в редакцию: 01.10.2024  
Одобрена после рецензирования: 20.11.2024  
Принята к публикации: 22.11.2024  
Дата публикации: 27.12.2024

*The article was submitted: 01.10.2024*  
*Approved after reviewing: 20.11.2024*  
*Accepted for publication: 22.11.2024*  
*Date of publication: 27.12.2024*

УДК 621.643  
Научная специальность: 2.10.3

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Нормативно-техническое обеспечение инспекции с учетом факторов риска в процессе эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах

**Александрович С.И. \***,  
Арктик СПГ 2,  
629309, Россия,  
г. Новый Уренгой,  
мкр. Славянский, д. 9, ком. 117

**Бриков А.В.**,  
Сахалинская Энергия,  
693020, Россия,  
г. Южно-Сахалинск,  
ул. Дзержинского, 35

**Климова И.В.**,  
Высшая школа  
техносферной безопасности  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого,  
195251, Россия,  
Санкт-Петербург,  
Политехническая ул., 29  
Гидрокорпус-1

**Приймачук С.П.**,  
НОВАТЭК,  
119313, Россия, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 90/2

## Аннотация

В статье приводится анализ зарубежной и национальной нормативно-правовой базы в части применения риск-ориентированного подхода к техническому освидетельствованию — инспекции с учетом факторов риска в процессе эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах. Рассмотрены действующие нормативно-правовые акты РФ, возможные пути применения инспекции с учетом факторов риска в РФ. Предложено решение по внедрению, проанализированы последствия внедрения инспекции с учетом факторов риска в РФ.

**Ключевые слова:** риск-ориентированный подход; техническое освидетельствование; инспекция с учетом факторов риска; технические устройства; опасный производственный объект.

**Для цитирования:** Александрович С.И., Бриков А.В., Климова И.В., Приймачук С.П. Нормативно-техническое обеспечение инспекции с учетом факторов риска в процессе эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 81–88.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

# Regulatory and Technical Support of Inspection Taking Into Account Risk Factors During Operation of Technical Devices at Hazardous Production Facilities

**Sergey I. Alexandrovich\***,

ARCTIC LNG 2,  
Slavyansky Microdistrict, 9,  
off. 117, Novy Urengoy,  
629309, Russia

**Alexander V. Brikov,**

Sakhalin Energy,  
Dzerzhinskogo str., 35,  
Yuzhno-Sakhalinsk,  
693020, Russia

**Irina V. Klimova,**

Higher School of Technosphere  
Security Peter the Great  
St. Petersburg Polytechnic  
University,  
Polytechnicheskaya str., 29,  
Hydrocorpus-1, St. Petersburg,  
195251, Russia

**Sergey P. Priymachuk,**

Novatek,  
Leninsky prospect, 90/2,  
Moscow, 119313, Russia

## Abstract

The article provides an analysis of the foreign and national regulatory framework in terms of applying a risk-based approach to technical inspection — inspection taking into account risk factors during the operation of technical devices at hazardous production facilities. The current regulatory legal acts of the Russian Federation, possible ways of applying the inspection taking into account risk factors in the Russian Federation are considered. An implementation solution was proposed, the consequences of the implementation of the inspection, taking into account risk factors in the Russian Federation, were analyzed.

**Keywords:** risk-based approach; technical examination; risk-based inspection; technical devices; hazardous production facility.

**For citation:** Alexandrovich S.I., Brikov A.V., Klimova I.V., Priymachuk S.P. Regulatory and technical support of inspection taking into account risk factors during operation of technical devices at hazardous production facilities // Issues of Risk Analysis. 2024;21(6):81-88. (In Russ.).

**The authors declares no conflict of interest.**

## Содержание

Введение

1. Методические подходы к техническому освидетельствованию в процессе эксплуатации технических устройств
2. История распространения риск-ориентированного подхода (ИУФР)
3. Обсуждение результатов внедрения ИУФР

Заключение

Список источников

## Введение

Одной из основных целей при эксплуатации опасных производственных объектов (далее — ОПО) является обеспечение промышленной безопасности, т.е. состояния защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий и их последствий. Промышленная безопасность достигается посредством организации комплекса взаимосвязанных организационных и технических мероприятий<sup>1</sup>. К организационным мероприятиям можно отнести, например:

- обучение, инструктирование, проверку сформированных навыков у сотрудников относительно промышленной безопасности;
- обеспечение сотрудников спец. одеждой и иными необходимыми средствами защиты;
- разработку локальных инструкций по промышленной безопасности, а также приобретение иных необходимых для работы нормативных правовых актов;
- разработку плана действий при аварии на ОПО и ликвидации последствий инцидентов;
- разработку декларации промышленной безопасности;
- подготовку годовой отчетности и анализ полученных данных.

Технические мероприятия могут включать в себя:

- совершенствование технологических процессов в целях устранения воздействия на работников опасных и вредных производственных факторов;
- установку предохранительных, защитных и сигнализирующих устройств;
- модернизацию и реконструкцию технических устройств, зданий и сооружений;
- техническое обслуживание и ремонт, испытания, техническую диагностику технических устройств ОПО [1].

При эксплуатации технических устройств на ОПО одним из основных мероприятий является техническое освидетельствование (далее — ТО) — комплекс периодически проводимых работ по определению фактического состояния технических устройств в целях определения его работоспособности и соответствия требованиям промышленной безопасности. В объем работ по ТО, как правило, входят внутренний и наружный визуальный

<sup>1</sup> ФЗ РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

осмотр технических устройств, проведение неразрушающего контроля, разрушающих и других видов испытаний, выполняемых в отношении технических устройств или их отдельных элементов. ТО позволяет определить фактическое техническое состояние технических устройств, выявить дефекты на ранних стадиях, определить объем необходимых ремонтных работ, удостовериться в качестве проведенных ремонтов и тем самым обеспечить безаварийную работу технических устройств<sup>2</sup> [2].

## 1. Методические подходы к техническому освидетельствованию в процессе эксплуатации технических устройств

Можно выделить два вида подходов проведения ТО: регламентированный и риск-ориентированный.

*Регламентированный подход* заключается в проведении ТО на основании требований нормативно-правовых актов и технической документации заводоизготовителей технических устройств, которыми определяются периодичность и объем работ. Подобные требования строго предопределяют сроки проведения очередных ТО, исходя из проектных/эксплуатационных данных о деградации технических устройств (скорости коррозии, ухудшения металлургических и механических свойств и т.д.). Объем ТО, как правило, включает в себя проведение осмотров технических устройств, толщинометрии и испытаний.

*Риск-ориентированный подход* — «risk based inspection» (RBI) или инспекция с учетом факторов риска (далее — ИУФР) подразумевает определение и ранжирование критичности технических устройств на основе анализа вероятностей и последствий отказов с целью оптимизации планов и стратегий ТО на основе приемлемого уровня риска и эксплуатационных условий. Результаты этого исследования используются для улучшения оценки видов деградации, корректировки задач и периодичности ТО по сравнению с регламентированным подходом. Одной из целей ИУФР является

<sup>2</sup> Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 536 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением». [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/573275722> (дата обращения: 10.12.2023).

также выявление технических устройств, которым необходимо провести ТО во время планового останова ОПО на капитальный ремонт из-за отсутствия возможности проведения ТО во время эксплуатации.

ТО не препятствует деградации, но помогает идентифицировать, охарактеризовать, контролировать и измерять деградацию количественно. ИУФР является эффективным инструментом прогнозирования типа и скорости деградации технических устройств, что означает лучшую предсказуемость любого возможного отказа. Таким образом, за счет проведения ТО возможно добиться снижения вероятности отказов, а значит, и снижения риска.

ИУФР определяет, какой инцидент (последствие) может произойти в случае отказа технических устройств и какова вероятность, что инцидент произойдет. Для достижения этой цели ИУФР представляет собой процесс оценки и управления рисками, который сосредоточен на нарушении механической целостности технических устройств из-за коррозии, ухудшения характеристик и механических свойств (коррозия, эрозия, ползучесть). Он направлен на выявление рисков в сфере промышленной безопасности, охраны труда и охраны окружающей среды, а также экономических показателей. Основными преимуществами являются общее снижение риска для оцениваемых технических устройств и ОПО, а также понимание текущего риска. ИУФР ранжирует позиции технических устройств с точки зрения уровня риска, чтобы сосредоточить мероприятия и ресурсы на наиболее важных из них<sup>3</sup> [3].

## 2. История распространения риск-ориентированного подхода (ИУФР)

В 1980-х гг. зарубежные промышленные предприятия начали говорить о том, что необходимо менять подход к организации ТО технических устройств. Причиной тому была цель снижения числа отказов и аварий при оптимальном уровне затрат на проведение ТО. Первые документы по ИУФР появились в 1990-х гг. в США для ОПО атомной энергетики, а затем в 2000-м вышел первый документ для ОПО нефтепереработки, нефтехимии, химии, добычи нефти и газа [4].

В настоящее время ИУФР широко применяется во многих странах. В основе успешной практической реализации лежит исчерпывающая база

<sup>3</sup> Стандарт ООО «Арктик СПГ 2». Стратегия инспектирования с учетом факторов риска. Москва: ООО «Арктик СПГ 2», 2021. 87 с.

нормативно-технических документов (далее — НТД), в том числе<sup>4</sup>. Первым и единственным на сегодняшний день НТД РФ, содержащим рекомендации по организации ИУФР, является ГОСТ Р 55234.3-2013<sup>5</sup>.

Основным элементом всех НТД по ИУФР считается методика проведения оценки рисков. Несмотря на множественные различия методик, они имеют одну цель — проведение ТО в оптимальные сроки при обеспечении приемлемого уровня риска. Но методика — это лишь один инструмент, наличие которого не может обеспечить полноценную реализацию ИУФР на практике. Необходимо обеспечить целый комплекс организационно-технических мероприятий, цель которых заключается в корректном применении любой методики и, как следствие, обеспечение высокого уровня промышленной безопасности.

Рассмотрим более подробно некоторые требования различных НТД к организации ИУФР.

### 2.1. Требования к персоналу

Для обеспечения эффективной реализации ИУФР требуются данные из различных профессиональных областей. Так, например, для анализа рисков нужны данные из области промышленной безопасности, экономические данные для финансового анализа, данные о материалах и защите от коррозии для определения деградационных механизмов, информация о текущем техническом состоянии, и другие. Специалист одного направления деятельности не в силах самостоятельно собрать и обработать такое количество данных. Поэтому необходимо организовать рабочую группу, в которую будут входить профильные специалисты по всем задействованным в ИУФР профессиональным областям.

<sup>4</sup> API 580 Recommended Practice, 3rd Edition, February 2016 — Risk-Based Inspection; API RP 581. Risk-based inspection methodology. 3rd ed. // American Petroleum Institute: офиц. сайт. URL: <https://www.api.org/> (дата обращения: 03.02.2023); Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment AB – 505 Edition 3, Revision 0 — Issued 2021-10-29; ABS. GUIDE FOR SURVEYS USING RISK-BASED INSPECTION FOR THE OFFSHORE INDUSTRY DECEMBER 2003. American Bureau of Shipping Incorporated by Act of Legislature of the State of New York 1862.

<sup>5</sup> ГОСТ Р 55234.3-2013. Практические аспекты менеджмента риска. Процедуры проверки и технического обслуживания оборудования на основе риска. [Электронный ресурс]. [https://standartgost.ru/g/ГОСТ\\_Р\\_55234.3-2013](https://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_55234.3-2013) (дата обращения 10.12.2023).

В большинстве НТД по ИУФР приводятся конкретные примеры рабочих групп. Например, рекомендуется организовывать группу из следующих специалистов<sup>6</sup>:

- специалист по инспектированию;
- специалист по коррозии;
- специалист по технологическому процессу;
- персонал по эксплуатации и техническому обслуживанию;
- руководители высшего уровня;
- аналитики рисков;
- персонал по охране окружающей среды и промышленной безопасности;
- финансовый/деловой персонал.

Для каждого члена рабочей группы описываются исчерпывающие требования к его квалификации и обязанностям, указывается его ответственность.

В свою очередь, в ГОСТ Р 55234.3-2013<sup>7</sup> приводятся только общие рекомендации к персоналу с констатацией факта, что действующие НТД полностью не устанавливают требования к квалификации персонала, выполняющего ИУФР.

## 2.2. Требования к локальным нормативным актам

На данный момент в мире существует несколько методик ИУФР. Они могут применяться для различных ОПО и видов технических устройств. Применение любой методики в ее первоначальном виде может привести к некорректной реализации ИУФР в рамках каждого конкретного ОПО. С целью нивелирования этого факта целесообразна разработка соответствующих локальных нормативных актов (далее — ЛНА).

Практическая реализация ИУФР должна быть выстроена на четко определенном, последовательном, строгом и логическом процессе с целью обеспечения анализа всей необходимой информации<sup>8</sup>. В противном случае критические факторы могут быть упущены из виду.

Процесс ИУФР должен быть задокументирован в виде письменной процедуры. Эта процедура

<sup>6</sup> API 580 Recommended Practice, 3rd Edition, February 2016— Risk-Based Inspection.

<sup>7</sup> ГОСТ Р 55234.3-2013. Практические аспекты менеджмента риска. Процедуры проверки и технического обслуживания оборудования на основе риска. [Электронный ресурс] // URL: [https://standartgost.ru/g/ГОСТ\\_P\\_55234.3-2013](https://standartgost.ru/g/ГОСТ_P_55234.3-2013) (дата обращения: 10.12.2023)

<sup>8</sup> Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment AB — 505 Edition 3, Revision 0 — Issued 2021-10-29.

должна подробно определять каждый шаг, который необходимо предпринять в процессе оценки риска. В алгоритме проведения всей процедуры необходимо указать, как определяются опасности для каждого элемента технических устройств, как устанавливаются вероятность и последствия отказа и как это используется для определения уровня риска и интервала ТО.

Основными разделами подобного ЛНА должны быть<sup>9</sup>:

- сбор данных;
- идентификация вида опасности/деградации;
- документы по контролю коррозии;
- оценка последствий;
- оценка вероятности;
- определение риска;
- план ТО;
- управление изменениями;
- нормы предельных состояний технических устройств;
- переоценка.

Среди зарубежных публикаций тоже приводится рекомендуемый образец ЛНА<sup>10</sup>.

В ГОСТ Р 55234.3-2013 отмечается необходимость выполнения ИУФР в соответствии с ЛНА, но лишь в том контексте, что оценка вероятности отказа должна быть структурирована с помощью процедуры со строго установленными условиями.

## 2.3. Требования к программному обеспечению

Организация ИУФР связана с необходимостью обработки и хранения больших массивов информации. Обеспечить это возможно традиционным способом — путем оформления документов на бумажных носителях. Но в целях повышения эффективности и оптимизации трудовых процессов большинство предприятий использует различное программное обеспечение (далее — ПО). Рекомендуется применение ПО для выполнения расчетов (например, остаточный срок службы, интервалы инспекции) и ведения записей, связанных с ИУФР [11].

Требования к использованию ПО также отражены в API 580, в котором сказано, что персонал должен

<sup>9</sup> Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment AB — 505 Edition 3, Revision 0 – Issued 2021-10-29.

<sup>10</sup> Там же.

быть обучен работе с ним и иметь понимание, как качество вводимых данных может повлиять на результаты расчетов<sup>11</sup>.

Возможность применения специализированного ПО [12] обусловлена необходимостью подтверждения его соответствия установленным целям, а также тем, что основные методы расчета соответствуют требованиям законодательства.

### 3. Обсуждение результатов внедрения ИУФР

Ситуация в части применения ИУФР в мире неоднородна. В некоторых странах ИУФР признана адекватной альтернативой регламентированному подходу и закреплена на законодательном уровне. Например, в ЮАР эксплуатирующим организациям разрешается внедрение ИУФР в соответствии с действующими НТД в области охраны труда и промышленной безопасности. В таком случае ИУФР должна быть проверена независимым органом по сертификации и утверждена инспектором надзорного органа<sup>12</sup>. В то же время есть страны, которые придерживаются только регламентированного подхода. Так, например, в Канаде действующими НТД регламентируются конкретные периоды и объемы ТО в зависимости от условий эксплуатации технических устройств<sup>13</sup>.

Существуют и исключительные подходы к организации ТО. Так, например итальянское законодательство очень осторожно относится к ИУФР. Все аспекты, в том числе периодичность и объемы ТО, подробно рассматриваются курирующими органами власти. В итоге ИУФР может быть принята только в качестве исключения, если эксплуатирующая организация сможет продемонстрировать, что уровень

остаточного риска после внедрения ниже, чем риск, который должен исходить от регламентированного подхода<sup>14</sup>.

В настоящее время Минэкономразвития РФ проводит деятельность в рамках совершенствования системы государственного контроля (надзора). Практическое внедрение и организация ИУФР на предприятиях ТЭК соответствуют направлению развития нашей страны и планам Правительства. Но реализация ИУФР сталкивается с некоторыми правовыми барьерами. В соответствии с действующими НТД РФ ТО технических устройств должно быть организовано на основании указаний организации-изготовителя. В случае отсутствия таких указаний эксплуатирующая организация обязана применять стратегии планово-предупредительных ремонтов, установленные этими НТД. В свою очередь, большинство изготовителей технических устройств также дает указания по организации ТО в строго регламентированных объемах и сроках. Такой подход является обоснованным по причине отсутствия национальных НТД, четко и понятно регламентирующих процессы организации ИУФР, а любая ошибка может привести к довольно негативным последствиям, таким как инцидент или авария на ОПО.

В некоторых случаях эксплуатирующие организации прибегают к отступлениям или дополнениям действующих НТД через обоснование безопасности ОПО, при разработке которого учитываются компенсирующие мероприятия, достаточные для корректной организации ИУФР. Наличие барьеров в части применения ИУФР на фоне отсутствия достаточной базы НТД является обоснованной ситуацией и позволяет снизить риски возникновения инцидентов и аварий на ОПО.

Исключение барьеров в части организации ИУФР позволит снизить уровень административной нагрузки на бизнес за счет оптимизации процедур контроля и существующих разрешительных режимов, тем самым будут достигнуты стратегические цели Правительства РФ.

В странах СНГ, где подход к нормативно-правовому регулированию идентичен подходу РФ, проблема была

<sup>11</sup> API 580 Recommended Practice, 3rd Edition, February 2016 - Risk-Based Inspection.

<sup>12</sup> OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ACT Act 85 of 1993. PRESSURE EQUIPMENT REGULATIONS [Updated to 15 July 2009] GoN R734, G. 32395 (c.i.o 1 October 2009\*). \* Provided that approved inspection authority for in-service inspections shall come into effect on 1 April 2011 on condition that the inspection shall be carried out by an authorised person. The Minister of Labour has, under section 43 of the Occupational Health and Safety Act, 1993 (Act 85 of 1993), after consultation with the Advisory Council for Occupational Health and Safety and the Minister of Finance, made the regulations in the Schedule.

<sup>13</sup> Canada Occupational Health and Safety Regulations. SOR/86-304. Current to March 20, 2023 Last amended on May 2, 2022. Published by the Minister of Justice at the following address: <http://laws-lois.justice.gc.ca>.

<sup>14</sup> Opportunities and Threats of Risk Based Inspections: the new Italian Legislation on Pressure Equipment Inspection. Paolo Bragatto\*<sup>a</sup>, Corrado Delle Site<sup>b</sup>, Angelo Faragnoli<sup>c</sup> a) INAIL Settore Ricerca Certificazione Verifica DIPIA Monteporzio Catone (RM) b) INAIL Settore Ricerca Certificazione Verifica DCC Rome c) Engineering D'Appolonia Group Rome p.bragatto@inail.it.

решена путем внесения изменений в действующие НТД и организации соответствующей методической поддержки. Например, в Казахстане были внесены изменения в нормативно-правовой акт<sup>15</sup>, аналогичный нормативно-правовым актам Ростехнадзора, позволяющие беспрепятственно применять ИУФР при соблюдении соответствующего национального стандарта по организации ТО технических устройств<sup>16</sup>.

Указанный подход может быть реализован в России посредством внесения изменений в соответствующие федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности и разработки методики ИУФР или национального стандарта.

В качестве альтернативного варианта можно рассмотреть опыт России в организации и проведении работ по неразрушающему контролю на ОПО, установленные в приказе от 01.12.2020 № 478<sup>17</sup>, но в разрезе организации ИУФР. При наличии идентичных документов<sup>18</sup> с требованиями к практической реализации ИУФР риск некорректной организации ТО будет максимально снижен.

Каждый из предложенных методов поможет устранить препятствия для внедрения ИУФР при условии надлежащей организации ТО, что, в свою очередь, обеспечит поддержание высокого уровня промышленной безопасности.

<sup>15</sup> Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30.12.2014 № 358 «Об утверждении Правил обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под давлением». [Электронный ресурс]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010303> (дата обращения: 10.12.2023).

<sup>16</sup> Национальный стандарт Республики Казахстан. Промышленность нефтяная и газовая. Техническое освидетельствование оборудования с учетом факторов.

<sup>17</sup> Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2020 № 478 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах». [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/573200379> (дата обращения: 10.12.2023).

<sup>18</sup> Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30.12.2014 № 358 «Об утверждении Правил обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под давлением». [Электронный ресурс]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010303> (дата обращения: 10.12.2023); Национальный стандарт Республики Казахстан. Промышленность нефтяная и газовая. Техническое освидетельствование оборудования с учетом факторов.

## Заключение

ИУФР является эффективным инструментом организации ТО технических устройств. Существующая в настоящее время база НТД России не позволяет обеспечить корректную реализацию ИУФР, что может крайне негативно повлиять на уровень промышленной безопасности ОПО. По этой причине и существуют обоснованные нормативно-правовые барьеры применения ИУФР.

В соответствии с курсом развития нашей страны и планам Правительства необходимо обеспечить условия для беспрепятственного и эффективного применения ИУФР, одновременно гарантируя высокий уровень промышленной безопасности ОПО. Для достижения целей необходимы актуализация действующих НТД, внесение изменений в нормативно-правовые акты, разработка методической базы или национальных стандартов.

Возможность применения ИУФР позволила бы повысить эффективность предприятий за счет внедрения процессов систематического контроля технического состояния технических устройств с целью определения вероятности и последствий их отказа. Этот подход позволит наиболее рационально распределить бюджет и перейти к проведению профилактического обслуживания технических устройств «по состоянию».

## Список источников [References]

1. Терентьев И. А., Омаров Г. О. Типовые мероприятия промышленной безопасности при эксплуатации подземных газохранилищ // Промышленные и строительные технологии. 2016. № 1(3). С. 4–9 [Terentyev I. A., Omarov G. O. Standard industrial safety measures during operation of underground gas storage facilities // Industrial and Construction Technologies. 2016;(1):4–9. (In Russ.)]
2. Бриков А. В., Александрович С. И. Расчет инспекционного интервала с применением риск-ориентированного подхода по методике API RP 581 // Газовая промышленность. 2023. № 2. С. 44–53 [Brikov A. V., Aleksandrovich S. I. Calculation of the inspection interval using the risk-based inspection methodology according to API RP 581 // Gas Industry of Russia. 2023;(2):44–53. (In Russ.)]
3. Бриков А. В., Александрович С. И., Белкин Д. С., Штейн А. М., Осипов С. П. Алгоритм расчета инспекционного интервала технологического трубопровода

с применением риск-ориентированного подхода по методике API 581 // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 4. С. 75–83.

<https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-83> [Brikov A. V., Aleksandrovich S. I., Belkin D. S., Shteyn A. M., Osipov S. P. Algorithm for calculating the inspection interval of a process pipeline using a risk-oriented approach according to the API 581 methodology // Occupational Safety in Industry. 2023;(4):75–83. (In Russ.)

<https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-75-83>]

4. Бриков А. В., Александрович С. И. Риск-ориентированный подход к инспектированию оборудования: современные проблемы и решения // Нефтепромышленное дело. 2023. № 1(649). С. 35–40.

[https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1\(649\)-35-40](https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1(649)-35-40) [Brikov A. V., Alexandrovich S. I. Risk based inspection methodology: current challenges and solutions // Oilfield Engineering. 2023;(1(649)):35–40. (In Russ.)

[https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1\(649\)-35-40](https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1(649)-35-40)]

## Сведения об авторах

**Александрович Сергей Игоревич:** заместитель начальника отдела технического надзора завода СПГ, ООО «Арктик СПГ2»

Количество публикаций: 6

Область научных интересов: промышленная безопасность, технический надзор, инспекция с учетом факторов риска, контроль технического состояния

Scopus Author ID: 58450128700

*Контактная информация:*

Адрес: 629309, г. Новый Уренгой, мкр. Славянский, д. 9, ком. 117

[alexandrovich\\_si@mail.ru](mailto:alexandrovich_si@mail.ru)

**Бриков Александр Валерьевич:** кандидат технических наук, начальник сектора материаловедения и коррозии управления целостности, ООО «Сахалинская Энергия»

Количество публикаций: 60

Область научных интересов: теоретические и практические аспекты коррозии, технического надзора, инспекции с учетом факторов риска

Scopus Author ID: 16644748900

SPIN-код: 7348-0067

*Контактная информация*

Адрес: 693020, г. Южно-Сахалинск, ул. Дзержинского, 35

[alex\\_v\\_brikov@list.ru](mailto:alex_v_brikov@list.ru)

**Климова Ирина Викторовна:** кандидат технических наук, доцент, Высшая школа техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)

Количество публикаций: 115

Область научных интересов: охрана труда, промышленная безопасность, оценка профессиональных рисков, оценка риска возникновения аварий

ResearcherID: AAF-6826-2021

Scopus Author ID: 57209226546

ORCID: 0000-0002-9849-3995

SPIN-код: 8467-5126

*Контактная информация:*

Адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, Гидрокорпус-1

[bgd4@mail.ru](mailto:bgd4@mail.ru)

**Приймачук Сергей Павлович:** начальник отдела технического обслуживания и ремонта департамента производств СПГ, ПАО «НОВАТЭК»

Количество публикаций: 1

Область научных интересов: техническое обслуживание и ремонт, технический надзор, инспекция с учетом факторов риска

Scopus Author ID: 59167806400

*Контактная информация:*

Адрес: 119313, г. Москва, Ленинский проспект, д. 90/2

Статья поступила в редакцию: 27.04.2024

После доработки: 11.06.2024

Одобрена после рецензирования: 08.09.2024

Принята к публикации: 23.09.2024

Дата публикации: 27.12.2024

*The article was submitted: 27.04.2024*

*Received after reworking: 11.06.2024*

*Approved after reviewing: 08.09.2024*

*Accepted for publication: 23.09.2024*

*Date of publication: 27.12.2024*

УДК 621.643  
Научная специальность: 5.2.6

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Расчет инспекционного интервала трубного пучка теплообменника с применением риск-ориентированного подхода по методологии API 581

**Боровикова С.А.\***,  
**Липатов Р.А.**,  
**Александрович С.И.**,  
**Бриков А.В.**,  
Арктик СПГ 2,  
629309, Россия,  
г. Новый Уренгой,  
мкр. Славянский, д. 9, ком. 117

## Аннотация

В статье приведен пример использования методологии, описанной в стандарте API 581 3rd Edition, для расчета инспекционного интервала трубного пучка теплообменника. Детально описаны: ход расчета; концепция определения вероятности последствий, а также риска отказа. Показано, что методика API 581 3rd Edition является эффективным инструментом, позволяющим обеспечить допустимые значения уровня риска. Приведено сравнение интервалов инспекции при наличии и отсутствии инспекционных данных при максимальной допустимой вероятности отказа.

**Ключевые слова:** инспекция с учетом факторов риска; риск-ориентированный подход к инспекции; теплообменник; отказ; API 581.

**Для цитирования:** Боровикова С.А., Липатов Р.А., Александрович С.И., Бриков А.В. Расчет инспекционного интервала трубного пучка теплообменника с применением риск-ориентированного подхода по методологии API 581 // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 89–99.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

# Calculation of Inspection Interval of Heat Exchanger Tube Bundle Using Risk-Based Approach According to API 581 Methodology

**Sofya A. Borovikova \***,  
**Roman A. Lipatov**,  
**Sergey I. Alexandrovich**,  
**Alexander V. Brikov**,  
ARCTIC LNG 2,  
Slavyansky Microdistrict, 9,  
off. 117, Novy Urengoy, 629309,  
Russia,

## Abstract

This article provides an example of using the methodology described in API 581 3rd Edition to calculate the inspection interval of a heat exchanger tube bundle. The calculation process, the concept of determining the probability, consequences, and risk of failure are described in detail. API 581 3rd Edition has been shown to be an effective tool for achieving acceptable risk levels. A comparison of inspection intervals in the presence and absence of inspection data at the maximum permissible probability of failure is given.

**Keywords:** risk-based inspection; risk-based approach to inspection; heat exchanger; failure; API 581.

**For citation:** Borovikova S.A., Lipatov R.A., Alexandrovich S.I., Brikov A.V. // Issues of Risk Analysis. 2024;21(6):89-99. (In Russ.).

**The authors declares no conflict of interest.**

## Содержание

Введение

1. Объект исследования
2. Методология исследования
3. Обсуждение результатов

Заключение

Список источников

## Введение

Регламентные сроки проведения технического освидетельствования кожухотрубных теплообменников в Российской Федерации устанавливаются предприятием-изготовителем оборудования и должны соответствовать отраслевым требованиям, указанным в [1]. При отсутствии требований к периодичности освидетельствования в руководстве по эксплуатации она назначается с учетом фактической или ожидаемой скорости коррозии. Трубные пучки кожухотрубных теплообменников относятся к оборудованию закрытой системы добычи, переработки и подготовки углеводородов и не подлежат учету в органах Ростехнадзора<sup>1</sup>. В соответствии с этим устанавливаются следующие сроки освидетельствования:

- инспекции с периодичностью 12 месяцев подлежат сосуды, работающие со средой, вызывающей коррозионные разрушения со скоростью  $> 0,1$  мм/год;
- инспекции с периодичностью два года подлежат сосуды, работающие со средой, вызывающей коррозионные разрушения со скоростью  $< 0,1$  мм/год;
- гидравлические испытания должны проводиться не реже, чем один раз в восемь лет.

Зарубежный подход к инспекции теплообменников отличается от российского подхода. В соответствии с API 510<sup>2</sup> кожухотрубные теплообменники относятся к оборудованию, работающему под давлением, на которое распространяются те же требования, что и к сосудам под давлением (рекомендации по проведению инспекции различных типов теплообменников приведены в API 572<sup>3</sup>). Таким образом, по умолчанию инспекционные интервалы должны устанавливаться на основе требований изготовителя, но не реже:

- одного раза в пять лет — для наружного осмотра<sup>4</sup>;
- половины оставшегося срока службы или десять лет (в зависимости от того, что меньше) — для внутренней инспекции<sup>5</sup>.

Основным отличием зарубежных принципов обеспечения промышленной безопасности является

<sup>1</sup> Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 536 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением».

<sup>2</sup> API 510, Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair and Alteration, 11th edition 2014.

<sup>3</sup> API 572 Inspection Practices for Pressure Vessels, 5th edition 2023.

<sup>4</sup> API 510, Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair and Alteration, 11th edition 2014.

<sup>5</sup> Там же.

определение периодичности инспекции на основе методик риск-ориентированного подхода (инспекция с учетом факторов риска — ИУФР), т.е. исходя из совокупной оценки вероятности отказа и его последствий. Существует ряд методических рекомендаций по применению ИУФР<sup>6</sup>.

Отказ по трубному пучку теплообменника обычно не приводит к последствиям для промышленной безопасности (выбросу токсических веществ, возгоранию и т.д.). Риск отказа определяется экономическими последствиями, вызванными простоем технологического оборудования и необходимостью его ремонта или замены. Во многом исходя из этого, в 2008 г. Стандарт<sup>7</sup> был дополнен методикой расчета межинспекционного интервала трубных пучков.

Имеется достаточное количество зарубежных работ, посвященных применению ИУФР к разработке графика инспекции трубных пучков [1, 2]. В Российской Федерации методы ИУФР в настоящий момент менее распространены, что связано с отсутствием нормативно-технического обеспечения этого процесса. Отечественные примеры применения ИУФР представлены в работах [3–9].

В статье приведен расчет инспекционного интервала трубного пучка теплообменника на основании методики риск-ориентированного подхода к инспекции по API 581<sup>8</sup>. Реализация методики расчета, предложенной в статье, включает в себя четыре основных шага: определение вероятности отказа; расчет последствий отказа; анализ риска; расчет инспекционного интервала.

## 1. Объект исследования

Объект исследования — горизонтальный кожухотрубный теплообменник, использующийся для охлаждения газа. Изготовлен в соответствии со стандартом «ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)».

Размеры теплообменника составляют 965x3048 мм, максимальная рабочая температура и давление 177 °C и 9410 кПа изб. (корпус), 71 °C и 517 кПа изб. (трубная секция). Максимально допустимая скорость потока в трубной секции — 1,43 м/сек. Минимальная

<sup>6</sup> API 580 Risk-based Inspection, 3th edition 2016; API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016; ASME PCC-3 — 2023, Inspection Planning Using Risk-based Methods.

<sup>7</sup> API 580 Risk-based Inspection, 3th edition 016.

<sup>8</sup> API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016.

температура эксплуатации –35 °С. Корпус изготовлен из углеродистой стали марки ASTM SA516–70N, имеет допуск на коррозию 3 мм. Трубная секция состоит из 564 U-образных трубок внешним диаметром 19 мм с толщиной стенки 3,4 мм, изготовленных из медно-никелевого сплава марки SB111-C70600. В качестве охлаждающей среды используется вода.

## 2. Методология исследования

Одним из подходов для определения инспекционных интервалов в нефтяной и нефтехимической промышленности является методология, которая определяет риск отказа пучка теплообменника как комбинацию вероятности отказа (Probability of Failure — *PoF*) в установленный период и его последствий (Consequence of Failure — *CoF*)<sup>9</sup>. Математически данный параметр выражается формулой:

$$Risk_f^{tube} = P_f^{tube} \times C_f^{tube}, \quad (1)$$

где:

$Risk_f^{tube}$  — риск отказа пучка теплообменника;  
 $P_f^{tube}$  — вероятность отказа пучка теплообменника;  
 $C_f^{tube}$  — последствия отказа пучка теплообменника.

Расчет  $P_f^{tube}$  проводится с учетом вероятного механизма деградации, а также проектных параметров и эксплуатационных условий.  $P_f^{tube}$  для пучка теплообменника с использованием двухпараметрического распределения Вейбулла рассчитывается по формуле:

$$P_f^{tube} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right], \quad (2)$$

где:

$\beta$  — параметр формы распределения Вейбулла;  
 $\eta$  — параметр масштаба распределения Вейбулла, лет;  
 $t$  — время в годах.

Стандарт<sup>10</sup> предусматривает четыре метода расчета вероятности отказа, выбор которых зависит от имеющихся исходных данных.

*Метод 1.* Оценка вероятности отказа осуществляется на основании статистических данных по отказам

<sup>9</sup> API 580 Risk-based Inspection, 3th edition 2016; API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016; ASME PCC-3 — 2023, Inspection Planning Using Risk-based Methods.

<sup>10</sup> API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016.

аналогичного оборудования, представленных в собственных или отраслевых базах, например, OREDA [10], с последующим построением распределения Вейбулла и выполнением анализа Вейбулла-Байеса. Преимущество этого метода заключается в возможности принятия обоснованных решений при значительно меньшем количестве данных об отказах, в отличие от других статистических распределений. В табл. 8.1<sup>11</sup> приведены требования к данным, используемым в качестве критериев соответствия (аналогичное строение, температура, давление, технологическая среда, механизм деградации) при составлении собственной базы данных отказов.

*Метод 2.* Применяется, когда у пользователя имеются собственные параметры распределения Вейбулла  $\eta$  и  $\beta$ . Для определения вероятности отказа пучка как функции времени используется формула (2).

*Метод 3.* Используется при наличии значений средней наработки на отказ. Если параметр  $\beta$  известен (в стандарте API 581 допускается по умолчанию принять этот параметр равным трем), параметр  $\eta$  может быть рассчитан с помощью гамма-функции по формуле:

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma\left[1 + \frac{1}{\beta}\right], \quad (3)$$

где:

$MTTF$  — средняя наработка до отказа;  
 $\Gamma$  — гамма-функция.

*Метод 4.* При наличии результатов, по меньшей мере двух сроков службы пучка, можно выполнить анализ Вейбулла-Байеса. При этом параметр  $\beta$  рассчитывается по методу 1, а параметр  $\eta$  по формуле:

$$\eta = \left(\sum_{i=1}^N \frac{t_{dur,i}^\beta}{r}\right)^{\frac{1}{\beta}}, \quad (4)$$

где:

$t_{dur,i}^\beta$  — время жизни для  $i$ -го пучка, лет;  
 $N$  — объем выборки.

## 3. Обсуждение результатов

В рассматриваемом случае наиболее подходящим для расчета является метод 1 ввиду отсутствия параметров  $\eta$ ,  $\beta$  или  $MTTF$ . В качестве исходной информации

<sup>11</sup> API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016.

для проведения расчета использовали данные об отказах пучков описанного и аналогичных ему теплообменников. Технологические параметры, материалы и механизм деградации на протяжении эксплуатации не изменялись. Нарботка пучков теплообменников представлена в табл. 1.

**Таблица 1. Нарботка на отказ пучков теплообменников**

Table 1. Time between failures of heat exchanger bundles

Идентификационный номер	Нарботка (t), лет	Факт отказа зафиксирован
T1	7,50	Да
T2	8,75	Да
T3	5,00	Да
T4	3,50	Да
T5	5,63	Да
T6	4,30	Да
T7	6,88	Да
T8	4,58	Нет

Для определения параметров  $\eta$  и  $\beta$  распределения Вейбулла использовали графический метод. При небольшом объеме выборки график строили в координатах  $X(\ln(t))$  от  $Y(\ln(1/\ln(1 - F(i))))$ . Пример использования электронных таблиц для расчета  $\eta$  и  $\beta$  графическим методом приведен в приложении Е<sup>12</sup>. Алгоритм построения графика с использованием электронных таблиц выглядит следующим образом:

1) данные об отказах располагают в порядке возрастания;

2) рассчитывают медиану ранга  $F_i(t)$  с использованием приближения Бернарда:

$$F(i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)}, \quad (5)$$

где:

$F(i)$  — медиана ранга;

$i$  — скорректированный ранг.

Факт отказа фиксировался при каждой замене трубного пучка теплообменника, кроме Т8 (см. табл. 1), когда была проведена замена на пучок из другого материала. При наличии в выборке наработок до отказа

<sup>12</sup> ГОСТ Р 50779.27-2017. Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146523>.

«приостановленных» (цензурированных) объектов их включают в анализ и производят расчет скорректированного ранга для отказавших единиц оборудования (приложение Е.2<sup>13</sup>) по формуле:

$$i = \frac{i_{reverse} \cdot i_{n-1} + (N+1)}{i_{reverse} + 1}, \quad (6)$$

где:

$i_{reverse}$  — исходный ранг (ранги располагаются в порядке убывания);

$i_{n-1}$  — предыдущий скорректированный ранг;

$N$  — общее количество отказавших и приостановленных объектов (объем выборки).

3) рассчитывают  $X_i = \ln(t_i)$  и  $Y_i = (\ln(1/\ln(1 - F(i))))$ ;

4) строят график  $X$  от  $Y$  (тип графика — точечная диаграмма), добавляют прямую линейной регрессии, уравнение прямой в виде  $y = kx + b$  и коэффициент детерминации  $R^2$ ;

5) проводят проверку соответствия распределению Вейбулла на основе значения коэффициента детерминации  $R^2$ ;

6) расчет параметров  $\beta$  и  $\eta$  производят по формулам (7) и (8):

$$\beta = \frac{1}{k}, \quad (7)$$

где  $k$  — угловой коэффициент прямой линии регрессии:

$$\eta = e^b, \quad (8)$$

где  $b$  — коэффициент сдвига прямой линии регрессии вдоль оси  $Y$ .

Результаты анализа данных для трубного пучка объекта исследования графическим методом представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Оценка коэффициента  $R^2 = 0,98$  подтверждает соответствие выборки распределению Вейбулла. Рассчитаем параметры распределения по формулам (7) и (8),

$$\beta = 1/0,287 = 3,486;$$

$$\eta = \exp(1,905) = 6,718.$$

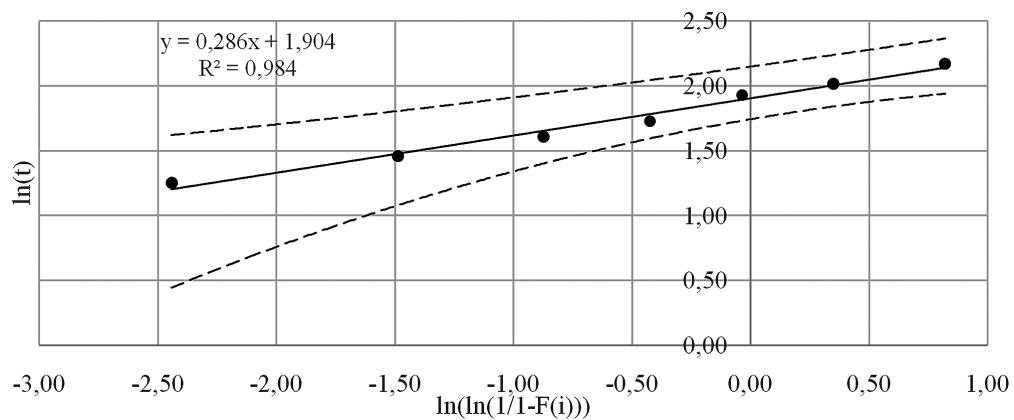
Таким образом, вероятность отказа пучка теплообменника ЕХ-0203 выражается двухпараметрической функцией распределения Вейбулла:

<sup>13</sup> ГОСТ Р 50779.27-2017. Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146523>.

**Таблица 2. Результаты анализа данных для трубного пучка теплообменника**

Table 2. Data analysis results for heat exchanger bundle

Исходный ранг, $i_{reverse}$	Скорректированный ранг, $i$	Наработка $t_i$ , лет	Медиана ранга $F(i)$	$X_i = (\ln(1/\ln(1 - F(i))))$	$Y_i = \ln(t_i)$
8	1,00	3,50	0,08	1,25	-2,44
7	2,00	4,30	0,20	1,46	-1,49
6	(приостановленный)	4,58			
5	3,17	5,00	0,34	1,61	-0,87
4	4,33	5,63	0,48	1,73	-0,42
3	5,50	6,88	0,62	1,93	-0,04
2	6,67	7,50	0,76	2,01	0,35
1	7,83	8,75	0,90	2,17	0,82



**Рис. 1. Представление данных для графического анализа**

Figure 1. Presenting data for graphical analysis

$$P_f^{tube} = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t}{6,718} \right)^{3,486} \right]. \quad (9)$$

График зависимости вероятности отказа пучка теплообменника от времени эксплуатации представлен на рис. 2.

Экономические последствия зависят от отказа трубного пучка и включают затраты, связанные с упущенной прибылью из-за простоя производства, отрицательным воздействием на окружающую среду, техническим обслуживанием и заменой пучка. При отказе пучка теплообменника такие последствия, как воздействие на человека и возгорание, не рассматриваются. Последствия отказа пучка определяют по формуле:

$$C_f^{tube} = Cost_{prod} + Cost_{env} + Cost_{bundle} + Cost_{maint}, \quad (10)$$

где:

$C_f^{tube}$  — экономические последствия отказа, руб.;

$Cost_{prod}$  — затраты, связанные с упущенной прибылью из-за простоя производства, руб.;

$Cost_{env}$  — затраты, связанные с отрицательным воздействием на окружающую среду, руб.;

$Cost_{bundle}$  — стоимость замены трубного пучка, руб.;

$Cost_{maint}$  — затраты, связанные с техническим обслуживанием пучка и подготовкой к последующей инспекции или замене, руб.

Затраты, связанные с упущенной прибылью из-за простоя производства, определяют по формуле:

$$Cost_{prod} = Unit_{prod} \cdot \left( \frac{Rate_{red}}{100} \right) \cdot D_{sd}, \quad (11)$$

где:

$Unit_{prod}$  — ежедневная прибыль, получаемая от эксплуатации установки, руб.;

$Rate_{red}$  — снижение производства в результате вывода оборудования из эксплуатации, %;



Рис. 2. Зависимость вероятности отказа пучка теплообменника от времени эксплуатации

Figure 2. Dependence of probability of heat exchanger bundle failure on operation time

$D_{sd}$  — время, необходимое для незапланированного ремонта оборудования, день.

Параметр  $Unit_{prod}$  является произведением суточной производительности установки в баррелях/день на стоимость одного барреля нефти. В результате вывода охладителя газа из эксплуатации ожидается снижение производства ( $Rate_{red}$ ) на 10% (т.к. основным продуктом установки является нефть). По оценке ремонт будет проведен ( $D_{sd}$ ) в течение трех дней.

Затраты, связанные с заменой пучка, были рассчитаны по формуле:

$$Cost_{bundle} = \frac{1,98 \cdot \left( \frac{\pi D_{shell}^2}{4} \right) \cdot L_{tube} \cdot M_f}{V_{bundle}}, \quad (12)$$

где:

$D_{shell}$  — внутренний диаметр кожуха теплообменника, равный 0,965 м;

$L_{tube}$  — длина трубки теплообменного пучка, равная 3,048 м;

$M_f$  — коэффициент стоимости материала (табл. 8.3<sup>14</sup>), равный 3,5;

$V_{bundle}$  — объем типового пучка из углеродистой стали  $d=800$  мм  $l=6$  м, равный 3,016 м<sup>3</sup>;

1,98 — коэффициент, учитывающий стоимость замены типового пучка из углеродистой стали, млн руб.

В соответствии со стандартом API 581 затраты на замену типового пучка из углеродистой стали составляют 22 тыс. долл. США или ~ 1,98 млн руб.

Затраты, связанные с отрицательным воздействием на окружающую среду ( $Cost_{env}$ ), для рассматриваемого случая, где охлаждающей средой является вода, а охлаждаемой — природный газ, отсутствуют. Затраты на техобслуживание, связанное с инспекцией и заменой пучка ( $Cost_{maint}$ ), по оценке составляют ~ 2,25 млн руб.

В этом случае последствия отказа пучка составят:

$$C_f^{tube} = 144 \cdot \left( \frac{10}{100} \right) \cdot 3 + 0 + 1,98 \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 0,965^2}{4} \right) \cdot 3,048 \cdot 3,5 + \frac{3,016}{3,016} + 2,25. \\ C_f^{tube} = 50,6 \text{ млн руб.}$$

Максимально допустимую вероятность отказа пучка в зависимости от последствий отказа и максимально допустимого уровня риска можно выразить из формулы (1), получив:

$$P_{f,max}^{tube} = \frac{Risk_{igt}}{C_f^{tube}}, \quad (13)$$

где:

$P_{f,max}^{tube}$  — максимально допустимая вероятность отказа пучка;

$Risk_{igt}$  — максимально допустимый уровень риска, руб.

Максимально допустимый уровень риска  $Risk_{igt}$  определяется пользователем при принятии решений и составляет в рассматриваемом случае 9 млн руб. Так, приемлемым уровнем риска для Общества является

<sup>14</sup> API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016.

ТЯЖЕСТЬ	ПОСЛЕДСТВИЯ		ВЕРОЯТНОСТЬ ПОСЛЕДСТВИЙ				
	Имущество	Критерий	А	В	С	Д	Е
			Никогда не имело место в отрасли	Имело место в отрасли	Имело место в Обществе или более одного раза в год в отрасли	Случалось на объекте или более одного раза в год в Обществе	Имело место несколько раз в год на объекте
0	Без ущерба	Отсутствие экономических последствий					
1	Незначительный ущерб	Экономические последствия не превышают 9 млн руб.					
2	Небольшой ущерб	Экономические последствия от 9 млн руб. до 90 млн руб.					
3	Умеренный ущерб	Экономические последствия от 90 млн руб. до 900 млн руб.					
4	Значительный ущерб	Экономические последствия от 900 млн руб. до 9 млрд руб.					
5	Крупный ущерб	Экономические последствия превышают 9 млрд руб.					

Рис. 3. Матрица оценки рисков предприятия

Figure 3. Enterprise risk assessment matrix

событие, находящееся в «синей зоне» матрицы оценки риска (участка А4–Е1) (рис. 3). Мы знаем, что отказы этого оборудования на предприятии происходили (категория вероятности D). При такой категории вероятности для удержания риска на приемлемом уровне категория последствий не должна превышать единицы (или 100 тыс. долл. США ~ 9 млн руб.).

Таким образом, максимально допустимая вероятность отказа для описываемого примера составит:

$$P_{f,max}^{tube} = \frac{9,0}{50,6} = 0,18.$$

Рекомендованный инспекционный интервал при максимально допустимой вероятности отказа 0,18 определяется по формуле:

$$t = \eta \cdot \left( -\ln [1 - P_{f,max}^{tube}] \right)^{\frac{1}{\beta}};$$

$$t = 6,718 \cdot \left( -\ln [1 - 0,18] \right)^{\frac{1}{3,486}};$$

$$t = 4,21 \text{ лет.} \tag{14}$$

Методология API 581<sup>15</sup> позволяет проводить переоценку интервала инспекции при появлении дополнительной информации, полученной в ходе инспекции. Скорость коррозии трубного пучка определяется по формуле:

$$t_{rate} = \frac{\bar{t}_{orig} - \bar{t}_{insp}}{t_{dur}}, \tag{15}$$

где:

- $t_{rate}$  — скорость коррозии, мм/год;
- $\bar{t}_{orig}$  — номинальная толщина стенки, мм;
- $\bar{t}_{insp}$  — толщина стенки, измеренная во время инспектирования, мм;
- $t_{dur}$  — срок службы с момента ввода в эксплуатацию до момента инспектирования, лет.

По данным инспекции пучка теплообменника скорость коррозии составила 0,5 мм/год. Прогнозируемый

<sup>15</sup> API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016.

на основе инспекционных данных срок службы рассчитан по формуле:

$$PBL_{adj} = \frac{RWT_f \cdot \bar{t}_{orig}}{t_{rate}}, \quad (16)$$

где:

$PBL_{adj}$  — прогнозируемый срок службы пучка теплообменника с использованием данных инспекции, лет;

$RWT_f$  — коэффициент для учета неопределенности при расчете скорости коррозии.

В рассматриваемом случае из-за большого объема проинспектированных трубок (высокая достоверность оценки скорости коррозии) коэффициент  $RWT_f$  принят равным 0,9. Прогнозируемый срок службы пучка теплообменника  $PBL_{adj}$  составит:

$$PBL_{adj} = \frac{0,9 \cdot 3,4}{0,5},$$

$$PBL_{adj} = 6,12 \text{ года.}$$

Следующим шагом является определение модифицированного параметра  $\eta_{mod}$  по формуле:

$$\eta_{mod} = \left( \frac{1}{r} \cdot \sum_{i=1}^N t_i^\beta \right)^{\frac{1}{\beta}}, \quad (17)$$

где:

$\eta_{mod}$  — модифицированный параметр масштаба распределения Вейбулла, лет;

$r$  — количество отказавших пучков за срок службы теплообменника;

$t_i^\beta$  — время жизни для  $i$ -го пучка, лет.

Модификация параметра  $\eta$  осуществляется при добавлении прогнозируемого срока службы пучка, рассчитанного по формуле (16), в исходную выборку отказов (табл. 1). Параметр  $\beta$  остается таким же, как и для исходной кривой Вейбулла. В основе анализа Вейбулла-Байеса лежит предположение о том, что одинаковый механизм отказа приводит к одинаковому значению параметра формы. Получим следующее выражение:

$$\eta_{mod} = \left( \frac{1}{8} \cdot ((3,50)^{3,486} + (4,30)^{3,486} + (4,58)^{3,486} + (5,00)^{3,486} + (5,63)^{3,486} + (6,88)^{3,486} + (7,50)^{3,486} + (8,75)^{3,486} + (6,12)^{3,486}) \right)^{\frac{1}{3,486}};$$

$$\eta_{mod} = 6,533 \text{ лет.}$$

По формуле (14) рассчитаем новый инспекционный интервал с учетом изменения параметра  $\eta$ :

$$t = 6,533 \cdot (-\ln[1 - 0,18])^{\frac{1}{3,486}};$$

$$t = 4,09 \text{ лет.}$$

Таким образом, с учетом инспекционных данных рекомендуемый инспекционный интервал при максимальной приемлемой вероятности отказа 18% для пучка уменьшился с 4,21 лет до 4,09 лет. В случае применения подхода в соответствии с приказом Ростехнадзора<sup>16</sup> интервал инспекции при скорости коррозии >0,1 мм/год должен составлять 12 месяцев, что в четыре раза чаще, чем по методике, приведенной в этой статье.

## Заклучение

Риск-ориентированный подход в мировой практике является широко применяемым и хорошо зарекомендовавшим себя инструментом обеспечения целостности оборудования. В статье представлен пример расчета интервала инспекции для трубного пучка охладителя компрессора по методике, представленной в стандарте API 581<sup>17</sup>, в основу которого положен вероятностный подход к определению риска отказа. В результате расчета и с учетом графика технического обслуживания предприятия интервал инспекции составил четыре года. Для сравнения, при регламентированном подходе, который предлагается в приказе Ростехнадзора<sup>18</sup>, внутренний осмотр должен быть проведен через один год с начала эксплуатации.

С развитием методов организации производства должны совершенствоваться и методы обеспечения его безопасности. В настоящее время в Российской Федерации применение риск-ориентированного подхода к инспекции производственных объектов затрудняется из-за несовершенства нормативно-правовой базы. Решение этой проблемы позволит повысить эффективность производства, сократив время простоя оборудования на проведение инспекций без ущерба для его безопасности.

<sup>16</sup> Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 536 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением».

<sup>17</sup> API 581 Risk-Based Inspection Methodology 3th edition 2016.

<sup>18</sup> Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 536 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением».

## Список источников [References]

1. Prayoga Dharma Gita Surya, Dwi Priyanta and Nurhadi Siswanto. Comparative Analysis of Probability of Failure Determination Using Weibull Distribution and Generic Failure Frequencies on Heat Exchanger Tube Bundles Based on API 581 // *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*. 2018;2(3):210–215  
<https://doi.org/10.12962/j25481479.v2i3.3576>
2. Elwerfalli, A.; Alsadaie, S.; Mujtaba, I. M. Estimation of Shutdown Schedule to Remove Fouling Layers of Heat Exchangers Using Risk-Based Inspection (RBI). *Processes* 2021, 9, 2177 <https://doi.org/10.3390/pr9122177>
3. Бриков А. В., Александрович С. И. Риск-ориентированный подход к инспектированию оборудования. Современные проблемы и решения. // *Нефтепромысловое дело*. 2023. № 1(649). С. 35–40.  
[https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1\(649\)-35-40](https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1(649)-35-40) [Brikov A. V., Alexandrovich S. I. Risk based inspection methodology: current challenges and solutions // *Oilfield Engineering*. 2023(1):35–40. (In Russ.)  
[https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1\(649\)-35-40](https://doi.org/10.33285/0207-2351-2023-1(649)-35-40)]
4. Сингуров А. А., Дерябин П. Г. Инспекция оборудования с учетом факторов риска в компании «Сахалин Энерджи» // *Газовая промышленность*. 2018. № 12 (778). С. 114–121 [Singurov A. A., Deryabin P. G. Risk-based inspection in Sakhalin Energy Company // *GAS Industry of Russia*. 2018;(12):114–121. (In Russ.)]
5. Вертинская О. В., Климова И. В., Бриков А. В., Александрович С. И. Сравнение методик расчета инспекционного интервала при реализации риск-ориентированного подхода к инспекции технологического оборудования // *Безопасность труда в промышленности*. 2023. № 7. С. 21–27.  
<https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-7-21-27> [Vertinskaya O.V., Klimova I.V., Brikov A.V., Alexandrovich S.I. Comparison of methods for calculating the inspection interval in the implementation of a risk-based approach to the inspection of the process equipment // *Occupational Safety in Industry*. 2023;(7):21–27. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-7-21-27>]
6. Хайдер С., Марк Ф., Лисанов М. В., Кручинина И. А. Зарубежный опыт использования риск-ориентированного подхода при эксплуатации технических устройств на нефтегазовых объектах // *Безопасность труда в промышленности*. 2015. № 8. С. 24–30 [Haider S., Mark F., Lisanov M.V., Kruchinina I. A. Foreign experience in using a risk-based approach when operating technical devices at oil and gas facilities // *Occupational Safety in Industry*. 2015;(8):24–30. (In Russ.)]
7. Бриков А. В., Александрович С. И. Расчет инспекционного интервала с применением риск-ориентированного подхода по методике API RP 581 // *Газовая промышленность*. 2023. № 2. С. 44–53 [Brikov A. V., Alexandrovich S. I. Calculation of the inspection interval using the risk-based inspection methodology according to API RP 581 // *Gas Industry of Russia*. 2023;(2):44–53. (In Russ.)]
8. Бриков А. В., Александрович С. И., Белкин Д. С., Штейн А. М., Осипов С. П. Алгоритм расчета инспекционного интервала технологического трубопровода с применением риск-ориентированного подхода по методике API 581 // *Безопасность труда в промышленности*. 2023. № 4. С. 75–83.  
<https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-75-83> [Brikov A. V., Alexandrovich S. I., Belkin D. S., Shteyn A. M., Osipov S. P. Algorithm for calculating the inspection interval of a process pipeline using a risk-oriented approach according to the API 581 methodology // *Occupational Safety in Industry*. 2023;(4):75–83. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-75-83>]
9. Бриков А. В., Александрович С. И., Климова И. В. Расчет инспекционного интервала пружинного предохранительного клапана с применением риск-ориентированного подхода по методике API RP 581 // *Газовая промышленность* 2023. № 11(856). С. 116–127 [Brikov A. V., Alexandrovich S. I., Klimova I. V. Calculation of inspection interval for spring safety valve using risk-based approach according to API RP 581 methodology // *Gas Industry of Russia*. 2023;(11):116–127. (In Russ.)]
10. SINTEF (2002) Offshore Reliability Data (OREDA). A Handbook Prepared by SINTEF Technology and Society on the Behalf of the OREDA Project, 4th Edition. ISBN 82-14-02705-5. 2002. p. 408.

**Боровикова Софья Агакишевна:** инженер по коррозии, ООО «Арктик СПГ 2»

Количество публикаций: 5

Область научных интересов: теоретические и практические аспекты коррозии, технического надзора, инспекции с учетом факторов риска

*Контактная информация:*

Адрес: 629309, г. Новый Уренгой, мкр. Славянский, д. 9, ком. 117  
sofiya.borovikova@sakhalin2.ru

**Липатов Роман Александрович:** инженер по коррозии, ООО «Арктик СПГ 2»

Количество публикаций: 2

Область научных интересов: материаловедение и технологии материалов, теоретические и практические аспекты коррозии, технического надзора, инспекции с учетом факторов риска

*Контактная информация:*

Адрес: 629309, г. Новый Уренгой, мкр. Славянский, д. 9, ком. 117

Roman.lipatoff@gmail.com

**Александрович Сергей Игоревич:** заместитель начальника отдела технического надзора завода СПГ, ООО «Арктик СПГ 2»

Количество публикаций: 6

Область научных интересов: промышленная безопасность, технический надзор, инспекция с учетом факторов риска, контроль технического состояния

Scopus Author ID: 58450128700

*Контактная информация:*

Адрес: 629309, г. Новый Уренгой, мкр. Славянский, д. 9, ком. 117

alexandrovich\_si@mail.ru

**Бриков Александр Валерьевич:** кандидат технических наук, начальник сектора материаловедения и коррозии управления целостности, ООО «Арктик СПГ 2»

Количество публикаций: 60

Область научных интересов: теоретические и практические аспекты коррозии, технического надзора, инспекции с учетом факторов риска

Scopus Author ID: 16644748900

SPIN-код: 7348-0067

*Контактная информация:*

Адрес: 629309, г. Новый Уренгой, мкр. Славянский, д. 9, ком. 117

alex\_v\_brikov@list.ru

Статья поступила в редакцию: 03.06.2024

Одобрена после рецензирования: 03.09.2024

Принята к публикации: 23.09.2024

Дата публикации: 27.12.2024

*The article was submitted: 03.06.2024*

*Approved after reviewing: 03.09.2024*

*Accepted for publication: 23.09.2024*

*Date of publication: 27.12.2024*

УДК 001.5: 004.896  
Научная специальность: 5.2.6

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Прогноз развития науки и техники: подход к оценке качества

## Дурнев Р.А.,

Российская академия ракетных и артиллерийских наук,  
107564, Россия, г. Москва,  
1-я Мясниковская ул.,  
д. 3, стр. 3

## Жданенко И.В.\*,

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий),  
121352, Россия, г. Москва,  
ул. Давыдовская, д. 7

## Кладухин А.Н.,

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
125993, Россия, г. Москва,  
Волоколамское шоссе, д. 4

## Аннотация

Предложен подход к оценке качества научно-технологических прогнозов развития науки и техники в области обеспечения обороны страны и безопасности государства. Использование такого подхода при разработке соответствующих методов и методик позволит обоснованно принимать решения в указанной области.

**Ключевые слова:** стратегическое планирование; прогноз; метод оценки качества; функционально-технологическая модель; перспективный образец.

**Для цитирования:** Дурнев Р.А., Жданенко И.В., Кладухин А.Н. Прогноз развития науки и техники: подход к оценке качества // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 100–107.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

# Forecast of Science and Technology Development: an Approach to Quality Assessment

**Roman A. Durnev,**

Russian Academy of Missile and Artillery Sciences,  
1-ya Myasnikovskaya str., 3/3,  
Moscow, 107564, Russia

**Irina V. Zhdanenko\*,**

Federal State Budgetary Establishment "All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia" (Federal Science and High Technology Center),  
Davydkovskaya str., 7, Moscow, 121352, Russia

**Alexander N. Kladukhin,**

Moscow Aviation Institute (National Research University),  
Volokolamskoe shosse, 4,  
Moscow, 125993, Russia

**Abstract**

An approach to assessing the quality of scientific and technological forecasts for the development of science and technology in the field of ensuring national defense and state security is proposed. Using this approach in developing appropriate methods and techniques will allow making informed decisions in this area.

**Keywords:** strategic planning; forecast; quality assessment method; functional-technological model; promising sample.

**For citation:** Durnev R.A., Zhdanenko I.V., Kladukhin A.N. Forecast of science and technology development: an approach to quality assessment // Issues of Risk Analysis. 2024;21(6):100-107. (In Russ.).

**The authors declares no conflict of interest.**

**Содержание**

Введение

1. Методы оценки качества прогноза развития науки и техники
2. Оценка влияния прогнозируемых научно-технологических результатов

Заключение

Список источников

**Введение**

Анализ показывает, что обеспечение обороны и безопасности государства, в том числе в области защиты от чрезвычайных ситуаций (далее — ЧС) мирного и военного времени, немислимо без наличия в стране эффективной системы стратегического планирования [1]. Под стратегическим планированием, в соответствии с Федеральным законом от 28.06.2014 № 172-ФЗ понимается: «деятельность участников стратегического планирования по целеполаганию, прогнозированию, планированию и программированию социально-экономического развития Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, отраслей экономики и сфер государственного и муниципального управления, обеспечения национальной безопасности

Российской Федерации, направленная на решение задач устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований и обеспечение национальной безопасности Российской Федерации»<sup>1</sup>.

Прогноз, в соответствии с указанным законом,— это документ стратегического планирования, содержащий систему научно обоснованных представлений о направлениях и ожидаемых результатах научно-технологического развития страны и ее субъектов на долгосрочный период. Важнейшим элементом системы

<sup>1</sup> ФЗ РФ от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации». Ст. 3 п. 1.

научно обоснованных представлений о направлениях и ожидаемых результатах научно-технологического развития страны является прогноз развития науки и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства. Основными задачами прогноза применительно к защите населения и территорий от ЧС являются:

- сравнительная оценка уровня науки, техники и технологий в Российской Федерации и за рубежом;
- представление наиболее значимых результатов развития науки, техники и технологий, которые могут быть использованы в интересах снижения рисков ЧС природного, техногенного и иного характера в очередной программный период;
- прогнозные оценки результатов развития науки и техники, которые могут быть достигнуты и использованы в интересах гражданской обороны, предупреждения и ликвидации ЧС;
- формирование приоритетных направлений исследований и разработок в указанной области;
- выявление факторов, влияющих на развитие науки, технологий и техники, и рисков ЧС, которые могут негативно повлиять на защиту населения и территорий от поражающих факторов источников ЧС и современных средств поражения;
- определение направлений реализации научно-технических достижений в образцах вооружения гражданской обороны, аварийно-спасательной и пожарной техники;
- формирование перспективных направлений технологического развития промышленного комплекса и др.

При этом важнейшей составляющей регламентов информационного взаимодействия ресурсов, задействованных в мониторинге и актуализации прогнозной информации, являются методы оценки качества прогноза. Результаты такой оценки позволяют потребителю прогноза понимать, насколько обоснованы будут его решения, основывающиеся на прогнозной информации, подбирать состав исполнителей для предсказания будущего состояния интересующей области или предмета. Кроме того, именно оценка качества прогноза позволит определить мероприятия по совершенствованию регламентов информационного взаимодействия ресурсов в ходе прогнозирования, т.е. будет своего рода обратной связью в системе прогнозирования.

## 1. Методы оценки качества прогноза развития науки и техники

Несмотря на актуальность задачи оценки качества прогноза, как справедливо отмечается в статье [2], на сегодняшний день, невзирая на многолетнюю прогнозную деятельность в нашей стране и за рубежом, методы оценки качества прогнозов не соответствуют выдвигаемым к ним требованиям.

Анализ статьи [2], являющейся одной из последних в этой предметной области, в которой обстоятельно изложен соответствующий научно-методический аппарат, доведенный до расчетного вида, позволил отметить некоторые требования к научно-методическому аппарату оценки качества прогнозов:

а) аппарат оценки качества прогноза должен включать следующие процедуры:

- внутренняя формальная проверка качества заполнения опросной формы разработчиком прогноза;
- оценка полезности прогноза заказчиком (потребителем). При этом полезность прогноза в первом приближении может определяться степенью влияния прогнозируемых научно-технологических результатов (далее — НТР) на совершенство системы защиты от ЧС мирного и военного времени в прогнозируемый период, в частности, на технико-экономическую эффективность перспективной системы технического оснащения пожарно-спасательных сил и сил гражданской обороны;
- оценка качества прогноза исходя из степени его реализации к моменту окончания прогнозируемого периода;

б) в рамках определения полезности прогноза важна не оценка отдельных характеристик техники, имеющей предысторию, а возможности появления объекта или процесса с совокупностью качественных и количественных свойств и их показателей;

в) полезность прогноза должна быть интегральным показателем, объединяющим все остальные. Она должна позволять в целом с позиции заказчика (потребителя) оценить качество прогноза, пригодность его результатов для практической деятельности по принятию решений в области программно-целевого планирования развития системы управления риском, технического оснащения аварийно-спасательных сил и т.п.;

г) оценку полезности прогноза целесообразно проводить по степени реализации характеристик

перспективных образцов пожарной и аварийно-спасательной техники.

Процедурной основой внутренней формальной проверки качества заполнения опросной формы разработчиком может быть подход, рассмотренный в статье [2].

Оценка полезности прогноза для заказчика (потребителя) может выполняться как разработчиком прогноза, так и научно-исследовательской организацией, находящейся в ведении заказчика. Сама процедура оценки полезности должна соответствовать следующим очевидным требованиям:

- быть понятной для заказчика с точки зрения влияния НТР на совершенство основных составных частей и характеристик перспективного образца техники;
- обеспечивать возможность роста полезности прогноза от величины влияния НТР;
- позволять шкалировать полезность прогноза путем сравнения с каким-то эталонным значением, например с максимально возможным.

Основными этапами оценки полезности прогноза являются следующие:

- анализ НТР прогнозирования, полученных разработчиком прогноза;
- запрос требований к характеристикам перспективных образцов техники;
- оценка влияния прогнозируемых НТР на характеристики перспективного образца техники;
- оценка полезности прогноза для перспективного образца техники;
- оценка полезности прогноза для группы (типа, класса, системы) перспективных образцов техники и т.д.

Оценка влияния прогнозируемых НТР на характеристики техники может выполняться с использованием функционально-технологических моделей (далее — ФТМ) основных классов образцов техники. Под ФТМ согласно [3–5] понимается многоуровневая декомпозиция образца на составные части, в том числе функционально-технологические блоки (далее — ФТБ) и элементы. Основной класс, в свою очередь, — это искусственно выделенная группа перспективных образцов вооружения, обладающая максимальной структурно-функциональной общностью [3]. Этим обеспечивается понятность процедуры для заказчика, так как он видит, на какие составные части конструкции техники необходимо обратить внимание и за счет чего ожидается улучшение характеристик.

## 2. Оценка влияния прогнозируемых научно-технологических результатов

Порядок оценки влияния прогнозируемых НТР на характеристики техники с учетом ФТМ может включать в себя:

- определение наиболее значимых характеристик перспективных образцов техники;
- представление перспективных образцов техники в виде ФТМ, состоящих из ФТБ и элементов, (при необходимости) в наибольшей степени влияющих на улучшение характеристик;
- установление степени влияния НТР на ФТБ (или элементы и ФТБ), затем ФТБ на характеристики;
- установление степени влияния НТР на характеристики перспективных образцов техники.

Для оценки влияния может использоваться порядковая вербально-числовая шкала, предложенная в [6]:

- $a = 0$  — не оказывается влияния;
- $a = 1$  — оказывается несущественное влияние;
- $a = 2$  — оказывается значительное влияние;
- $a = 3$  — оказывается преобладающее влияние.

Оценки по этой шкале могут выполняться специалистами по различным элементам системы технического оснащения (например, по автоматизированным системам управления, технике пожаротушения, средствам разборки завалов разрушенных зданий и т.п.). При необходимости возможно использование и более «сильных» шкал — интервальной, относительной, абсолютной или их модификаций.

С ее помощью выполняется формирование матрицы оценок влияния каждого нижестоящего уровня на вышестоящий уровень в виде (рис. 1):

		Элементы вышестоящего уровня			
Элементы текущего уровня	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	
	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$	
	...	...	...	...	
	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$	

Рис. 1. Представление матрицы оценок влияния

Figure 1. Presentation of impact assessment matrix

На рисунке 1 текущий уровень включает, например, НТР, вышестоящий — элементы ФТБ, или текущий — элементы ФТБ, вышестоящий — ФТБ и т.п.

Затем выполняется обработка матриц оценки влияния от первого уровня (НТР) до последнего (характеристики) с учетом информации предшествующих уровней. При этом через все уровни учитывается влияние НТР на характеристики, этим обеспечивается возможность роста полезности прогноза от величины влияния НТР.

Для разъяснения этой процедуры ниже приведены примеры двух матриц для уровней НТР (Р) — ФТБ (Б) — характеристики (Х) для условного перспективного образца универсальной машины разборки завалов разрушенных зданий (далее — УМРЗ) (рис. 2). Такое техническое средство может состоять из базовой машины (специальное колесное шасси) (Б<sub>1</sub>), стрелы с манипулятором и захватом для крепления рабочего оборудования (Б<sub>2</sub>) и рабочим оборудованием (сменными рабочими органами, которые эффективно выполняли бы большинство типовых операций процесса разборки завалов) (Б<sub>3</sub>).

При этом под результатами Р<sub>1</sub>–Р<sub>4</sub> могут пониматься, к примеру, перспективные технологии упрочнения поверхности рабочих органов, соприкасающихся с обломками строительных конструкций; обеспечения износостойкости колес шасси базовой машины, передвигающейся по проездам в завалах; системы точного позиционирования рабочих органов в локальном месте выполнения технологической операции разборки и т.п.

В качестве наиболее значимых характеристик УМРЗ (Х<sub>1</sub> и Х<sub>2</sub>) экспертами могли быть предложены, к примеру, грузоподъемность манипулятора и время смены рабочих органов в захвате.

Далее для уровня НТР — ФТБ (левая матрица на рис. 2) выполняется по столбцам суммирование оценок влияния НТР на ФТБ (рис. 3):

Видно, что в большей степени НТР влияют на ФТБ Б<sub>3</sub>. Затем для матрицы уровня ФТБ — характеристики взвешивается влияние ФТБ на характеристики с учетом влияния НТР, для этого перемножаются значения ячеек так, как показано на рис. 4:

Сложение суммарных оценок по столбцам (отражающих влияние ФТБ на характеристики с учетом влияния НТР на ФТБ) может служить мерой полезности прогноза (Q<sub>1</sub>):

$$Q_1 = \sum_{x_i \in X} w(x_i), \quad (1)$$

где:

w(x<sub>i</sub>) — оценка влияния прогнозируемых НТР на характеристики техники;

X — полная совокупность прогнозируемых НТР.

В вышеприведенном примере она равна

$$Q_1 = 22 + 35 = 57.$$

Если увеличить оценки влияния результатов прогнозирования на ФТБ, при неизменных оценках уровня ФТБ характеристики увеличится и оценка полезности прогноза (Q<sub>1</sub> = 107) (рис. 5). Это подтверждает рост полезности прогноза от величины влияния НТР.

Ну и, наконец, для соответствия предлагаемой процедуры последнему требованию позволять шкалировать меру полезности прогноза путем сравнения с каким-то эталонным значением рассчитывается максимально возможное значение полезности для конкретных элементов уровней. Для этого необходимо привести максимальные оценки влияния (преобладающее влияние a = 3) НТР на ФТБ, оставив, что очевидно, неизменными оценки влияния ФТБ на характеристики. В этом случае оценка полезности прогноза для рассматриваемых элементов уровней (таких же ФТБ и характеристик) будет равна 132. Это и есть максимально возможное значение, с которым нужно соотнести полученное значение. Для приведенных примеров эти отношения равны 57/132 = 0,43 и 107/132 = 0,81 (второй прогноз полезнее). Этим выполняется четвертое требование к процедуре оценки полезности прогноза.

Для того чтобы определить, насколько хороши или плохи значения 0,43 и 0,81, можно использовать шкалу Харрингтона, которая давно и успешно применяется тогда, когда объективные значения величин нужно привести к субъективным предпочтениям лица, принимающего решение (далее — ЛПР):

$$y = e^{-e^{-z}}, \quad (2)$$

где:

e — основание натуральных логарифмов;

y — относительное значение показателя;

z — натуральное значение показателя.

Для рассматриваемой процедуры более удобна шкала, приведенная в соответствие с предпочтениями ЛПР:

	Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>		Х <sub>1</sub>	Х <sub>2</sub>
Р <sub>1</sub>	0	1	2	Б <sub>1</sub>	0	3
Р <sub>2</sub>	3	1	1	Б <sub>2</sub>	1	2
Р <sub>3</sub>	0	0	3	Б <sub>3</sub>	3	2
Р <sub>4</sub>	2	2	0			

Рис. 2. Матрицы оценок влияния НТР на ФТБ, ФТБ на характеристики (пример 1)

Figure 2. Matrices for assessing the impact of STR on FTB, FTB on characteristics (Example 1)

	Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>
Р <sub>1</sub>	0	1	2
Р <sub>2</sub>	3	1	1
Р <sub>3</sub>	0	0	3
Р <sub>4</sub>	2	2	0
Сумма	5	4	6

Рис. 3. Результаты суммирования оценок влияния НТР на ФТБ

Figure 3. Results of summation of estimates of the impact of STR on FTB

	Х <sub>1</sub>	Х <sub>2</sub>
Б <sub>1</sub>	0·5=0	3·5=15
Б <sub>2</sub>	1·4=4	2·4=8
Б <sub>3</sub>	3·6=18	2·6=12
Сумма	22	35

Рис. 4. Расчет меры влияния НТР на характеристики с учетом ФТБ

Figure 4. Calculation of the measure of the effect of STR on the characteristics taking into account FTB

	Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>		Х <sub>1</sub>	Х <sub>2</sub>
Р <sub>1</sub>	1	2	3	Б <sub>1</sub>	0	3
Р <sub>2</sub>	3	2	2	Б <sub>2</sub>	1	2
Р <sub>3</sub>	2	3	3	Б <sub>3</sub>	3	2
Р <sub>4</sub>	3	3	2			

Рис. 5. Матрицы оценок влияния НТР на ФТБ, ФТБ на характеристики (пример 2)

Figure 5. Matrices for assessing the impact of STR on FTB, FTB on characteristics (example 2)

1,00–0,80 — очень хорошо;  
 0,80–0,63 — хорошо;  
 0,63–0,37 — удовлетворительно;  
 0,37–0,20 — плохо;  
 0,20–0,00 — очень плохо.

Приведенная процедура оценки полезности прогноза для заказчика (потребителя) может, как представляется, использоваться как базовая, на основе которой можно разрабатывать более совершенные методы, методики, подходы.

Одним из направлений ее совершенствования будет формальный учет стоимостных аспектов влияния НТР на затраты по созданию ФТБ и на достижение требуемых характеристик перспективных образцов техники. Для этого могут формироваться аналогичные матрицы влияния или непосредственно оцениваться условные затраты на достижение с помощью НТР требуемых характеристик  $c(x_i)$ . Для оценки полезности прогноза в этом случае может использоваться зависимость:

$$Q_2 = \sum_{x_i \in X} \frac{w(x_i)}{c(x_i)}. \tag{3}$$

Говоря об оценке качества прогноза, исходя из степени его реализации к моменту окончания прогнозируемого периода, нужно отметить следующее:

• не все прогнозируемые НТР будут достигнуты к указанному сроку. Поэтому представительным показателем качества будет доля достигнутых результатов:

$$Q_3 = \frac{N_{\text{дост}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

где:

$N_{\text{дост}}$  — количество достигнутых НТР;  
 $N_{\text{общ}}$  — количество прогнозируемых НТР.

• часть достигнутых результатов не будет реализована на том уровне или в тех параметрах, которые планировались на момент разработки прогноза. Это возможно учесть через соответствующие коэффициенты степени реализации НТР (равные единице, если результат достигнут полностью, и меньше единицы — в противном случае):

$$Q_4 = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{дост}}} \alpha_i}{N_{\text{общ}}}, \quad (5)$$

где:  $\alpha_i$  — коэффициенты степени реализации НТР.

• возможно появление новых, ранее не спрогнозированных НТР, которые и внесут решающий вклад в улучшение характеристик техники. Это также можно учесть отношением количества новых и ранее прогнозируемых НТР:

$$Q_5 = \frac{N_{\text{нов}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (6)$$

где:  $N_{\text{нов}}$  — количество новых НТР.

Такое отношение чем ближе к единице или превышает ее, тем хуже оказывается качество прогноза.

При этом на каждом цикле прогноза необходимо оценивать эти показатели и по возможности проводить коррекцию решений в области планирования перспективных образцов техники.

## Заключение

Таким образом, предложен подход к оценке качества научно-технологических прогнозов развития науки и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства, в том числе защиты от ЧС мирного и военного времени. Использование этого подхода при разработке соответствующих методов и методик позволит обоснованно принимать решения,

основывающиеся на прогнозной информации, подбирать состав исполнителей для предсказания будущего состояния интересующей области или предмета и определить мероприятия по совершенствованию регламентов информационного взаимодействия ресурсов в ходе прогнозирования.

## Список источников [Reference]

1. Корчак В. Ю., Полубехин А. И., Реулов Р. В., Юрин А. Д. Роль прогнозных документов в стратегическом планировании мероприятий обеспечения обороны и безопасности государства // Вооружение и экономика. 2020. № 4 (54). С. 26–36 [Korchak V. Yu., Polubekhn A. I., Reulov R. V., Yurin A. D. The role of forecast documents in strategic planning of state defense and security measures // Armament and Economics. 2020;(4):26–36. (In Russ.)]
2. Мушков А. Ю., Афанасьев А. Л., Куслин С. С. Метод оценки качества научно-технологических прогнозов // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2023. № 4. С. 12–23. [https://doi.org/10.52135/2410-4124\\_2023\\_4\\_12](https://doi.org/10.52135/2410-4124_2023_4_12) [Mushkov A. Yu., Afanasyev A. L., Kuslin S. S. Method for assessing the quality of scientific and technological forecasts // Scientific Bulletin of the Military-Industrial Complex of Russia. 2023;(4):12–23. (In Russ.)] [https://doi.org/10.52135/2410-4124\\_2023\\_4\\_12](https://doi.org/10.52135/2410-4124_2023_4_12)
3. Леонов А. В., Пронин А. Ю. Модифицированный метод оценки влияния научно-технологических достижений на создание перспективного вооружения // Вооружение и экономика. 2018. № 2 (44). С. 68–79 [Leonov A. V., Pronin A. Yu. Modified evaluation method of the scientific and technological achievements impact on the advanced weapons development // Armament and Economics. 2018;(2):68–79. (In Russ.)]
4. Буренок В. М. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация / В. М. Буренок, А. А. Ивлев, В. Ю. Корчак. Тверь: Купол, 2009. 623 с. ил., портр.; 22. ISBN 978-5904297-01-5 [Burenok V. M. Development of military technologies of the XXI century: problems, planning, implementation / V. M. Burenok, A. A. Ivlev, V. Yu. Korchak. Tver: Kupol, 2009. 623 p. ill., portr.; 22. ISBN 978-5904297-01-5. (In Russ.)]
5. Буренок В. М. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. Учебное пособие / В. М. Буренок, Р. Н. Погребняк, А. П. Скотников. М.: Машиностроение,

2010. 368 с. ISBN 978-5-217-03458-1. EDN RAYDJV  
[Burenok V.M. Methodology of substantiation of prospects of development of means of armed struggle of general purpose. Textbook / V.M. Burenok, R. N. Pogrebnyak, A. P. Skotnikov. М.: Mechanical Engineering, 2010. 368 p. ISBN 978-5-217-03458-1. EDN RAYDJV. (In Russ.)]

6. Буренок В.М. Военно-экономические и инновационные аспекты интеграции нетрадиционных видов оружия в состав системы вооружения / В.М. Буренок, А.В. Леонов, А.Ю. Пронин. М.: Издательская группа «Граница», 2014. 240 с. ISBN 978-5-94691-664-6. EDN YOMESK [Burenok V.M. Military-economic and innovative aspects of the integration of non-traditional types of weapons into the weapons system / V.M. Burenok, A. V. Leonov, A. Yu. Pronin. М.: Publishing group «Border», 2014. 240 p. ISBN 978-5-94691-664-6. EDN YOMESK. (In Russ.)]

## Сведения об авторах

**Дурнев Роман Александрович:** академик Российской академии ракетных и артиллерийских наук, доктор технических наук, доцент, первый вице-президент, ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук»  
Количество публикаций: более 302  
Область научных интересов: социальные технологии управления риском ЧС, прогнозирование развития системы вооружения  
SPIN-код: 3267-1337

*Контактная информация:*

Адрес: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3  
rdurnev@rambler.ru

**Жданенко Ирина Васильевна:** старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий)  
Количество публикаций: более 108

Область научных интересов: анализ рисков

SPIN-код: 7747-6337

*Контактная информация:*

Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, дом 7  
izhdanenko@yandex.ru

**Кладухин Александр Николаевич:** аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет)

Количество публикаций: 2

Область научных интересов: перспективное материаловедение в интересах создания новой техники

*Контактная информация:*

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
mai@mai.ru

Статья поступила в редакцию: 17.09.2024

Одобрена после рецензирования: 08.10.2024

Принята к публикации: 08.11.2024

Дата публикации: 27.12.2024

*The article was submitted: 17.09.2024*

*Approved after reviewing: 08.10.2024*

*Accepted for publication: 08.11.2024*

*Date of publication: 27.12.2024*

# Инструкция для авторов

## I. Рекомендации автору до подачи статьи

Представление статьи в журнал «Проблемы анализа риска» подразумевает, что: статья не была опубликована ранее в другом журнале; статья не находится на рассмотрении в другом журнале; статья не содержит данных, не подлежащих открытой публикации; все соавторы согласны: с публикацией текущей версии статьи.

Перед отправкой статьи на рассмотрение убедитесь, что в файле (файлах) содержится вся необходимая информация на русском и английском языках, указаны источники информации, размещенной на рисунках и таблицах, все цитаты оформлены корректно.

На титульном листе статьи размещаются (на русском и английском языках):

1. УДК статьи.
2. Имя автора (авторов).
3. Информация об авторе (авторах).

В этом разделе перечисляются: фамилия, имя и отчество (полностью), степень, звание и занимаемая должность, полное и краткое наименование организации, число публикаций, в том числе монографий, учебных изданий, область научных интересов, контактная информация: почтовый адрес (рабочий), телефон, e-mail, моб. телефон ответственного автора для связи с редакцией.

### 4. Аффiliation автора (авторов).

Аффiliation включает в себя следующие данные: полное официальное название организации, полный почтовый адрес (включая индекс, город и страну). Авторам необходимо указывать все места работы, имеющие отношение к проведению исследования. Если в подготовке статьи принимали участие авторы из разных учреждений, необходимо указать принадлежность каждого автора к конкретному учреждению с помощью надстрочного индекса. Необходимо официальное англоязычное название учреждения для блока информации на английском языке.

### 5. Название статьи.

Название статьи на русском языке должно соответствовать содержанию статьи. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

### 6. Аннотация.

Рекомендуемый объем структурированной аннотации: 200–250 слов. Аннотация содержит следующие разделы: Цель, Методы, Результаты, Заключение.

### 7. Ключевые слова.

5–7 слов по теме статьи. Желательно, чтобы ключевые слова дополняли аннотацию и название статьи.

### 8. Конфликт интересов.

Автор обязан уведомить редактора о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в соответствующий раздел статьи. Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом. Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

### 9. Текст статьи.

В журнале принят формат IMRAD (Introduction, Methods, Results, Discussion — Введение, Методы, Результаты, Обсуждение) Основной текст статьи должен содержать:

- введение,
- структурированные, пронумерованные разделы статьи,
- заключение,
- литературу.

### 10. Рисунки.

Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Все рисунки должны иметь подрисуночные подписи. Подрисуночная подпись должна быть переведена на английский язык. Рисунки нумеруются арабскими цифрами по порядку следования в тексте. Если рисунок в тексте один, то он не нумеруется. Перевод подрисуночной подписи следует располагать после подрисуночной подписи на русском языке.

### 11. Таблицы.

Таблицы должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Предпочтительны таблицы, пригодные для редактирования, а не отсканированные или в виде рисунков. Все таблицы должны иметь заголовки. Название таблицы должно быть переведено на английский язык. Таблицы нумеруются арабскими цифрами по порядку следования в тексте. Если таблица в тексте одна, то она не нумеруется. Заголовок таблицы включает порядковый номер таблицы и ее название. Перевод заголовка таблицы следует располагать после заголовка таблицы на русском языке.

### 12. Скриншоты и фотографии.

Фотографии, скриншоты и другие нарисованные иллюстрации необходимо загружать отдельно в специальном разделе формы для подачи статьи в виде файлов формата \*.jpeg, \*.bmp, \*.gif (\*.doc и \*.docx — в случае, если на изображение нанесены дополнительные пометки). Разрешение изображения должно быть >300 dpi. Файлам изображений необходимо присвоить название, соответствующее номеру рисунка в тексте. В описании файла следует отдельно привести подрисуночную подпись, которая должна соответствовать названию фотографии, помещаемой в текст.

### 13. Сноски.

Сноски нумеруются арабскими цифрами, размещаются постранично. В сносках могут быть размещены: ссылки на анонимные источники в сети Интернет, ссылки на учебники, учебные пособия, ГОСТы, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и журналах, авторефераты, диссертации (если нет возможности процитировать статью, опубликованные по результатам диссертационного исследования), комментарии автора.

### 14. Список литературы.

В журнале используется Ванкуверский формат цитирования, который подразумевает отсылку на источник в квадратных скобках и последующее упоминание источников в списке литературы в порядке

упоминания. Страница указывается внутри скобок, через запятую и пробел после номера источника: [6, с. 8]. В список литературы включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов и монографий), упоминающиеся в тексте статьи. Нежелательно включать в список литературы авторефераты, диссертации, учебники, учебные пособия, ГОСТы, информацию с сайтов, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах, на сайтах и в блогах. Если необходимо сослаться на такую информацию, следует поместить информацию об источнике в сноску. При описании источника следует указывать его DOI, если удается его найти (для зарубежных источников удается это сделать в 95% случаев). Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов. В ссылках на статьи из журналов должны быть обязательно указаны год выхода публикации, том и номер журнала, номера страниц. В описании каждого источника должны быть представлены все авторы. Ссылки должны быть верифицированы, выходные данные проверены на официальном сайте журналов и/или издательств. Необходим перевод списка литературы на английский язык. После описания русскоязычного источника в конце ссылки ставится указание на язык работы: (In Russ.). Для транслитерации имен и фамилий авторов, названий журналов следует использовать стандарт BS.

## II. Как подать статью на рассмотрение

Рукопись статьи направляется в редакцию через online форму или в электронном виде на e-mail [parjournal@mail.ru](mailto:parjournal@mail.ru). Загружаемый в систему направляемый на электронную почту файл со статьей должен быть представлен в формате Microsoft Word (иметь расширение \*.doc, \*.docx, \*.rtf).

## III. Взаимодействие между журналом и автором

Редакция журнала ведет переписку с ответственным (контактным) автором, однако при желании коллектива авторов письма могут направляться всем авторам, для которых указан адрес электронной почты. Все поступающие в журнал «Проблемы анализа риска» статьи проходят предварительную проверку ответственным секретарем журнала на соответствие формальным требованиям. На этом этапе статья может быть возвращена автору (авторам) на доработку с просьбой устранить ошибки или добавить недостающие данные. Также на этом этапе статья может быть отклонена из-за несоответствия ее целям журнала, отсутствия оригинальности, малой научной ценности. После предварительной проверки ответственный редактор передает статью рецензенту с указанием сроков рецензирования. Автору отправляется соответствующее уведомление. При положительном заключении рецензента статья передается редактору для подготовки к печати. При принятии решения о доработке статьи замечания и комментарии рецензента передаются автору. Автору дается 2 месяца на устранение замечаний. Если в течение этого срока автор не уведомил редакцию о планируемых действиях, статья снимается с очереди публикации. При принятии решения об отказе в публикации статьи автору отправляется соответствующее решение редакции. Ответственному (контактному) автору принятой к публикации статьи направляется финальная версия верстки, которую он обязан проверить. Ответ ожидается от авторов в течение 2 суток. При отсутствии реакции со стороны автора верстка статьи считается утвержденной.

## IV. Порядок пересмотра решений редактора/рецензента

Если автор не согласен с заключением рецензента и/или редактора или отдельными замечаниями, он может оспорить принятое решение. Для этого автору необходимо:

- исправить рукопись статьи согласно обоснованным комментариям рецензентов и редакторов;
- ясно изложить свою позицию по рассматриваемому вопросу.

Редакторы содействуют повторной подаче рукописей, которые потенциально могли бы быть приняты, однако были отклонены из-за необходимости внесения существенных изменений или сбора дополнительных данных, и готовы подробно объяснить, что требуется исправить в рукописи для того, чтобы она была принята к публикации.

## V. Действия редакции в случае обнаружения плагиата, фабрикации или фальсификации данных

В случае обнаружения недобросовестного поведения со стороны автора, обнаружения плагиата, фабрикации или фальсификации данных редакция руководствуется правилами COPE. К «недобросовестному поведению» журнал «Проблемы анализа риска» не относит честные ошибки или честные расхождения в плане, проведении, интерпретации или оценке исследовательских методов или результатов, или недобросовестное поведение, не связанное с научным процессом.

## VI. Исправление ошибок и отзыв статьи

В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, влияющих на ее восприятие, но не искажающих изложенные результаты исследования, они могут быть исправлены путем замены pdf-файла статьи и указанием на ошибку в самом файле статьи и на странице статьи на сайте журнала. В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, искажающих результаты исследования, либо в случае плагиата, обнаружения недобросовестного поведения автора (авторов), связанного с фальсификацией и/или фабрикацией данных, статья может быть отозвана. Инициатором отзыва статьи может быть редакция, автор, организация, частное лицо. Отзыванная статья помечается знаком «Статья отозвана», на странице статьи размещается информация о причине отзыва статьи. Информация об отзыве статьи направляется в базы данных, в которых индексируется журнал.

Подробная инструкция на сайте <https://www.risk-journal.com>