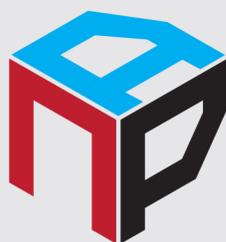


ISSN: 1812-5220 (Print)  
ISSN: 2658-7882 (Online)



Том 21, 2024, № 2  
Vol. 21, 2024, No. 2

Научно-практический журнал

# Проблемы анализа риска

Scientific and Practical Journal

# Issues of Risk Analysis

---

Главная тема номера:

Риск опасных природных явлений

Volume Headline:

Risk of Natural Hazards

Том 21, 2024, № 2  
Vol. 21, 2024, No. 2

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: 19.04.2024

Цена свободная

© Проблемы анализа риска, 2024

Отпечатано в типографии ООО «Белый ветер»,  
115054, г. Москва, ул. Щипок, д. 28

*Format 60×84 1/8. Volume is 12,5 print. pages. Digital printing.*  
*Circulation is 1000 copies.*

*It is sent for the press: 19.04.2024*

*Free price*

© *Issues of Risk Analysis, 2024*

*It is printed in LLC Bely veter printing house,*  
*28, Shchipok St., Moscow, 115054*

---

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

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

### Каранина Елена Валерьевна

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

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

### Karanina Elena Valerevna

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

### 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

**Малышев 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

**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

**Martynyuk 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

**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", Zhukovskiy, 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 Devoted to the 65th Birthday Editor-in-Chief of the Journal "Issues of Risk Analysis" Doctors of Physico-Mathematical Sciences, Professors, Honored Scientist of the Russian Federation  
Andrey Alexandrovich BYKOV

## Natural Risk

- 14 Possible Directions for Improving the Unified State System for Prevention and Response to Emergency Situations in Order to Reduce the Danger of Natural Disasters  
*Vladlen P. Malyshev, 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*
- 34 Cyclonic Activity of Tropical Cyclones and Some of its Features. Part III. About one Feature of the Joint Dynamics of Annual Values of Cyclonic and Seismic Energies in the Area of Action of Tropical Cyclones  
*Mikhail I. Yaroshevich, Obninsk, Russia*

## Risks of Digitalization of the Economy

- 42 Expert System of Technical and Economic Assessment the Feasibility of Using Digital Twins Technology at Various Stages of the Life Cycle Emergency Rescue Equipment  
*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*  
*Ekaterina V. Sviridok, Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Moscow, Russia*

## Project Risk Management

- 54 Implementation of Projects for the Supply of New Technological Equipment to the Facilities of Oil and Gas Companies  
*Igor V. Demkin, Sergey A. Kovalev, Anton A. Mitchenko, Gazprom VNIIGAZ, Razvilka, Russia*

## Market Risk

- 78 Calibration of Johnson- $S_{\nu}$  Distribution of Future Price of Underlying Asset Based on Option Prices  
*Peter A. Arbuzov, Dmitry Yu. Golembiovsky, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

# Содержание

## Колонка редактора

- 8 К 65-летию главного редактора журнала «Проблемы анализа риска», доктора физико-математических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации Андрея Александровича БЫКОВА

## Риск природный

- 14 Возможные направления совершенствования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в целях уменьшения опасности природных бедствий  
*Мальшиев В.П., Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия*
- 34 Циклоническая активность тропических циклонов и некоторые ее особенности. Часть III. Об одной особенности совместной динамики годовых значений циклонической и сейсмической энергий в зоне действия тропических циклонов  
*Ярошевич М.И., г. Обнинск, Россия*

## Риски цифровизации экономики

- 42 Экспертная система технико-экономической оценки целесообразности применения технологии цифровых двойников на различных этапах жизненного цикла аварийно-спасательной техники  
*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*  
*Свиридок Е.В., Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г. Москва, Россия*

## Менеджмент рисков проектов

- 54 Методический подход к количественной оценке риска срыва плановых сроков реализации проектов поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний  
*Демкин И.В., Ковалев С.А., Митченко А.А., Газпром ВНИИГАЗ, п. Развилка, Россия*

## Рыночный риск

- 78 Калибровка распределения  $S_T$ -Джонсона будущей цены базового актива на основе цен опционов  
*Арбузов П.А., Голембиовский Д.Ю., Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

## К 65-летию

главного редактора журнала «Проблемы анализа риска», доктора физико-математических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации

**Андрея Александровича БЫКОВА**

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2024

## Devoted to the 65th Birthday

Editor-in-Chief of the Journal «Issues of Risk Analysis»  
Doctors of Physico-Mathematical Sciences, Professors,  
Honored Scientist of the Russian Federation

**Andrey Alexandrovich BYKOV**

### Поздравление от редакции журнала «Проблемы анализа риска»

Наш журнал уже более 20 лет является ведущим изданием, представляющим полный спектр исследований в области анализа и управления рисками. На страницах журнала обсуждаются самые актуальные проблемы, касающиеся всех направлений анализа и управления риском. За эти годы он прошел нелегкий путь становления и превратился в авторитетное издание, которое заслуженно признано в научном сообществе. В декабре 2023 г., журнал получил еще одно важное признание — решением ВАК за № 3/пл/1 ему была присвоена высшая категория — К 1, что подтверждает ценность и востребованность нашей деятельности в научном сообществе, а также признает роль журнала в развитии области анализа и управления рисками.

Это достижение стало возможным благодаря неустойчивому труду бесменного главного редактора, который определяет политику издания, отвечает за его интеллектуальное содержание, качество публикаций и их соответствие высоким стандартам. Его усилия и преданность делу являются ключевыми факторами успеха журнала и подтверждают статус издания в научном мире.

Андрей Александрович Быков — выдающаяся личность в мире науки. Он является не только идейным



руководителем и вдохновителем нашего научного издания, но и строгим критиком, который играет важную роль в наполнении журнала актуальными материалами. Благодаря его критическому взгляду, в журнале поднимаются интересные темы, и формируется круг талантливых авторов.

Несмотря на многогранную деятельность, Андрей Александрович всегда находит время для работы с авторами различных исследований, но в стремлении

к постоянному совершенствованию качества публикаций он не забывает и о своем собственном творчестве, которое также является важной частью его профессиональной деятельности. Профессиональная Ассоциация риск-менеджмента — АРМ «РусРиск», в рамках Конкурса «Лучший риск-менеджмент в России — 2020» признало победителем А.А. Быкова в номинации «За общий вклад в развитие риск-менеджмента в России». В 2022 г. в рамках конкурса «Лучший риск-менеджмент в России-2022» был признан победителем в номинации «Лучшая академическая публикация в области риск-менеджмента» с монографией *Методологические и прикладные основы управления рисками предприятия и безопасностью населения и окружающей среды: моногр. / А. А. Быков, В. Э. Зайковский; под общ. ред. чл.- корр. РАН Н. А. Махутова. Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. 617 с.*

Ранее, по результатам IX Международного конкурса «Лучший риск менеджмент в России и СНГ- 2014» был признан победителем в номинации «Лучшая публикация в области риск-менеджмента» с монографией: *Быков А. А. Статистический анализ урегулирования убытков по программам имущественного страхования: рекомендации для страхователей и риск-менеджеров крупных компаний / А. А. Быков. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. 242 с; и по совокупности выполненных теоретических работ по страхованию, оценке, анализу и управлению рисками был удостоен звания лауреата в номинации «Лучший риск-менеджер 2014».*

Редакция журнала «Проблемы анализа риска» поздравляет Андрея Александровича с 65-летием со дня рождения! Мы желаем Вам творческого вдохновения и неиссякаемого энтузиазма. Ваше увлечение и преданность науке и профессии являются важным примером для молодых ученых и специалистов. Пусть Ваша энергия и стремление к совершенству будут источником вдохновения для всех, кто работает рядом с Вами.

Желаем Вам еще много счастливых, удачных лет впереди!

### **Краткая биографическая справка**

**Быков Андрей Александрович** — доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации. Является известным в профессиональных кругах специалистом в области анализа и управления риском, в прикладных областях

актуарной математики, теории вероятностей и статистики экстремальных значений, математической экономики и экологии, теории безопасности человека и окружающей среды. Автор более 400 научных трудов, из них более 300 опубликованных, в их числе более 20 монографий, 2 учебных пособия и ряд федеральных, ведомственных и корпоративных нормативных и методических документов.

Осуществлял научное руководство и был ответственным исполнителем более 60 научных проектов в рамках государственных научно-технических программ и федеральных целевых программ: «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения аварий и катастроф», «Экологическая безопасность России», «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации», «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации»; международного проекта TACIS «Управление безопасностью в обрабатывающей промышленности», Российско-Американского проекта по подготовке «Государственного доклада по свинцовому загрязнению окружающей среды Российской Федерации» (Белая книга), международного проекта «Свинец и здоровье детей», международного проекта ROLL по распространению опыта оценки риска загрязнения окружающей среды, грантов Российского фонда фундаментальных исследований по развитию методов математического моделирования и теоретических основ исследования риска для человека, природы и общества; осуществлял научное руководство многочисленными работами по заказу научных организаций РАН, МЧС России, МПР России, ПАО «Газпром», Минпромэнерго России, Минобороны России, Национального союза страховщиков ответственности, академических и других институтов и организаций.

Особо следует отметить научные труды профессора А. А. Быкова по формированию методологических основ анализа и управления риском, включая решение актуальных проблем страхования потенциально-опасных объектов и внедрения вероятностного подхода при прогнозировании последствий техногенных аварий и катастроф.

К таким трудам следует отнести кроме выше названных монографий:

Быков А. А. Статистические методы прогнозирования риска чрезвычайных ситуаций / под ред.

члена-корреспондента РАН Б. Н. Порфирьева. М.: Анкил, 2014. 156 с.

Быков А. А. Цена риска как экономический регулятор уровня безопасности: актуарные модели оценки стоимости статистической жизни. / под ред. члена-корреспондента РАН Б. Н. Порфирьева. М.: Анкил, 2014. 280 с.

Быков А. А., Колесников А. В., Кондратьев-Фирсов В. М. Оценка последствий аварий при страховании опасных объектов. Монография / под ред. М. И. Фалеева / МЧС России. М.: ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России, 2013. 396 с., илл.

Акимов В. А., Быков А. А., Щетинин Е. Ю. Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения / М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. 524 с.

Также Андрей Александрович внес существенный вклад в подготовку научного труда «Стратегические риски России: оценка и прогноз», в которой в первые были представлены методы построения системы показателей количественной оценки безопасности и стратегического риска.

Профессор А. А. Быков участвовал с докладами в многочисленных международных конференциях по риску, конференциях Международного общества токсикологии, Европейского ядерного общества, участвовал в работе Международной рабочей группы по проблемам экологического образования для устойчивого развития, в работе Международного летнего института по управлению риском, Международного института прикладного системного анализа, работал в Германии по академическому обмену. В 2012 г. был единственным участником от Российской Федерации на Всемирном конгрессе по риску, который проходил в г. Сиднее, Австралия, и стал третьим в серии Всемирных конгрессов, организованных Международным обществом анализа риска (SRA) и его партнерскими организациями. Многократно участвовал с пленарными или секционными докладами в других международных и многих национальных конференциях, имеющих общепризнанный авторитет в научном сообществе.

Является действительным индивидуальным членом профессиональной Ассоциации риск-менеджмента «Русское общество управления рисками», действительным членом Международной академии информатизации.

За значительный вклад в развитие науки удостоен звания Лауреата премии МЧС России в области науки и технологий 2005 г., награжден Дипломом МЧС России и шестью ведомственными наградами, а также грамотами и благодарственными письмами. За выдающийся вклад в развитие науки и образования дважды удостоен звания лауреата Международного конкурса науки и образования в области точных наук среди профессоров (2000 и 2001 гг.) и награжден Дипломами Правительства г. Москвы. За значительный вклад в области анализа риска и риск-менеджмента награжден дипломом Кембриджского биографического центра. За добросовестный и безупречный труд в 2014 г. награжден Почетной грамотой ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

В 2008 г. указом Президента Российской Федерации присвоено звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

*Редакция журнала  
«Проблемы анализа риска»*

## Поздравления от коллег

На протяжении четверти века мне довелось общаться, видеть, наблюдать и интересоваться деятельностью доктора физико-математических наук, проф. А. А. Быкова.

Это было связано с резкой актуализацией в последнее десятилетие фундаментальных исследований и прикладных разработок проблем безопасности и рисков. На государственном уровне указанные проблемы были отражены в Государственной научно-технической программе СССР по чрезвычайным ситуациям и Корпуса спасателей, а затем Министерства РФ по чрезвычайным ситуациям.

С этого времени проф. А. А. Быков как сотрудник ИАЭ им. И. В. Курчатова, ИБРАЭ РАН и РЭА им. Г. В. Плеханова начал заниматься одной из ключевых задач в этой проблематике — анализом рисков и управлением безопасностью по критериям рисков.

Нам, отечественным специалистам, было важно не только предлагать и развивать отдельные составляющие решений соответствующих задач, но и объединить усилия на ключевых участках. Этому способствовали издания «Российского общества анализа

риска» и выпуск журнала «Проблемы анализа риска». Проф. А. А. Быков заслуженно стал членом общества и главным редактором журнала, что позволило ему представлять нашу страну на многих авторитетных международных площадках — конгрессах, конференциях, экспертных группах.

В профессиональном плане проф. А. А. Быкову принадлежат важные результаты в области многокритериального и многоуровневого рассмотрения формирующихся социальных, экономических и экологических рисков и методов их определения, нормирования, регулирования и снижения. Научные разработки критериальной базы управляемых рисков были увязаны им с практикой их применения в топливно-энергетическом и промышленном комплексах через систему нормативных документов и учебных пособий, курсы лекций и специализированные конкурсы, обширный публикационный ресурс (более 300 научных и методических изданий).

Успешная многоплановая работа проф. А. А. Быкова отмечена тем, что он стал заслуженным деятелем наук, доктором наук, профессором, лауреатом ряда конкурсов; он удостоен значимых медалей в области безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций.

В дни очередного юбилея проф. А. А. Быкова, зная его высокий профессионализм, активность, нацеленность на решение крупных проблем, желаю ему дальнейших успехов в академической фундаментальной науке и ее приложениях к обеспечению национальной безопасности с учетом стратегических рисков.

**Махутов Николай Андреевич,**

*Председатель Наблюдательного совета журнала,*

*Председатель Комиссии РАН по техногенной безопасности, член-корреспондент РАН*

Уважаемый Андрей Александрович, Позвольте от имени Ассоциации риск-менеджмента «Русское общество управления рисками» (РусРиск), и от себя лично, от всей души поздравить Вас с красивой датой!

Ваша многолетняя и плодотворная теоретическая и практическая деятельность в области управления рисками снискала заслуженное уважение научного, экспертного и делового сообщества. Отдельного восхищения заслуживает Ваше бесценное руководство

уважаемым журналом «Проблемы анализа риска», с которым у РусРиска давние партнерские отношения, в том числе участием моих коллег в Редакционной коллегии журнала. Вы также много лет являетесь членом РусРиска, способствуя развитию основных направлений деятельности нашей Ассоциации, неоднократно побеждали в Конкурсе «Лучший риск-менеджмент в России и СНГ».

Желаем Вам, уважаемый Андрей Александрович, творческого и делового долголетия, новых свершений на Вашем многогранном жизненном пути и здоровья для осуществления всего задуманного!

*С искренним уважением,*

**Верещагин Виктор Владимирович,**

*Член Наблюдательного совета журнала,*

*Президент РусРиска*

Уважаемый Андрей Александрович!

После окончания нашей Alma Mater, физфака МГУ им. М. В. Ломоносова, Вы, продолжая традиции многих Ваших учителей и старших коллег, привнесли совершенно новый взгляд в область анализа и управления рисками. При этом последние 15 лет Вашей творческой активности были посвящены деятельности в области применения творческих изысканий в совершенно практической деятельности нашей крупнейшей газовой компании. Придя первоначально именно в сферу газовой науки, в институт ООО «ВНИИГАЗ», Вы смогли внести много нового для этой науки из того многочисленного багажа Ваших знаний, накопленных за предшествующий период. Вы опубликовали большое количество статей и монографий, посвященных применению аналитических математических методов, в частности, актуарной математики, в разработку вопросов страхования различных рисков, особенно в наиболее сложной области экологических рисков. Это позволило Вам подняться уже на уровень руководящего органа ПАО «Газпром», где Вы смогли эти научные знания приложить в сферу практических решений.

Мне было очень приятно и полезно проводить совместные с Вами исследования в течение этого периода.

Сейчас я продолжаю наши творческие контакты уже как член редколлегии возглавляемого Вами журнала «Проблемы анализа риска». Это позволяет мне

быть постоянно на связи с Вами и работать с нашими многочисленными авторами из различных областей анализа различных рисков — от финансовых и экономических до природных и экологических. Наш журнал, благодаря Вашим стараниям, входит в первые приоритеты научных изданий нашей страны.

Желаю Вам, Андрей Александрович, дальнейших творческих успехов, научного долголетия и уважения от Ваших многочисленных коллег.

*С уважением,*

**Башкин Владимир Николаевич,**

*член Редакционной комиссии журнала, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН*

Дорогой Андрей Александрович!

Вы по праву являетесь ведущим специалистом в области анализа и управления рисками. Практически все годы Вашей зрелой жизни были посвящены деятельности в этой области. Продолжая добрые традиции своего учителя академика Валерия Алексеевича Легасова, который первый в нашей стране начал решать проблемы техногенной безопасности и радиационного риска, Вы смогли существенно расширить эту область исследований, переключив ее на многие сферы человеческой деятельности. В тесном сотрудничестве со многими крупными учеными страны, такими как академик В. И. Осипов, член-корреспондент Н. А. Махутов, профессора М. С. Сафонов, А. Л. Рагозин, В. А. Акимов и С. М. Мягков, были сформулированы методологические и прикладные основы анализа и управления рисками в области безопасности жизнедеятельности на основе которых разработаны нормативные и правовые документы, способствующие повышению уровня защищенности населения и территорий от поражающих факторов техногенных аварий и природных бедствий.

Соединив в себе качества крупного творца-ученого и системного аналитика-организатора, Вы смогли добиться значительных успехов на посту бессменного главного редактора журнала «Проблемы анализа риска». На страницах журнала обсуждаются самые актуальные проблемы, касающиеся всех направлений анализа и управления риском. Вы всегда находите время для работы с авторами различных исследований, благодаря этому качество публикаций отвечает

высоким стандартам и пользуется заслуженным уважением в научном сообществе.

Желаю Вам, Андрей Александрович, дальнейшего творческого долголетия, успехов в научной, производственной и редакторской деятельности, любви и уважения близких и крепкого, крепкого здоровья в наш не простой век.

*С глубочайшим уважением,*

**Мальшиев Владлен Платонович,**

*член Редакционной комиссии журнала, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)*

Глубокоуважаемый Андрей Александрович!

В Ваш юбилей мне хотелось бы сказать что ученый Вашего уровня не имеет возраста потому что его научное творчество всегда является новым, идеи — новаторскими, мысли — молодыми и выверенными, а научные достижения в виде теорий и методологии научных исследований широко востребованы профильными специалистами, а также Вашими учениками и будут востребованы последующими продолжателями науки на долгие годы. С течением времени приходит главное — мудрость и фундаментальность исследований. Доктор физико-математических наук в 34 года, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, бессменный с момента создания в 2004 г. Главный редактор научного журнала «Проблемы анализа риска» Вы по праву являетесь признанным крупным ученым в области анализа и управления риском, в прикладных областях актуальной математики, теории вероятностей и статистики экстремальных значений, математической экономики и экологии, теории безопасности человека и окружающей среды. Вместе с тем, находясь на острие научных проблем и повседневно проводя актуальные научные исследования для их решения, трудно выделить время, чтобы оглянуться назад и подвести итоги научной деятельности за определенный период, непредвзято оценить весомость полученных научных результатов в развитие современной науки. Поэтому юбилей ученого это не только торжественное событие в его жизни, но и более главное — возможность всесторонней оценки его научного творчества.

Присоединяясь к высокой оценке научным сообществом Вашего научного творчества, со своей

стороны я хотел бы отметить Ваш огромный вклад в развитие научного направления анализа и управления риском в области защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях, включая и безопасность населения при уничтожении запасов химического оружия в Российской Федерации, в воспитании учеников, внедрении методологии управления риском в интересах гражданской обороны страны. Особо хочется выделить Ваш вклад в создание научных основ системы управления рисками в крупных многопрофильных холдингах на основе опыта более чем пятнадцатилетней деятельности в научной организации и администрации ПАО «Газпром». Исследования последних лет позволили Вам создать целостные научно-методические основы и методологический аппарат управления рисками в таких сферах как: деятельность предприятия, защита человека и окружающей среды. Эти исследования вошли в Ваш научный труд — монографию, вышедшую в 2022 г. под названием «Методологические и прикладные основы управления рисками предприятия и безопасностью населения и окружающей среды». Фундаментальность и научная востребованность этого труда подчеркнута и высоко оценена в академических кругах. Член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, председатель Комиссии РАН по техногенной безопасности, Председатель наблюдательного совета журнала «Проблемы анализа риска» Махутов Н. А. в предисловии к монографии отмечает, что *«Монографию можно рекомендовать не только для специалистов по управлению рисками и риск-менеджеров крупных промышленных и энергетических компаний, а также специалистов, занимающихся вопросами управления рисками в страховых компаниях, но и для лиц, принимающих решения по управлению рисками чрезвычайных ситуаций, управлению безопасностью в различных отраслях экономики, для менеджеров, принимающих решения*

*по управлению рисками и страхованию»*. Особую ценность ей придает то, что научные и методические основы излагаются в тесной связи с историческими аспектами формирования знания о риске, преемственности научно устоявшихся взглядов на риск и управление риском, придание риску междисциплинарного характера.

В дополнение к сказанному хочется также отметить, что Ваши глубокие знания, эрудиция и научная обаятельность в свое время привели меня химика по образованию, специалиста в области защиты населения в чрезвычайных ситуациях, включая безопасное уничтожение химического оружия, и от опасностей, возникающих в военное время, к широкому использованию в своих научных исследованиях теории риска и созданных Вами научно-методических основ и методологического аппарата управления рисками. Это придало моим исследованиям и исследованиям моих учеников междисциплинарный характер и позволило решать проблемы безопасности населения на более высоком научном уровне — в стохастической постановке. За это я Вам особенно благодарен.

Дорогой Андрей Александрович, примите мои сердечные поздравления с юбилеем. Желаю Вам крепкого здоровья, дальнейшего раскрытия творческого потенциала и научного долголетия.

**Шевченко Андрей Владимирович**

*Член Редколлегии журнала, доктор технических наук, профессор по специальности «Поражающее действие специальных видов оружия, средства и способы защиты», профессор по кафедре природной и техногенной безопасности и управления риском, ведущий научный сотрудник ФГБВОУ ВО «Военно-инженерная ордена Кутузова академия имени Героя Советского Союза генерал-лейтенанта инженерных войск Д. М. Карбышева» Министерства обороны Российской Федерации*

УДК 614.8  
Научная специальность: 3.2.6

# Возможные направления совершенствования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в целях уменьшения опасности природных бедствий

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

## Малышев В.П.,

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

## Аннотация

В статье предложены возможные направления совершенствования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в условиях роста риска природных бедствий, которые обусловлены изменением климата и прогрессирующим вмешательством человека в природную среду.

**Ключевые слова:** факторы риска; природные катастрофы; стратегии снижения рисков; повышение готовности РСЧС; ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций.

**Для цитирования:** Малышев В.П. Возможные направления совершенствования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в целях уменьшения опасности природных бедствий // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 2. С. 14–32.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

# Possible Directions for Improving the Unified State System for Prevention and Response to Emergency Situations in Order to Reduce the Danger of Natural Disasters

**Vladlen P. Malyshev,**

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), Davydovskaya str., 7, Moscow, 121352, Russia

**Abstract**

This article proposes possible directions for improving the unified state system for the prevention and response of emergency situations (PRES) in the context of an increasing risk of natural disasters, which are caused by a changing climate and progressive human intervention in the natural environment.

**Keywords:** risk factors; natural disasters; risk mitigation strategies; increase of PRES readiness; emergency response.

**For citation:** Malyshev V.P. Possible directions for improving the unified state system for prevention and response to emergency situations in order to reduce the danger of natural disasters // Issues of Risk Analysis. 2024;21(2):14–32. (In Russ.)

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

**Содержание**

Введение

1. Факторы риска, способствующие увеличению последствий природных катастроф в XXI веке
2. Возможные направления снижения угрозы существующих рисков природных катастроф
3. Предложения по повышению готовности единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций к оперативному реагированию на природные катастрофы

Заключение

Список источников

## Введение

Стихийные бедствия и наносимые ими огромные экономические потери серьезно затрудняют достижение целей устойчивого развития как отдельной страны, так и мирового сообщества в целом. По оценке Организации Объединенных Наций, сумма только прямых убытков в результате бедствий выросла с 75,5 млрд долларов США в 60-х годах прошлого века до 1,3 трлн долларов за последнее десятилетие. Глобальное изменение климата существенно увеличило на территории России риск возникновения крупных природных пожаров и катастрофических наводнений. За последние 20 лет количество лесных пожаров увеличилось на 10,9 тыс., а площадь лесов России сократилась на 9,1%. В настоящее время количество паводко-опасных зон в нашей стране составляет 8,9 тыс., потенциальная площадь разлива которых составляет 400 тыс. км<sup>2</sup>, в них проживает 12,5 млн чел. [1].

Одновременно особую значимость приобретают глобальные чрезвычайные ситуации (далее — ЧС) санитарно-эпидемиологического характера. Несмотря на значительные успехи в создании средств профилактики, диагностики и лечения инфекционных заболеваний, пандемия, вызванная коронавирусом COVID-19, нанесла колоссальный социально-экономический ущерб многим странам и способствовала образованию мирового экономического кризиса. Количество заболевших в мире к апрелю 2023 г. приблизилось к 700 млн чел., а количество погибших превысило 6,9 млн чел., экономический ущерб от пандемии может составить около 20 трлн руб. [2].

Осознание опасности усиливающихся угроз должно способствовать совершенствованию мер, направленных на предупреждение возникновения бедствий и обеспечение готовности к оперативному реагированию на возникающие природные опасности в целях восстановления безопасных условий жизнедеятельности населения и территорий, пострадавших от бедствий.

## 1. Факторы риска, способствующие увеличению последствий природных катастроф в XXI веке

К числу факторов риска, способствующих увеличению последствий природных катастроф, относятся:

- глобальное изменение климата и усиление сейсмической активности;

- стремительно развивающийся во многих странах процесс урбанизации, что существенно увеличивает уязвимость городского населения перед лицом стихийных бедствий;

- постоянно растущая эксплуатация природных богатств и интенсивное освоение территорий в зонах повышенного природного риска;

- ограниченные возможности чрезвычайных служб по предупреждению природных катастроф и недостаточная их готовность к своевременному реагированию.

Вследствие изменения климата увеличилась частота катастрофических ливневых затоплений на Дальнем Востоке и в восточной Сибири. О последствиях крупных природных бедствий в последнее десятилетие XXI века свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1.

В целом последние годы стали временем непрекращающихся экстремальных климатических явлений: от волн тепла и ливневых наводнений до лесных пожаров и ураганов. Экстремальные климатические бедствия чаще всего возникают на Дальнем Востоке, в Сибири, в Крыму и на Северном Кавказе [3].

Изменение климата сопровождается увеличением числа дней с аномально высокой и низкой температурой. Устойчивая и продолжительная жара вызывает увеличение смертности и рост заболеваемости. Наиболее высокие показатели смертности среди пожилых людей, страдающих хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, диабетом, а также людей, проживающих на верхних этажах высотных зданий. Во время волн жары число обращений в медицинские учреждения может вырасти до 100%, а общая смертность возрасти до 8%. При воздействии экстремально высоких температур происходит обезвоживание организма, нарушается микроциркуляция, что провоцирует тромбообразование с развитием инсультов, учащаются обострение и смертность от ишемической болезни. К группам риска относятся также дети; беременные женщины; пенсионеры; инвалиды с ограниченной подвижностью; лица, чья профессиональная деятельность связана с пребыванием на открытом воздухе; лица с низким уровнем доходов [4].

В центре крупных городов с интенсивным транспортным движением и недостаточным озеленением образуется «остров жары», в котором проживающих там людей также можно отнести к группам повышенного

**Таблица 1. Последствия крупных природных бедствий в последнее десятилетие XXI века***Table 1. Consequences of major natural disasters in the last decade of the 21st century*

Время	Характер и место бедствия	Количество погибших	Общее число пострадавших	Экономические потери	Количество занятых в спасательных и восстановительных работах
Апрель–май 2013 г.	Катастрофическое затопление на Дальнем Востоке	1 чел.	168 тыс. чел.	40 млрд руб.	120 тыс. чел.
Апрель 2017 г.	Ураган «Мария» в Доминике и Пуэрто-Рико	3 тыс. чел.	200 тыс. чел.	Порядка 30 млрд долл.	Около 10 тыс. чел.
Апрель 2018 г.	Катастрофические затопления в Краснодарском крае	24 чел.	22,7 тыс. чел.	24 млрд руб.	6 тыс. чел.
Март 2019 г.	Катастрофические затопления в Иркутской области	91 чел.	41,5 тыс. чел.	80 млрд руб.	15 тыс. чел.
2020–2023 гг.	Пандемия, вызванная COVID-19	6,9 млн чел.	Около 700 млн чел.	Рецессия мировой экономики, порядка 20 трлн долл..	Около 100 млн медицинских работников
Июль–сентябрь 2022г.	Длительные волны тепла в Европе	24,5 тыс. чел.	Заболевших 180 тыс. чел.	70 млрд евро	60 тыс. медицинских работников
Февраль 2023 г.	Землетрясение в Турции	59,5 тыс. чел.	Около 2 млн чел.	120 млрд долл.	Более 70 тыс. чел.
Январь 2024 г.	Землетрясение в Японии	202 чел.	28 тыс. чел.	85 млн долл.	25 тыс. чел.

риска. Оценка последствий жары летом 2010 г. на Европейской части территории России, по данным Минздрава России, показала, что количество смертей увеличилась примерно на 55 тыс. Выявленные во время волн жары существенные нарушения функционирования организма, которые приводят к утрате здоровья и к снижению продолжительности жизни, в итоге отражаются на экономических показателях. Согласно расчетам Б. Н. Порфирьева [5], экономические потери от избыточной смертности в результате воздействия длительной жары летом 2010 г., определенные исходя из концепции полезности и актуарных подходов, находятся в пределах 97–123 млрд руб.

Исследования связи между здоровьем человека и температурой окружающей среды сосредоточены главным образом на влиянии экстремальной жары. Тем не менее, экстремально холодная погода также оказывает существенное воздействие на здоровье населения. Неблагоприятное воздействие холода приводит к появлению или обострению многих заболеваний.

В первую очередь системы кровообращения и органов дыхания. Наиболее уязвимыми считаются дети, люди старшего возраста и лица без определенного места жительства. При воздействии волн холода избыточная смертность за счет заболеваний сердечно-сосудистой системы или обморожения при длительном пребывании на открытом воздухе может увеличиться на 5–7% [6].

Изменение климата влияет также на возбудителей болезней, чей жизненный цикл связан с более или менее длительным существованием во внешней среде и возможностью адаптации к происходящим изменениям. К ним относятся зоонозные инфекции, способные переходить от животных к человеку. Из-за них в 2002 г. возникла эпидемия атипичной пневмонии, вызванная коронавирусом SARS. В 2012 г. в Саудовской Аравии был зафиксирован респираторный синдром, вызванный коронавирусом MERS, и в 2020 г. возникла пандемия, вызванная коронавирусом COVID-19. В настоящее время обсуждается

возможность возникновения смертельно опасной эпидемии «болезни Х». Высокую смертность у людей (до 50% и выше) могут вызывать вирусы «Нипах», находящиеся у летучих мышей, и вирусы птичьего гриппа. Люди заражаются только при непосредственном контакте с животными, однако на данный момент эти вирусы не приобрели способность передачи инфекции от человека к человеку и не могут вызывать эпидемий.

Изменение климата приводит к увеличению числа пожаров. В России в наибольшей степени от них страдают жители Европейской части территории страны и лесистых регионов Сибири и Дальнего Востока. Гигантские лесные и торфяные пожары в России летом 2010 г. привели к гибели более 60 чел.: тысячи жителей остались без жилья, а влияние на здоровье пострадавших от природных пожаров еще предстоит оценить.

Резкие температурные колебания атмосферы способствуют возникновению опасных явлений метеорологического характера за счет распространения мощных циклонов. Наибольшая повторяемость сильных ветров наблюдается в прибрежных районах Севера и Дальнего Востока, а в континентальной части страны — в степях. Скорость ветра в порывах в этих районах — более 40 м/с, на о. Сахалин — более 50 м/с. Помимо указанных районов, повышение значения повторяемости сильных ветров отмечается на открытых степных пространствах Оренбургской, Курганской, Омской и Новосибирской областей. На территории России опасности воздействия ураганов подвергается около 80 городов. Среди крупных городов России, подвергавшихся воздействию смерчей, можно отметить: Арзамас, Воронеж, Екатеринбург, Иваново, Йошкар-Олу, Кемерово, Санкт-Петербург, Липецк, Москву, Нижний Новгород, Омск, Пермь, Ростов, Сочи, Сыктывкар, Тамбов, Челябинск и др. [7].

Автором была проведена оценка среднесрочных потерь от различных природных опасностей для территорий России, которая определялась по следующей формуле:

$$Rm(H) = P^*(H) \cdot D_i(H),$$

где:

$Rm(H)$  — среднесрочный социальный или экономический ущерб от опасности  $H$  (чел./год, руб./год),

$P^*(H)$  — повторяемость опасности  $H$ , численно равная ее статистической вероятности (случаев/год),

$D_i(H)$  — средне установленный социальный или экономический ущерб от опасности  $H$  (чел., руб.).

Сравнительные показатели социальных и экономических потерь от природных опасностей на территории России в 2001–2023 гг. приведены в табл. 2.

Одной из особенностей современного мира является процесс урбанизации, стремительно развивающийся во многих странах. В настоящее время более 47% населения планеты проживает в городах. По прогнозам Отдела народонаселения ООН, к 2030 г. более 65% мирового населения будут составлять городские жители, тогда как в 1950 г. 65% мирового населения составляли сельские жители [8].

Современная тенденция развития урбанизированных территорий в целом характеризуется высоким уровнем потребления энергии и все возрастающими объемами образующихся городских отходов. Возрастает также уязвимость городского населения перед лицом стихийных бедствий. Высотные жилые здания чрезвычайно уязвимы при возникновении многих чрезвычайных ситуаций. Отсутствие надежных средств пожаротушения и эффективных способов экстренной эвакуации проживающих будет существенно осложнять проведение спасательных и других неотложных работ и подвергать жителей высокому риску. На территориях с высокой плотностью населения в сочетании с близко размещенными коммунальными объектами могут возникать каскадные ЧС, которые взаимно усиливают поражающие факторы, превращая территорию города в зону чрезвычайно высокой опасности. Об этом наглядно свидетельствует колоссальная разница в потерях населения при катастрофических землетрясениях в густонаселенных городах Турции и в сельской местности полуострова Ното в Японии (см. табл. 1).

Существенный риск несет реализация в Арктической зоне Российской Федерации крупных экономических проектов: увеличение интенсивности судоходства в акватории Северного морского пути, в том числе с использованием атомных ледоколов и судов с ядерными энергетическими установками, включая плавучие атомные станции, а также создание инфраструктуры для минерально-сырьевых производственных центров. На Севере России сосредоточено более 30% разведанных запасов нефти, около 60% природного газа, 36% мировых запасов никеля и 40% мировых запасов металлов платиновой группы, огромные залежи каменного угля и торфа [9]. Создана обширная инфраструктура, обслуживающая нужды

**Таблица 2. Сравнительные показатели социальных и экономических потерь от природных опасностей на территории России в 2001–2023 гг.***Table 2. Comparative indicators of social and economic losses from natural hazards in Russia in 2001–2023*

Процессы	Среднегодовые показатели							
	2001 г.			2023 г.			Увеличение за 23 лет, %	
	Частота возникновения ЧС/год	Количество погибших, чел./год	Эконом. ущерб, млрд руб./год	Частота возникновения ЧС/год	Количество погибших, чел./год	Эконом. ущерб, млрд руб. год	Частота возникновения	Эконом. ущерб
Землетрясения	1	33	30	1,4	41	40	40	33
Цунами	0,5	3	3	1,0	0,3	1	100	-67
Наводнения	2	11	8	5	15	30	250	375
Природные пожары	2	5	12	6	6	36	300	300
Ураганы, смерчи	5	2	2,5	10	4	5	100	100
Волны жары	0,3	10	2	1	80	16	330	800
Оползни и обвалы	2	0,25	0,8	3	0,3	1,2	50	50
Сильные морозы,	10	2	,7	6	1	5	-40	-30
Засухи	0,5	-	13	0,8	-	17	60	31

добывающей промышленности. Однако, начиная с 70-х годов XX века, наблюдается увеличение температуры и глубины летнего таяния вечной мерзлоты, а в ряде мест — сокращение ее площади. Многие сооружения в районах Крайнего Севера построены на свайных фундаментах. В качестве основания используется многолетнемерзлый грунт рассчитанный на эксплуатацию в определенных температурных условиях. Наибольшую опасность таяния вечной мерзлоты представляет для линейных сооружений (дорог, взлетно-посадочных полос, нефте- и газопроводов, резервуаров, площадок нефтегазопромысловых объектов), пересекающих участки с интенсивным развитием термокарста [10].

Говоря об увеличении масштаба и ущерба от природных и техногенных бедствий на территории России, необходимо отметить недостаточную увязку результатов прогнозов с организацией адекватных превентивных действий органов исполнительной власти и организаций по парированию возможных негативных последствий. Повсеместный рост экстремальных явлений, угрожающих безопасности жизнедеятельности целых регионов, требует существенной актуализации нормативной правовой базы в области

защиты населения от ЧС и градостроительной деятельности [11]. Существующие нормы и требования в области природно-техногенной безопасности не соответствуют возросшим факторам угроз, обусловленных глобальным изменением климата и последствиями реализации крупных инфраструктурных проектов в зонах повышенного природного риска. Так, например, проектная документация на противопаводковую защиту г. Хабаровска была рассчитана на высоту 6,20 м, в то время как для защиты в современных условиях ее необходимо пересчитывать уже на 9 м. По этим же причинам возникла крупная радиационная авария на АЭС «Фукусима» после возникшего цунами у берегов Японии.

Анализ опыта организации работ по ликвидации крупномасштабных чрезвычайных ситуаций в Сибири свидетельствует о недостаточной способности территориальных подсистем РСЧС успешно решать задачи обеспечения защищенности населения при возникновении катастрофических наводнений. Опыт борьбы с пандемией, вызванной коронавирусом COVID-19, выявил целый ряд недостатков в подготовке и организации защитных мероприятий. Некоторые

функциональные и территориальные подсистемы РСЧС не обеспечили своевременный ввод противоэпидемических мероприятий, что вызвало возникновение значительных очагов инфекции на подведомственных объектах и территориях. Отсутствие правовых механизмов реагирования на несоблюдение некоторыми жителями городов режима самоизоляции и масочного режима в условиях пандемии способствовало увеличению числа инфицированных.

Практическое осуществление крупномасштабных дезинфекционных работ во многих городах России свидетельствует о недостаточном количестве сил РСЧС, выполняющих эти работы, и об использовании многими из них малопродуктивной и устаревшей техники [12].

## 2. Возможные направления снижения угрозы существующих рисков природных катастроф

Анализ мирового опыта борьбы с бедствиями и катастрофами свидетельствует, что для снижения угрозы существующих рисков природных катастроф необходимо:

- обеспечить заблаговременное чрезвычайное планирование борьбы с природными катастрофами на основе научно обоснованного анализа рисков возникновения стихийных бедствий;
- создать локальные информационно-аналитические системы раннего обнаружения предвестников стихийных бедствий;
- сформировать профессионально подготовленный персонал, обеспечивающий функционирование комплексной системы мониторинга и прогнозирования возможных катастроф и стихийных бедствий, характерных для данной территории;
- осуществить своевременное распространение предупреждений о природных катастрофах.

Успехи, достигнутые в развитии цифровых технологий, позволяют создавать перспективные программно-аппаратные комплексы, моделирующие сценарии развития стихийных бедствий и осуществляющие расчетно-аналитическое определение всего объема исходных данных для подготовки планов действий по предупреждению и ликвидации ЧС, включая следующие характеристики:

- частота возникновения стихийных бедствий, масштаб последствий;

- величина социально-экономического ущерба от возможных стихийных бедствий, включая: количество погибших, пострадавших и людей с нарушенными условиями жизнедеятельности;

- количественные показатели объема выполнения задач по защите населения, ведению аварийно-спасательных и других неотложных работ;

- состав и численность сил для выполнения задач по предназначению;

- потребное количество материально-технических средств для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Алгоритм функционирования подобных комплексов представлен на рис. 1.

При возникновении стихийного бедствия с помощью программно-аппаратного комплекса осуществляются:

- оперативный анализ и оценка масштаба последствий развития стихийного бедствия и определение основных мероприятий по его локализации;

- своевременное распространение предупреждений об угрозах и опасностях стихийного бедствия;

- постановка в сжатые сроки задач по предназначению силам РСЧС;

- организация оперативных мер защиты: эвакуация, укрытие в защитных сооружениях, использование индивидуальных технических и медицинских средств защиты;

- своевременное осуществление мер по локализации и максимальному предотвращению развития опасных явлений, восстановлению нарушенных условий жизнедеятельности населения.

Планирование мероприятий и действий сил РСЧС может быть успешным при условии заблаговременной подготовки соответствующих людских, технических и финансовых ресурсов в соответствии с расчетно-аналитическим определением всего объема исходных данных, необходимых для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Наиболее сложной научно-технической проблемой является создание систем раннего обнаружения предвестников стихийных бедствий. Важность систем раннего обнаружения возрастает благодаря тому, что природным опасностям подвержена значительная часть населения планеты. Технологические возможности систем обнаружения предвестников стихийных



Рис. 1. Алгоритм функционирования программно-аппаратного комплекса

Figure 1. Algorithm of hardware and software complex operation

бедствий постоянно улучшаются благодаря росту научного понимания климатических и других геофизических процессов, совершенствованию систем наблюдения и значительному повышению эффективности компьютерных технологий.

Положительный опыт создания систем обнаружения предвестников стихийных бедствий в Российской Федерации имеется на примере формирования автоматизированной системы мониторинга природных паводков [13]. Надежный контроль уровня воды в водоемах, снежных запасов, толщины льда и других параметров природной среды в сочетании с достоверными математическими моделями образования талых вод позволяет с высокой точностью прогнозировать и оценивать последствия паводковых наводнений. Система мониторинга паводковых ситуаций позволила осуществить раннее предупреждение о катастрофическом затоплении в 2013 г. ряда городов и населенных пунктов Дальнего Востока и избежать жертв, хотя

из-за недостаточно полной оценки потенциальных рисков территорий, подверженных затоплению, экономические потери от этого стихийного бедствия составили около 100 млрд руб. [14].

Современная система раннего предупреждения о цунами заработала на Дальнем Востоке в декабре 2010 г. Она создавалась в течение двух лет в Сахалинской области, Приморском и Камчатском краях. В Приморском крае построен межрегиональный центр сбора, обработки и передачи мониторинговой и прогнозной информации, в котором совместно работают специалисты оперативных подразделений Росгидромета и Геофизической службы РАН. На морских метеостанциях «Владивосток», «Находка», «Сосуново», «Рудная Пристань» и «Преображение» установлены и запущены в работу автоматизированные посты наблюдения за уровнем моря, данные с которых в автоматическом режиме передаются как в центр цунами, так и в единую диспетчерскую службу России. Вблизи

Курило-Камчатского желоба установлена глубоководная буйковая станция, которая способна зафиксировать волну цунами в открытом океане на удалении до 500 км. Установленные в Петропавловске-Камчатском и Владивостоке аппаратно-программные комплексы и новые информационно-вычислительные технологии позволяют специалистам в считанные минуты проанализировать получаемую с мест информацию и дать прогноз, приведет ли землетрясение к образованию цунами, способного угрожать побережью России [15]. Расчет параметров землетрясений в системе предупреждения о цунами занимает не более 7 мин., расчет характеристик волн цунами — не более 1 мин., оповещение — до 2 мин. Современное состояние системы предупреждения о цунами (СПЦ) представлено на рис. 2.

По данным ФИАЦ Росгидромета (НПО «Тайфун»), использование дистанционных и автоматизированных средств наблюдения, включая доплеровский метеорологический радиолокатор (ДМЛР) и автоматические

метеостанции (АМС), существенно повышают достоверность прогнозирования ЧС [16]. Возможности прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений с использованием дистанционных и автоматизированных средств наблюдения по данным НПО «Тайфун», представлены в табл. 3.

Формирование систем раннего предупреждения о ЧС за счет внедрения информационных технологий в современные автоматизированные системы наблюдения за состоянием окружающей среды может базироваться на следующих положениях:

- уровень развития систем раннего предупреждения о ЧС должен быть адекватен уровню тех угроз и опасностей, которые характерны для данной территории;
- организация совместного использования мониторинговых систем должна предоставлять равноправный доступ к данным объективного контроля всех организаций, участвующих в прогнозировании ЧС;



Рис. 2. Современное состояние системы предупреждения о цунами

Figure 2. Current state of the tsunami warning system

**Таблица 3. Возможности прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений с использованием автоматизированных средств наблюдения***Table 3. Ability to predict hazardous hydrometeorological phenomena using automated surveillance tools*

Опасное явление	Заблаговременность прогноза	Оправдываемость прогноза, %	Примечание
Шквал	0,5–36 час.	60–80	При наличии данных ДМРЛ и АМС
Смерч	5–30 мин.	Статистически достоверные данные отсутствуют	При наличии данных ДМРЛ. Необходимы накопление и анализ экспериментальных данных
Ливень	0,5–12 час.	70–80	С использованием мезомасштабных моделей погоды, данных ДМРЛ
Паводок в равнинной местности	3–12 час.	50–70	При наличии ДМРЛ, автоматических измерений осадков и уровней воды
Паводок в горной местности	0,3–3 час.	50–60	При наличии ДМРЛ, автоматических измерений осадков и уровней воды
Сель	0,3–3 час.	50–60	При наличии ДМРЛ, мезомасштабных моделей погоды, автоматических измерений осадков и уровней воды

- совершенствование механизмов взаимодействия органов управления РСЧС с использованием возможностей информационных технологий должно быть направлено на снижение затрат бюджетов всех уровней.

Весьма сложной задачей является прогнозирование места и времени внезапного возникновения быстроразвивающихся ливневых наводнений за счет интенсификации циклонов на берегах водных объектов, на которых проживает население. После трагедии в Крымске планируется модернизировать систему прогнозирования опасных природных явлений по следующим направлениям:

- провести районирование территории России по типам опасных гидрологических явлений и частоте их повторяемости;
- в зонах быстроразвивающихся опасных паводков создавать сеть антивандальных автоматических метеостанций, способных в режиме реального времени определять и передавать данные о наблюдениях;
- обеспечить ввод в эксплуатацию необходимого количества дистанционных средств наблюдения наземного (метеорологические локаторы) и космического базирования для оперативного контроля развития опасных и катастрофических ситуаций.

В настоящее время в достаточной степени разработаны методы заблаговременного прогнозирования опасности возникновения лесных пожаров, которые включают комплекс взаимосвязанных метеорологических характеристик: периодичность

и продолжительность осадков, влажность и температуру воздуха, скорость и направление ветра и другие. Это позволяет создавать автоматизированные системы предупреждения об опасности возникновения лесных пожаров на основе использования космических средств наблюдения, авиационных средств, включая беспилотные средства, оснащенные аппаратурой мониторинга [17].

Основу российской системы предупреждения ЧС и осуществления комплексного анализа рисков формируют территориальные комплексные системы мониторинга ЧС природного и техногенного характера. Развитие комплексных систем мониторинга в субъектах Российской Федерации целесообразно осуществлять на основе максимального использования ранее достигнутых результатов по созданию мониторинговых и управляющих антикризисных систем и внедрения программно-аппаратных комплексов. Особое значение при организации этой работы имеет межведомственное взаимодействие территориальных органов федеральных органов исполнительной власти под эгидой администраций субъектов Российской Федерации. Целесообразно, чтобы координаторами создания и дальнейшего развития основных сегментов комплексной системы мониторинга являлись главные управления МЧС России по субъектам Российской Федерации.

Возможная типовая структура комплексной системы мониторинга ЧС природного и техногенного характера на региональном уровне представлена на рис. 3.

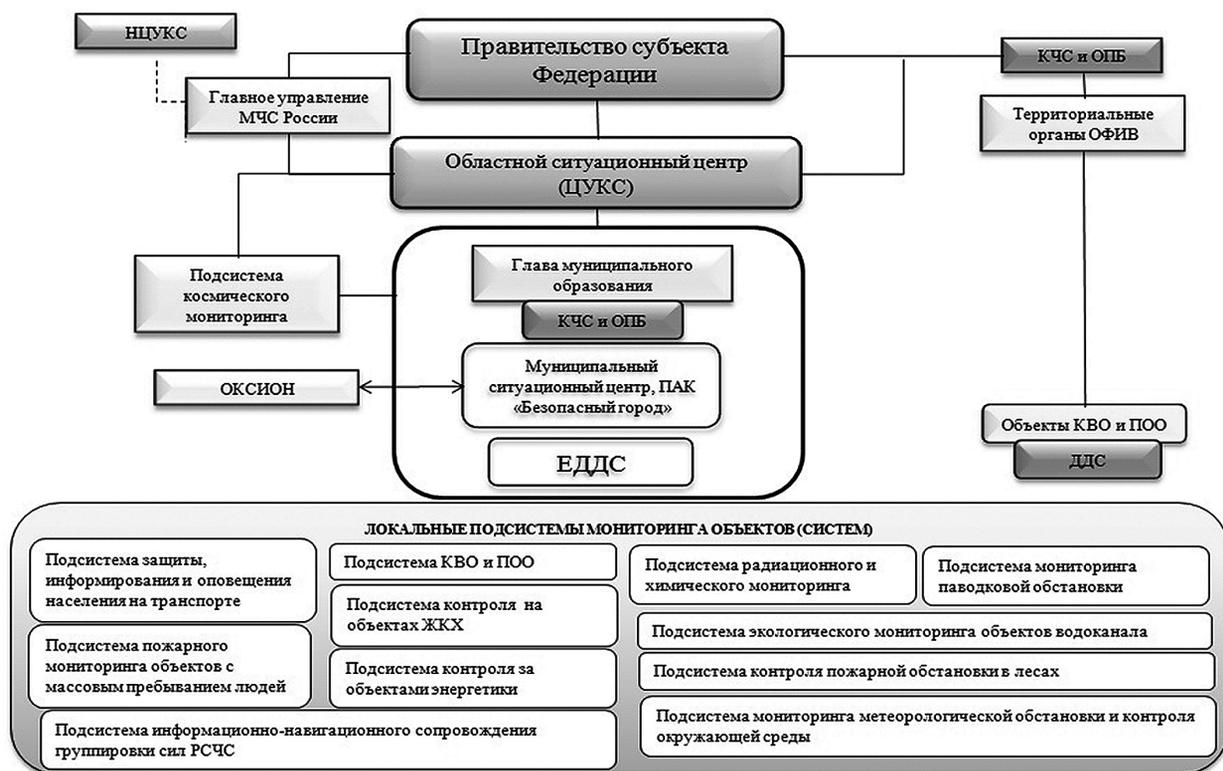


Рис. 3. Типовая структура комплексной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера субъекта Российской Федерации

Figure 3. Typical Structure of the Integrated System for Monitoring Natural and Man-Made Emergencies of the Constituent Entity of the Russian Federation

Источниками финансирования развития комплексной системы мониторинга ЧС природного и техногенного характера могут быть бюджеты субъектов Российской Федерации, а также финансовые средства, направленные на реализацию программы «Цифровая экономика».

На федеральном уровне необходимо продолжить развитие системы космического мониторинга ЧС. В настоящее время она обеспечивает органы управления РСЧС федерального и территориального уровней оперативной информацией о: состоянии территорий, находящихся в зонах повышенного риска возникновения ЧС; фактах возникновения ЧС; параметрах обстановки в пострадавших районах и динамики их дальнейшего развития. С помощью технологий дистанционного зондирования Земли в автоматизированном режиме контролируется ледовая и паводковая обстановка на реках и водоемах, происходит выявление тепловых аномалий и распознавание природных пожаров и других параметров обстановки.

Созданию космических систем мониторинга стихийных бедствий на базе многоспутниковых систем наблюдения уделяется в последнее время все большее внимание. Наличие в составе космических спутников радиолокационных датчиков и аппаратуры наблюдения с высокой разрешающей способностью позволяет осуществлять высококачественный мониторинг районов бедствий в любых погодных условиях [18]. Положение о взаимодействии организаций Роскосмоса и МЧС России позволяет МЧС России в качестве конечного пользователя обращаться в Роскосмос с запросами о помощи в получении данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при возникновении ЧС природного и техногенного характера.

Эффективный краткосрочный (дни и часы) прогноз возникновения и развития стихийных природных и техногенных бедствий на Земле обеспечивает снижение людских и материальных потерь как минимум на 20% и в настоящее время приобретает все большую

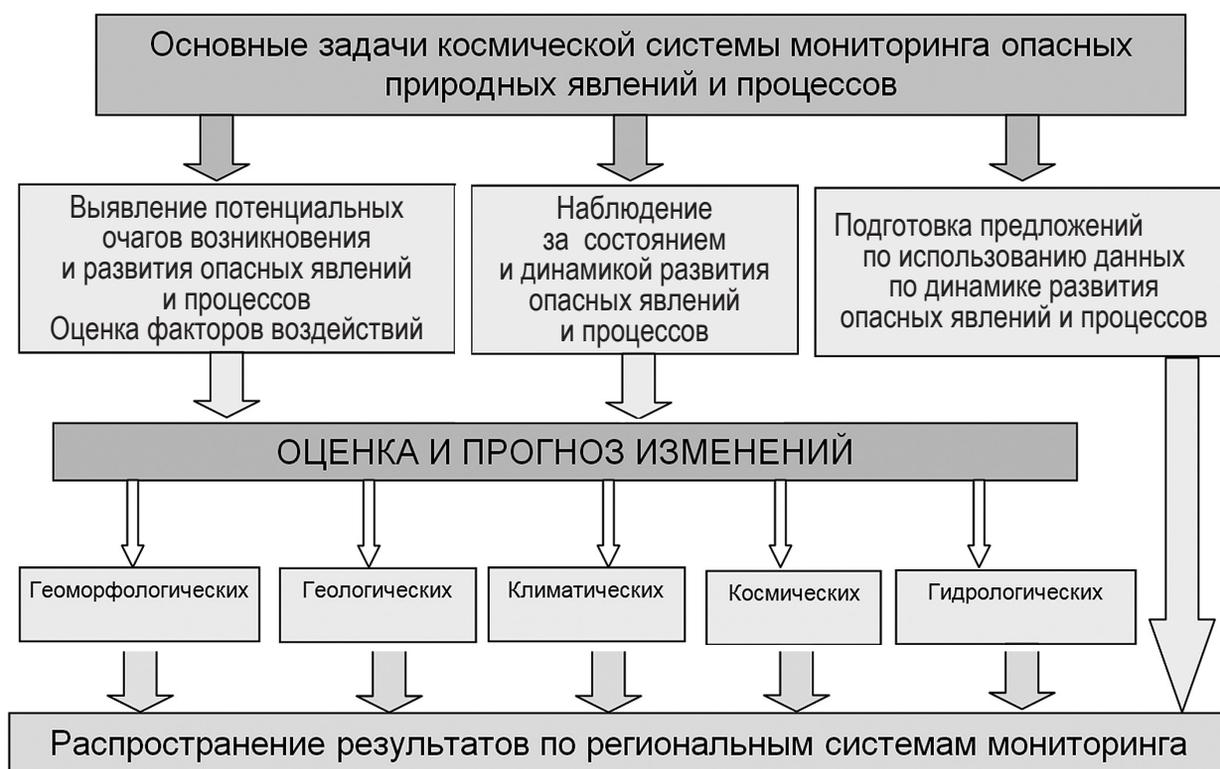


Рис. 4. Основные задачи космической системы дистанционного зондирования Земли

Figure 4. The main tasks of the space system of remote sensing of the Earth

актуальность. Основные задачи космической системы дистанционного зондирования Земли представлены на рис. 4.

Для достижения поставленной цели и решения задач космической системы дистанционного зондирования Земли в ее состав, помимо орбитального сегмента, должны входить еще авиационный и наземный. Орбитальный сегмент включает: малые космические аппараты мониторинга с разнообразной целевой аппаратурой обнаружения ранних признаков стихийных бедствий и техногенных катастроф; специализированную космическую систему (т.н. «космический дозор») из размещаемых в точках Лагранжа трех крупных космических аппаратов с оптическими инфракрасными телескопами на борту. Авиационный сегмент включает авиационные средства отечественной принадлежности, в том числе беспилотные средства, оснащенные аппаратурой мониторинга. Наземный сегмент содержит: станции приема данных космического мониторинга территориальных центров мониторинга и прогнозирования ЧС субъектов Российской Федерации;

инфраструктуру средств выведения и управления космическими аппаратами.

В рамках реализации государственной политики в области космической деятельности и с целью социально-экономического развития Российской Федерации<sup>1</sup> представляется целесообразным оснастить территориальные центры мониторинга и прогнозирования ЧС субъектов Российской Федерации средствами космической связи. Это позволит им получать данные дистанционного зондирования Земли из космоса с высокой периодичностью и контролировать источники ЧС природного и техногенного характера.

Для борьбы с будущими смертельно опасными инфекциями необходимо в рамках национальной программы «Санитарный щит» подготовить персонал

<sup>1</sup> П. 12 «Основы государственной политики в области использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития ее регионов на период до 2030 года», утвержденные Президентом РФ 14.01.2014 за № Пр-51.

и оснастить лаборатории Роспотребнадзора таким образом, чтобы они могли в течение 24 час. обеспечить идентификацию любого нового патогена, а через четверо суток создать тест-систему для массового выявления заболевших.

Проблема своевременного и гарантированного информирования населения об угрозе возникновения или о возникновении природных катастроф может быть успешно решена за счет эффективного использования современных информационных технологий и электронных средств массовой информации. Для этого необходимо в зонах повышенного риска обеспечить интеграцию систем оповещения и информирования населения с системами мониторинга ЧС в единый автоматизированный комплекс. Это позволит при превышении установленных пороговых значений возникновения ЧС обеспечить своевременное предупреждение населения об опасности.

Взаимное проникновение телевидения и Интернета, замена традиционных носителей информации на электронные, современный уровень развития телекоммуникационных и информационных технологий дают возможность вывести на качественно новый технологический уровень оповещение населения, сделав его более оперативным и информационно насыщенным.

### **3. Предложения по повышению готовности единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС ситуаций к оперативному реагированию на природные катастрофы**

Стратегия оперативного экстренного реагирования на природные катастрофы базируется на следующих направлениях деятельности:

- оперативный анализ и оценка масштаба развития природных катастроф для определения мер по их локализации и смягчению последствий;
- своевременное распространение предупреждений об угрозах и опасностях, которое должно выпускаться официальным, всем известным источником;
- определение в сжатые сроки задач по ликвидации последствий, количеству необходимых пунктов управления, составу и численности группировок сил и средств для выполнения задач, а также районов проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ;

- осуществление оперативных мер защиты: эвакуация, укрытие в защитных сооружениях, использование индивидуальных технических и медицинских средств защиты;

- оперативное осуществление мер по локализации и максимальному предотвращению развития опасных явлений и восстановлению нарушенных условий жизнедеятельности населения.

Готовность РСЧС к оперативному реагированию на природные катастрофы в первую очередь зависит от готовности сил. Основу сил ликвидации ЧС составляют:

- спасательные воинские формирования, подразделения Государственной противопожарной службы, аварийно-спасательные формирования МЧС России;
- подразделения пожарной охраны, аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных, поисково-спасательных, аварийно-восстановительных и лесопожарных формирований, федеральных органов исполнительной власти, Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, организаций и общественных объединений;
- подразделения медицинских и иных организаций, входящих в Службу медицины катастроф, осуществляющие медико-санитарное обеспечение при ликвидации ЧС;
- силы обеспечения общественной безопасности при ЧС;
- силы ликвидации аварий на объектах топливно-энергетического комплекса, жилищно-коммунального хозяйства, сетей электросвязи;
- силы обеспечения общественного питания, бытового обслуживания и социальной защиты населения, пострадавшего от ЧС.

Основной целью совершенствования сил РСЧС является создание высокоподвижной, многопрофильной группировки, способной выполнять задачи по оперативному реагированию на ЧС различного характера с учетом географических, климатических и ландшафтных особенностей территорий российских регионов [19].

Силы РСЧС включают многопрофильные группировки различных по характеру действий формирований и в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 08.11.2013 № 1007 выполняют следующие задачи:

- тушение пожаров, в том числе лесных;
- организация и осуществление медико-санитарного обеспечения при ликвидации ЧС;
- предотвращение негативного воздействия вод и ликвидация его последствий;
- организация и проведение работ по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы;
- ограничение негативного техногенного воздействия отходов производства и потребления;
- авиационно-космический поиск и спасание;
- обеспечение безопасности гидротехнических сооружений;
- обеспечение транспортной безопасности;
- организация и проведение работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов;
- осуществление аварийно-спасательных работ по оказанию помощи судам и объектам, терпящим бедствие на море;
- обеспечение общественной безопасности при ЧС;
- осуществление мероприятий по предупреждению (ликвидации) последствий дорожно-транспортных происшествий и снижению тяжести их последствий;
- осуществление мероприятий по ликвидации аварий на объектах топливно-энергетического комплекса, жилищно-коммунального хозяйства, сетей электросвязи;

- защита населения от инфекционных и паразитарных болезней, в том числе общих для человека и животных;
- предотвращение распространения и ликвидация очагов заразных и иных болезней животных, вредителей растений, возбудителей болезней растений, а также растений (сорняков) карантинного значения;
- обеспечение общественного питания, бытового обслуживания и социальной защиты населения, пострадавшего от ЧС;
- осуществление мероприятий по предотвращению и ликвидации последствий радиационных аварий.

Необходимость выполнения столь различных по характеру задач предъявляет к группировкам сил весьма жесткие требования, представленные на рис. 5.

Обеспечение высокой степени готовности органов управления и сил РСЧС по ведению аварийно-спасательных и других неотложных работ и ликвидации крупномасштабных ЧС может быть достигнуто за счет:

- наращивания мобильных и многопрофильных возможностей группировки сил РСЧС путем максимально возможного объединения в нештатные спасательные службы всех, расположенных на данной территории формирований, обладающих сходным профилем деятельности и способных к совместному проведению конкретного вида мероприятий для



Рис. 5. Основные требования к силам РСЧС

Figure 5. Basic requirements for PRES forces

решения задач в области защиты населения и территорий от ЧС;

- развития авиационно-спасательных технологий и широкого использования комплексов беспилотных авиационных систем и других робототехнических устройств, технического перевооружения сил передовой пожарно-спасательной техникой, аэромобильными средствами спасения, современными приборами и оборудованием на основе использования нанотехнологий, микроэлектроники и других достижений научно-технического прогресса;

- строительства высокотехнологичной учебной и полигонной базы для успешного выполнения задач и подготовки личного состава сил;

- создания благоприятных экономических и социальных условий для формирования единых группировок сил РСЧС на федеральном, региональном и муниципальном уровнях.

В качестве возможного объединения всех расположенных на данной территории формирований на региональном и муниципальном уровне могут быть сформированы:

- службы наблюдения и предупреждения о возможных угрозах — на базе службы 112, организаций СНЛК и других учреждений и предприятий, осуществляющих наблюдение и контроль в области природных катаклизмов и техногенных опасностей;

- службы оповещения и связи — на базе организаций проводного, радио- и телевизионного вещания и связи;

- службы первоочередного жизнеобеспечения населения — на базе организаций жилищно-коммунального хозяйства, торговли и питания, баз отдыха, гостиниц, спортивных и культурно-массовых учреждений;

- службы охраны общественного порядка — на базе органов внутренних дел МВД России и подразделений Росгвардии.

На муниципальном уровне могут быть созданы службы срочного восстановления необходимых коммунальных структур — на базе организаций, осуществляющих энергообеспечение, водоснабжение, газоснабжение, водосточную канализацию и дорожно-транспортное обеспечение, а также строительных, строительно-монтажных и других родственных по профилю организаций, расположенных на территории муниципального образования.

В настоящее время для выполнения некоторых задач могут быть использованы объединенные силы РСЧС и, в частности, силы Всероссийской службы медицины катастроф и силы пожарных гарнизонов. Всероссийская служба медицины катастроф (ВСМК) — организационно-функциональное подразделение РСЧС, объединяющее органы управления, учреждения и формирования здравоохранения федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ и муниципальных органов, предназначенное для медицинского обеспечения населения при ЧС, террористических актах и военных конфликтах.

Созданные во многих муниципальных образованиях силы пожарных гарнизонов могут быть использованы для ведения аварийно-спасательных работ и в борьбе с пожарами. Для координации деятельности по первоочередному жизнеобеспечению населения в Донецкой Народной Республике был создан штаб по жизнеобеспечению, в состав которого вошли силы 25 органов государственной власти и организаций республики. Основными целями объединенных сил являются: выполнение задач по жизнеобеспечению, поддержание условий для сохранения жизни и здоровья пострадавшего населения и восстановление систем жизнеобеспечения на освобожденных территориях [20].

Техническое оснащение сил РСЧС необходимо проводить по следующим направлениям:

- повышение технологических и мобильных (аэромобильных) возможностей сил при выполнении всего спектра аварийно-спасательных и других неотложных работ и тушении пожаров;

- увеличение периода автономности при ликвидации чрезвычайных ситуаций и осуществление действий по защите населения от военных опасностей;

- обеспечение подразделений РСЧС и гражданской обороны многофункциональными мобильными аварийно-спасательными комплексами, комплектами аварийно-спасательного инструмента различных принципов действий, робототехническими средствами, техническими средствами разведки и поиска, отвечающими современным требованиям, современными многофункциональными беспилотными авиационными системами на базе автомобильных шасси повышенной проходимости.

Создание робототехнических средств — это важный путь к развитию технологий ликвидации ЧС различного

характера без нахождения человека в опасной зоне. Уже сегодня можно ставить вопрос не о разработке отдельных роботов, а о создании робототехнических комплексов, способных выполнять функции разведки, обнаружения источников опасности, их локализации и ликвидации. Многократно должна быть повышена дальность радиуправления роботами, а также их стойкость к воздействию различных излучений. Такие роботы смогут работать при авариях на АЭС, убирать ядерные отходы, спасать людей при взрывах химических заводов, транспортируя их из зоны поражения, а также ликвидировать последствия катастроф в зонах воздействия особо опасных факторов.

Природно-климатические условия Арктики определяют особый подход к созданию транспортных средств спасателей. Большая часть Арктической зоны России лежит на грунтах с более 2 млн озер общей площадью водной поверхности около 300 тыс. км (в некоторых районах озера занимают 30–50% поверхности). Средняя заболоченность составляет 30–50%, включая незамерзающие торфяники. Около 50% площади занимают возвышенности и горы. Разработка всепогодного транспортного средства, максимально адаптированного к эксплуатации в специфических природно-климатических и экономических условиях освоения Крайнего Севера и Сибири является крайне актуальной проблемой.

В рамках активизации научных исследований в области обеспечения биологической безопасности населения основные усилия необходимо направить на создание [21]:

- достоверных тест-систем для экспресс-обнаружения смертельно опасных патогенов;
- высокоэффективных вакцин и лечебных препаратов, обеспечивающих защиту населения от возбудителей особо опасных инфекций;
- автоматизированных систем, обеспечивающих масштабную дезинфекцию помещений и объектов окружающей среды.

Заблаговременная подготовка сил должна системно проводиться в ходе занятий, различных тренировок и учений. Легенда и замысел учений должны разрабатываться с учетом специфики каждого региона. В ходе учений особое внимание необходимо уделить отработке вопросов эвакуации населения, инженерной, радиационной, химической, биологической и медицинской защите, а также слаженности,

четким действиям и совместному взаимодействию сил при ликвидации условных ЧС и пожаров. Для повышения уровня подготовки личного состава РСЧС к оперативному выполнению задач по предназначению необходима разработка специальных программно-демонстрационных комплексов, обеспечивающих приобретение профессиональных навыков реагирования на различные виды ЧС, характерных для данного региона. Необходимо также проводить анализ всех случаев проявления опасных событий с оценкой работы всех звеньев территориальных подсистем РСЧС с целью ее дальнейшего совершенствования.

Необходимо также обновить материально-технические запасы для жизнеобеспечения населения и ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ с учетом опыта проведения гуманитарных операций и обеспечения пострадавших в ходе проведения специальной военной операции на Украине. Номенклатура запасов материальных средств должна определяться, исходя из: величины вероятного ущерба объектам экономики и инфраструктуры от прогнозируемых ЧС, природных, экономических и иных особенностей территорий, условий размещения организаций и других исходных данных, принятых для разработки планов гражданской обороны и защиты населения.

## Заключение

Вследствие изменения климата увеличились частота и масштаб последствий природных катастроф и стихийных бедствий. Особо значимые социальные и экономические последствия вызывают землетрясения, ливневые наводнения, природные пожары, ураганы (смерчи) и «волны жары». Эффективный прогноз места и времени внезапного возникновения быстроразвивающихся ливневых наводнений, природных пожаров и ураганов обеспечивает снижение людских и материальных потерь как минимум на 20%.

В целях повышения эффективности прогнозирования быстроразвивающихся ливневых наводнений, природных пожаров и ураганов представляется целесообразным:

- провести с помощью искусственного интеллекта с учетом прошедших климатических изменений районирование территорий субъектов Российской Федерации с целью выявления зон высокого риска возникновения быстроразвивающихся ливневых наводнений, природных пожаров и ураганов;

- в зонах высокого риска возникновения ливневых наводнений, природных пожаров и ураганов на базе центров наблюдения за климатическими параметрами и состоянием природной среды, создавать локальные информационно-аналитические системы раннего обнаружения предвестников этих быстроразвивающихся опасных природных явлений;

- оснастить территориальные центры мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций субъектов Российской Федерации средствами космической связи для получения с высокой периодичностью данных об источниках быстроразвивающихся опасных природных явлений с помощью средств дистанционного зондирования Земли.

Повышение готовности органов управления и сил РСЧС к оперативному реагированию на природные катастрофы может быть достигнуто за счет:

- наращивания мобильных и многопрофильных возможностей группировки сил территориальных подсистем РСЧС путем объединения в нештатные спасательные службы всех расположенных на данной территории формирований, обладающих сходным профилем деятельности и способных к совместному проведению конкретного вида мероприятий для решения задач в области защиты населения и территорий от ЧС;

- широкого использования цифровых и авиационно-спасательных технологий, включая беспилотные летательные аппараты и другие робототехнические устройства для ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ; технического перевооружения сил передовой пожарно-спасательной техникой, аэромобильными средствами спасения, современными приборами и оборудованием на основе использования нанотехнологий, микроэлектроники и других достижений научно-технического прогресса.

Предлагаемые мероприятия могут быть выполнены в рамках развития территориальных подсистем РСЧС за счет финансовых средств программы «Цифровая экономика» и программ развития субъектов Российской Федерации.

## Список источников [References]

1. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу, под

ред. В.М. Катцова, Б.Н. Порфирьева. Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2021, 252 с. [Assessment of the macroeconomic consequences of climate change in the territory of the Russian Federation for the period up to 2030 and the future, ed. by V.M. Kattsov, B.N. Porfiriev. Roshydromet. M.: D'ART: Main Geophysical Observatory, 2021, 252 p. (In Russ.)]

2. Атлас смертности и экономических потерь в результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений за 1970–2019 годы // ВМО. 2021. № 1267. 90 с. [Atlas of mortality and economic losses due to extreme meteorological, climatic and hydrological events for 1970–2019 // WMO. 2021. № 1267. 90 p. (In Russ.)]
3. Осипов В.И., Шойгу С.К. и др. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации. М.: «Дизайн, Информация, Картография». 2015. [Osipov V.I., Shoigu S.K. et al. Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergencies in the Russian Federation. M.: «Design, Information, Cartography». 2015. (In Russ.)]
4. Ревич Б.А., Григорьева Е.А. Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в начале XXI века. Часть 1. Волны жары и холода. // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 12–33. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33> [Revich B. A., Grigorieva E. A. Health risks to the Russian population from weather extremes in the beginning of the XXI century. Part 1. Heat and cold waves // Issues of Risk Analysis. 2021;18(2):12–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33>]
5. Порфирьев Б.Н. Экономическая оценка людских потерь в результате чрезвычайных ситуаций // Вопросы экономики. 2013. № 1. С. 48–68. DOI:10.32609/0042-8736-2013-1-48-68 [Porfiriev B. N. Economic evaluation of human losses from disasters // Voprosy Ekonomiki. 2013;(1):48–68. (In Russ.). DOI: 10.32609/0042-8736-2013-1-48-68]
6. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Волны холода в южных городах Европейской части России и преждевременная смертность населения // Проблемы прогнозирования. 2016. № 2(155). С. 125–131. [Revich B. A., Shaposhnikov D. A. Cold waves in southern cities of European Russia and premature mortality // Studies on Russian Economic Development. 2016;27(2): 210–215. DOI: 10.1134/S107570071602012X]

7. XXI век — вызовы и угрозы / В. А. Акимов, В. А. Владимиров, В. П. Малышев [и др.]; Под общей редакцией В. А. Владимирова. М.: Ин-октаво, 2005. 304 с. ISBN 5-98738-026-X [XXI century — challenges and threats / V.A. Akimov, V.A. Vladimirov, V.P. Malyshev [et al.]; Under the general editorship of V.A. Vladimirov. M.: In-octavo, 2005. 304 p. ISBN5-98738-026-X. (In Russ.)]
8. Доронина О.Д. Стратегия ООН для устойчивого развития в условиях глобализации / О.Д. Доронина; О.Д. Доронина, О.Л. Кузнецов, Ю.А. Рахманин; под ред. Н.Ф. Измерова; РАЕН, РАМН.— М.: РАЕН, 2005. 247 с. (Подходы и решения). ISBN 5-94515-020-7 [Doronina O.D. UN Strategy for Sustainable Development in Globalization / O.D. Doronina; O.D. Doronina, O.L. Kuznetsov, Yu.A. Rakhmanin; ed. N.F. Izmerova; RANS, RAMS. M.: RANS, 2005. 247 p. (Approaches and solutions). ISBN5-94515-020-7. (In Russ.)]
9. Управление экономикой в экстремальных условиях, сборник научных трудов Института макроэкономических исследований Минэкономразвития / Под общ. ред. К.П. Самсонова. М.: ФБНУ «ИМЭИ», 2014. № 2. 256 с. [Economic management in extreme conditions, collection of scientific papers of the Institute of Macroeconomic Research of the Ministry of Economic Development / Under the general editorship of K.P. Samsonov. M.: FBNU “IMEI”, 2014. No. 2. 256 p., (In Russ.)]
10. Зимов С. Дремлющая угроза. О плейстоценовых парках и не вечной мерзлоте // Российская газета. 2021. № 245(8596). URL: <https://rg.ru/2021/10/26/o-plejstocenovyh-parkah-i-nevechnoj-merzlote.html?ysclid=lu1572k5ak111806138> [Zimov S. Dormant threat. About Pleistocene parks and non-permafrost // Rossiyskaya Gazeta. 2021. № 245(8596). URL: <https://rg.ru/2021/10/26/o-plejstocenovyh-parkah-i-nevechnoj-merzlote.html?ysclid=lu1572k5ak111806138>. (In Russ.)]
11. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территории Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 г.» М.: МЧС России. 2021 URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946?ysclid=lu15c3f23d39778453> [State Report “On the State of Protection of the Population and the Territory of the Russian Federation from Natural and Man-Made Emergencies in 2021”. M.: EMERCOM of Russia. 2021 URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946?ysclid=lu15c3f23d39778453>. (In Russ.)]
12. Малышев В.П. Возможные направления работ по смягчению последствий коронавирусных инфекций // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 44–51. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-44-51> [Malyshev V. P. Possible ways to mitigate the term consequences COVID-19 // Issues of Risk Analysis. 2021;18(2):44–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-44-51>]
13. Цаликов Р.Х. Оценка природной, техногенной и экологической безопасности России: Научное издание / Р.Х. Цаликов, В. А. Акимов, К. А. Козлов; ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. 464 с. ISBN 978-5-93970-040-5 [Tsalikov R. Kh. Assessment of the natural, man-made and environmental safety of Russia: Scientific publication / R. Kh. Tsalikov, V.A. Akimov, K. A. Kozlov; FSBI VNII GOChS (FC). M.: FSBI VNII GOChS (FC), 2009. 464 p. ISBN 978-5-93970-040-5. (In Russ.)]
14. Экономические механизмы ресурсного обеспечения мероприятий по защите населения и территорий от угроз военного, природного и техногенного характера / М.И. Фалеев, А. А. Быков, Э. Я. Богатырев [и др.]. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2017. 308 с. ISBN 978-5-93970-204-1 [Economic mechanisms of resource support for measures to protect the population and territories from threats of a military, natural and man-made nature / M.I. Faleev, A. A. Bykov, E. Ya. Bogatyrev [et al.]. M.: FSBI VNII GOChS (FC), 2017. 308 p. ISBN 978-5-93970-204-1. (In Russ.)]
15. Воробьев Ю.Л. Цунами: предупреждение и защита / Ю.Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю.И. Соколов. М.: «Вектор ТиС», 2006. 272 с. ISBN5-93126-090-0 [Vorobyov Yu.L. Tsunami: warning and protection / Yu.L. Vorobyov, V.A. Akimov, Yu.I. Sokolov. M.: “Vector TiS”, 2006. 272 p. ISBN 5-93126-090-0. (In Russ.)]
16. Природные опасности России: Монография в 6 томах / Г.С. Голицын, А. А. Васильев, С. Н. Куличков [и др.]; Под ред. Г.С. Голицына, А. А. Васильева. Том 5. М.: КРУК, 2001. 296 с. ISBN 5-900816-66-4 [Natural hazards of Russia: Monograph in 6 volumes / G.S. Golitsyn, A. A. Vasiliev, S.N. Kulichkov [et al.]; Ed. G.S. Golitsyna, A. A. Vasilyeva. Volume 5. M.: KRUK, 2001. 296 p. ISBN 5-900816-66-4. (In Russ.)]
17. Барталев С. А., Ершов Д. В., Коровин Г. Н. и др. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров

- Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 97–105 [Bartalev S. A., Ershov D. V., Korovin G. N. et al. The main functionalities and structure of the Forest Fire Satellite Monitoring Information System of Russian Federal Forestry Agency (SMIS-Rosleshoz) // Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. 2010;7(2):97–105. (In Russ.)]
18. Гришин Н. Н., Костяной А. Г. О спутниковом мониторинге распространения взвешенных наносов при строительстве морского газопровода Nord Stream в российских водах Балтийского моря в 2010 г // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 167–175 [Grishin N. N., Kostianoy A. G. On satellite monitoring of suspended matter transport during the construction of an offshore gas pipeline Nord Stream in Russian waters of the Baltic Sea in 2010 // Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. 2012;9(1):167–175. (In Russ.)]
19. Стратегия развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 16 октября 2019 г. № 501 [Strategy for the development of civil defense, protection of the population and territories from emergency situations, ensuring fire safety and safety of people in water bodies for the period up to 2030, approved by Decree of the President of the Russian Federation dated October 16, 2019 No. 501. (In Russ.)]
20. Кострубицкий А. А. Об опыте жизнеобеспечения населения на территориях Донецкой Народной Республики пострадавших в результате агрессии Украины против Донбасса. Донецк: МЧС ДНР, 2022 [Kostrubitsky A. A. On the experience of life support of the population in the territories of the Donetsk People's Republic affected by the aggression of Ukraine against Donbass. Donetsk: Ministry of Emergency Situations of the DPR, 2022. (In Russ.)]
21. Зверев В. В. Препараты для создания системы защиты населения от новых биологических угроз. Сборник ЦСИ ГЗ МЧС России. М. 2015. № 3 [Zverev V. V. Preparations for the creation of a system of protection of the population from new biological threats. Collection of Center for Strategic research on Civil defence EMERCOM of Russia. M. 2015. No. 3 (In Russ.)]

## Сведения об авторе

**Мальшев Владлен Платонович:** доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Количество публикаций: более 316

Область научных интересов: проблемы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях

SPIN-код: 2163–3798

Контактная информация:

Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

Vlad1936.malyshev@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 23.01.2024

Одобрена после рецензирования: 28.02.2024

Принята к публикации: 29.02.2024

Дата публикации: 26.04.2024

*The article was submitted: 23.01.2024*

*Approved after reviewing: 28.02.2024*

*Accepted for publication: 29.02.2024*

*Date of publication: 26.04.2024*

**ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России"  
(федеральный центр науки и высоких технологий)**



**МОНИТОРИНГ**

**НАУКА**

**ТЕХНОЛОГИЯ**

**БЕЗОПАСНОСТЬ**

**ИННОВАЦИИ**

**ЭКСПЕРТИЗА**

**СЕРТИФИКАЦИЯ**

УДК 550.341:551.515  
Научная специальность: 1.6.21

# Циклоническая активность тропических циклонов и некоторые ее особенности. Часть III. Об одной особенности совместной динамики годовых значений циклонической и сейсмической энергий в зоне действия тропических ЦИКЛОНОВ

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

Ярошевич М.И.,  
Россия, г. Обнинск

## Аннотация

По всем тропическим циклонам и землетрясениям с магнитудой  $M \geq 7$ , которые произошли 1970 по 2015 гг. в северо-западной части Тихого океана, рассчитаны годовые значения циклонической и сейсмической энергии. При сдвиге (отставании) хронологического ряда годовых значений сейсмической энергии относительно хронологического ряда циклонической энергии на 5–7 лет выявлена положительная корреляция между многолетней динамикой годовых значений циклонической и сейсмической энергий. Это позволяет допустить предположение, что тропические циклоны могут влиять на сейсмический режим зоны с особо высокой циклонической и сейсмической активностью, коей является территория северо-западной части Тихого океана.

**Ключевые слова:** тропические циклоны; циклоническая и сейсмическая энергия; магнитуда землетрясений.

**Для цитирования:** Ярошевич М.И. Некоторые закономерности всплесков циклонической активности тропических циклонов. Часть III. Об одной особенности совместной динамики годовых значений циклонической и сейсмической энергий в зоне действия тропических циклонов // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 2. С. 34–41.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

# Cyclonic Activity of Tropical Cyclones and Some of its Features.

## Part III.

### About one Feature of the Joint Dynamics of Annual Values of Cyclonic and Seismic Energies in the Area of Action of Tropical Cyclones

**Mikhail I. Yaroshevich,**  
Obninsk, Russia

#### Abstract

For all tropical cyclones and earthquakes with magnitude  $M \geq 7$ , which occurred from 1970 to 2015 in the northwestern part of the Pacific Ocean, annual values of cyclonic and seismic energy are calculated. The shift (lag) of the chronological series of annual values of seismic energy relative to the chronological series of cyclonic energy by 5–7 years revealed a positive correlation between the long-term dynamics of annual values of cyclonic and seismic energies. This allows us to assume that tropical cyclones can affect the seismic regime of a zone with especially high cyclonic and seismic activity, which is the territory of the northwestern Pacific Ocean.

**Keywords:** tropical cyclones; cyclonic and seismic energy; magnitude of earthquakes.

**For citation:** Yaroshevich M.I. Some regularities of burst cyclone activity of tropical cyclones. Part III. About one feature of the joint dynamics of annual values of cyclonic and seismic energies in the area of action of tropical cyclones // *Issues of Risk Analysis*. 2024;21(2):34–41. (In Russ.).

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

#### Содержание

Введение  
1. Методика расчета циклонической энергии  
2. Эксперимент  
Заключение  
Список источников

## Введение

Давно установлено, что тропические циклоны, перемещаясь, порождают специфические сейсмические волны — штормовые микросейсмы. Это свидетельствует об определенном воздействии тропических циклонов на земную кору [1–6 и многие др.].

Суточная кинетическая энергия среднего тропического циклона оценивается величиной порядка  $1 \times 10^{18}$  Дж [7]. Суммарная сейсмическая энергия на всей Земле за год оценивается также величиной в  $1 \times 10^{18}$  Дж [8].

Эти два факта послужили основанием для начала исследований возможного влияния тропических циклонов на сейсмический режим в зоне действия циклонов.

В начале исследований показалось, что наиболее целесообразно рассматривать северо-западную часть Тихого океана [(5°–45°) N — (115°–175°)] как район особо высокой сейсмической и циклонической активности. Так, например, здесь в течение 1970–2015 гг. зарегистрировано около 17 тыс. землетрясений всех магнитуд. За это же время на этой же площади действовало 1380 тропических циклонов, из которых 740 достигло стадии тайфунов (скорость ветра более 33 м/с). Это, конечно, очень высокий уровень циклонической и сейсмической активности<sup>1</sup>. Циклоны здесь делятся, примерно, от 4 до 14 ÷ 16 суток. В рассматриваемой циклонической зоне тропические циклоны могут возникать в любое время года, но наивысшая их интенсивность как по энергии, так и по их количеству приходится на июль — октябрь месяцы [9, 10]. К тому же в периоды активной циклонической деятельности очень часты ситуации, когда фрагментарно перекрывающая друг друга по времени, одновременно действует несколько циклонов.

Конечно, оценку возможного воздействия тропических циклонов на земную кору логичнее всего получить прямыми расчетами. Однако на этом пути возникает ряд пока трудно разрешимых задач. Необходимо определить особенности характера передачи энергии циклона через толщу воды земной коре с учетом разнообразия рельефа дна океана и его глубин. Предпринимаются определенные попытки для решения таких задач [11].

<sup>1</sup> Данные о тропических циклонах взяты из Интернета по адресу — «Unisys Weather год Hurricane — Tropical Data for Pacific». Сведения о землетрясениях предоставлены «Геофизической службой РАН» (г. Обнинск).

В исследованиях возможного воздействия тропических циклонов важно знать, какая доля циклонической энергии поступает в земную кору. Понятно, что штормовые микросейсмы, то есть их сейсмическая энергия — это лишь «видимая» реакция земной коры на циклоническое воздействие. Исследования различных типов взрывов показали, что, во-первых, отношения сейсмической энергии к полной энергии взрыва — очень малые величины [12]. Разумеется, механизмы воздействия на земную кору взрывов и циклонов сильно различаются, но первые дают хотя бы какую-то ориентацию о соотношениях сейсмической энергии и энергии, диссипированной в земную кору. Именно диссипированная энергия должна, как кажется, определять характер и степень воздействия циклона на земную кору.

Но даже если удастся решить эти задачи и таким образом всегда оценивать величину поступившей в кору циклонической энергии, мы столкнемся с очередной и, как представляется, неразрешимой задачей. Земная кора — это открытая система с множеством «точек» напряженностей. Характер этих напряженностей непрерывно меняется как во времени, так и по пространству. Для расчетов реакции земной коры на действия циклонов мы должны знать ее поля напряженности в любой момент времени, на обширных пространствах и до глубин хотя бы неглубоких землетрясений. Понятно, что такая цель недостижима, по крайней мере, в настоящее время. В этой ситуации реакция земной коры на действие отдельного тропического циклона может быть очень разной в зависимости от состояния земной коры в конкретные моменты времени. Поэтому полагаю совершенно некорректными попытки в исследованиях «связать» конкретное землетрясение с конкретным тропическим циклоном. Это, скорее всего, всегда будет иллюзорным результатом.

Именно из-за постоянной неопределенности состояния земной коры представляется корректным рассматривать только длительную во времени динамику циклонической и сейсмической активности и на относительно больших территориях. Только при этих условиях возможны относительно правдивые статистика и закономерности.

Исходя из приведенных, почти не разрешимых сложностей в прямой оценке воздействия тропических

циклонов на сейсмичность, предпринята попытка выявить предполагаемое воздействие опосредованно. То есть решается своего рода обратная задача, когда статистически сопоставляются и анализируются воздействия и отклики на воздействия.

В работе [13] приведен ряд расчетных экспериментов, проведенных по циклонической зоне северо-западной части Тихого океана. Для ряда последовательных лет, для всех месяцев года рассчитаны среднемесячные значения циклонической энергии. При этом, как уже упоминалось выше, значительно возрастает циклоническая энергия в летне-осеннее время. Для этих же лет и по этой же территории определялись среднемесячные значения сейсмической энергии отдельно по землетрясениям с магнитудой  $M \geq 5$  и по землетрясениям  $M \geq 6$ . Динамика среднемесячных значений циклонической и сейсмической энергий оказалась удивительно схожей. То есть и у землетрясений проявилось сильное летне-осеннее усиление или ярко выраженная сезонность. Другой расчетный эксперимент, оценивающий динамику сейсмической энергии на континентальной территории (Средняя Азия) не выявил усиления сейсмической активности в летне-осенний период. Примечателен и третий расчетный эксперимент. Рассматриваются шесть примыкающих друг к другу территорий, каждая размером  $25^\circ \times 25^\circ$ . Все шесть территорий ограничены по долготе  $120^\circ \text{E}$  и  $145^\circ \text{E}$ . По широте самая южная территория ограничена с юга  $10^\circ \text{S}$  и с севера  $15^\circ \text{N}$ . По каждой территории определяется динамика среднемесячной сейсмической энергии. Примечательно, что при этом меняется характер графиков. По мере смещения рассматриваемых территорий на север все сильнее проявляется рост сейсмической активности в летне-осенние месяцы. При этом, перемещаясь на север, мы постепенно выходим из зон, где не бывает тропических циклонов, в зоны постепенного нарастания циклонической активности. Исходя из полученных результатов, было высказано предположение, что тропические циклоны или циклоническая активность могут рассматриваться в качестве одного из факторов, влияющих на сейсмический режим в зоне высокой циклонической активности тропических циклонов. Ниже приведен новый эксперимент, который, как кажется, призван усилить представление о роли тропических циклонов в характере сейсмической активности.

## 1. Методика расчета циклонической энергии

Оценка величины циклонической кинетической энергии основывается на методе расчета энергии отдельного циклона. При этом энергия рассчитывалась по зоне максимальных ветров ( $V_m$ ) или для круга с довольно характерным радиусом максимальных ветров  $r_m \approx 50$  км [7].

Выше уже упоминалось, что в рассматриваемом районе циклоны нередко действуют группами. Однако непонятно было, как учитывать одновременный энергетический вклад каждого циклона и как оценивать распределение этой «совмещенной» энергии по пространству, принимая во внимание, что ширина действия циклона достигает нескольких сотен километров.

В расчетах необходимо было принять во внимание следующее обстоятельство — циклонический ветер достигает значительной силы и на расстояниях ( $r$ ), значительно превышающих  $r_m$ , и это непременно следует учитывать в оценке энергии циклона. При этом скорость циклонического ветра ( $V_r$ ) с удалением от центра циклона на расстояние  $r$  определяется из соотношения  $V_r = (V_m \times r_m^{0.5})/r^{0.5}$  [10].

Проблема учета роли всех одновременно или фрагментарно во времени перекрывающих друг друга циклонов в оценке их суммарной энергии и сложность учета ветровой энергии на расстояниях  $r \geq r_m$  были решены при помощи построения достаточно простой модели формирования ветровых полей и расчета энергии этих полей. Методика расчетов достаточно подробно описана в работе [14]. Кратко изложим суть схемы расчетов.

Параметры тропических циклонов (дата, время, координаты, скорость максимального ветра, дефицит давления и др.) в метеорологической информации часто представлены в 00 час. и в 12 час. Гринвичского времени. Координаты циклона в эти фиксированные моменты времени представляются в расчетах в качестве «источников» ветра и центров круговых ветровых полей<sup>2</sup>. Циклоническая зона разбивается на элементарные квадраты размерами от  $1^\circ \times 1^\circ$  до  $5^\circ \times 5^\circ$ , в зависимости от размеров площади, по которой ведется расчет. Для всех «источников» и циклонов,

<sup>2</sup> Реально ветровые поля вокруг центра циклона по форме не совсем круглые. Однако в расчетной модели для некоторого упрощения они определены, как круглые.

действовавших на этот момент времени, по соответствующим каждому источнику значениям  $V_m$ ,  $r_m$  и множеству значений  $r$  и  $V_r$  (где  $r$  и  $V_r$  — расстояние от конкретного «источника» до центра конкретного элементарного квадрата и скорость ветра в центре квадрата) рассчитывается значение кинетической энергии для центра каждого элементарного квадрата. В модели энергия в центре элементарного квадрата отнесена ко всему квадрату. В каждом элементарном квадрате к энергии, рассчитанной для данного момента времени, прибавляется энергия, рассчитанная для предшествующих «источников». Это связано с тем, что циклонические ветры еще некоторое время достаточно ощутимы и после ухода с этого места центра циклона. Значения энергий прошлых моментов времени ослабевают по экспоненте в зависимости от числа прошедших 12-часовых отрезков времени. В результате в каждом элементарном квадрате формируется «суперпозиция» значений энергии. Спад величины энергии по экспоненте довольно быстрый и потому основной вклад в величину циклонической энергии элементарного квадрата формируется дошедшей до него энергией источника за последние 3–4 полусуток. Сумма «суперпозиционных» энергий элементарных квадратов по всей рассматриваемой площади характеризует циклоническую энергию на данный момент времени и по всей рассматриваемой площади. В результате такого подхода, как уже отмечалось, были решены выше обозначенные проблемы. Модель неоднократно иллюстрировала, что результаты расчетов по ней хорошо и довольно детально отражают реальную картину циклонической активности.

Уместно отметить, что благодаря этой модели многолетний поток циклонов предстал в виде непрерывного и единого энергетического процесса, благодаря чему впервые начаты исследования взаимосвязей различных этапов развития циклонической активности [15].

## 2. Эксперимент

Приведенный ниже эксперимент рассматривается в качестве логического продолжения вышеописанных экспериментов [13]. Целью нового эксперимента было, используя несколько другую методику, вновь установить, сказывается ли циклоническая активность на характере сейсмичности в зоне действия циклона. Эксперимент проведен для той же вышеозначенной

циклонической зоны северо-западной части Тихого океана.

В эксперименте для различных многолетних интервалов определялись хронологически годовые значения циклонической и сейсмической энергии. Циклоническая энергия вычислялась по вышеприведенной модели. Сейсмическая энергия определялась разными диапазонами магнитуд. Соответствующие многолетние ряды циклонической и сейсмической энергии сопоставлялись с оценкой корреляции между ними. При этом изначально было понимание, что, скорее всего, проявится эффект «последствия». Объяснялось это тем, что инертность земной коры больше, нежели инертность атмосферы и океана и, стало быть, если реакция земной коры состоится, то она должна на некоторое время задержаться. Иначе говоря, в сопоставлении рядов сейсмический ряд должен был начинаться позже, чем циклонический ряд.

Было рассчитано относительно большое число вариантов, отличающихся длительностями годовыми рядами, так и диапазонами магнитуд землетрясений. Из всех вариантов наибольший коэффициент корреляции между рядами (0.91) достигнут в случае интервала 1970–2015 гг., для землетрясений с  $M \geq 7$  и при «запаздывании» сейсмического ряда на шесть лет<sup>3</sup>. При этом при больших и меньших «запаздываниях» сейсмического ряда коэффициенты корреляции постепенно ослаблялись.

На рисунке 1 приведена сглаженная динамика исходных годовых значений циклонической и сейсмической энергии для описанного случая, то есть без запаздывания хронологического ряда годовых значений сейсмической энергии.

Коэффициент корреляции между приведенными несмещенными относительно друг друга рядами циклонической и сейсмической энергий равен в этом случае — 0.18. То есть не наблюдается какая-либо статистическая связь между годовыми значениями циклонической и сейсмической энергии внутри года.

В публикации [16] излагаются результаты тщательного исследования возможного непосредственного влияния

<sup>3</sup> Для этих же лет, но для землетрясений с  $M \geq 5$  и  $M \geq 6$  сохранилась та же закономерность корреляционных связей, но с немногими меньшими коэффициентами корреляции. Так, например, в случае  $M \geq 5$  при запаздывании сейсмического ряда на 5,6 и 7 лет коэффициенты корреляции были соответственно 0.83, 0.887 и 0.824.

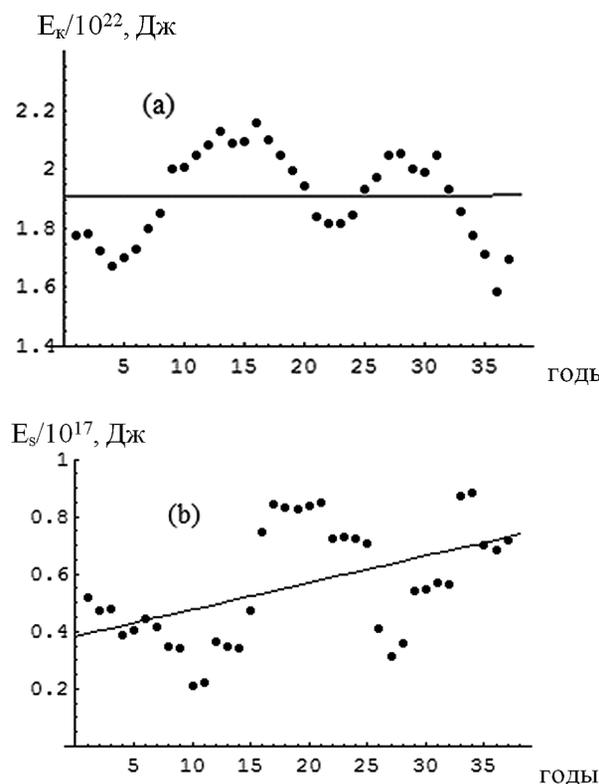


Рис. 1. Сглаженная динамика исходных, не смещенных относительно друг друга годовых значений циклонической (а) и сейсмической (б) энергий. Энергии рассчитаны по тропическим циклонам и землетрясениям ( $M \geq 7$ ), произошедшим в 1970–2015 гг. в циклонической зоне северо-западной части Тихого океана. Сглаживание – скользящее, окном в 10 последовательных значений

Figure 1. Smoothed dynamics of initial annual values of cyclonic (a) and seismic (b) energy, not shifted relative to each other. The energy are calculated from tropical cyclones and earthquakes ( $M \geq 7$ ) that occurred in 1970–2015, in the cyclonic zone of the northwestern part of the Pacific Ocean. Smoothing – sliding, a window of 10 consecutive values

тропических циклонов на сейсмичность отдельных районов северо-западной части Тихого океана. В результате установлено, что тропические циклоны не оказывают значимого эффекта на сейсмичность Камчатки, Японии и Филиппин в краткосрочном аспекте — в течение нескольких недель. Эти результаты и характер динамики циклонической и сейсмической энергии, представленной на рис. 1, свидетельствуют, что краткосрочного влияния тропических циклонов на сейсмичность не наблюдается.

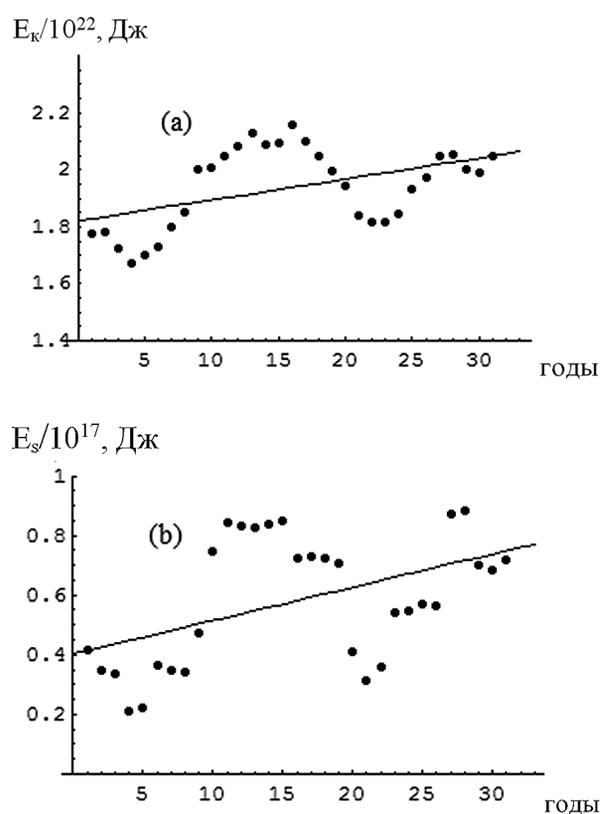


Рис. 2. Динамика сглаженных годовых значений циклонической (а) и сейсмической (б) энергий. Здесь ряд годовых значений  $E_s$  запаздывает относительно ряда  $E_k$  на 6 лет. Коэффициент корреляции между рядами годовых значений  $E_k$  и  $E_s$  равен 0.91

Figure 2. Dynamics of smoothed annual values of cyclonic (a) and seismic (b) energy. Here, a number of annual values of  $E_s$  are 6 years late relative to a number of  $E_k$ . The correlation coefficient between the series of annual values  $E_k$  and  $E_s$  is 0.91

На рисунке 2 для этого же случая ( $M \geq 7$ , 1970–2015 гг.) показана динамика, когда хронологический ряд годовых значений сейсмической энергии запаздывает относительно хронологического ряда годовых значений циклонической энергии на шесть лет. Здесь даже визуально просматривается положительная корреляция между рассматриваемыми рядами энергии двух физических сред.

Принимая во внимание особенности используемых исходных циклонических и сейсмических параметров, уровень их точности и особенности расчетов, можно считать, что уровень корреляции (0.91) достаточно представительный.

## Заключение

Изложенные результаты исследования рассматриваются как органическое продолжение ранее полученных автором результатов по этому направлению. Они совместно позволяют предполагать, что тропические циклоны, по крайней мере в циклонической зоне северо-западной части Тихого океана, могут рассматриваться в качестве вероятного фактора, влияющего на сейсмический режим этого района.

Представленные результаты совместно с ранее полученными показателями и выводами о вероятном влиянии тропических циклонов на сейсмичность зоны действия тропических циклонов — оригинальны. Эти результаты могут послужить поводом для развития экспериментальных и теоретических исследований по этому направлению.

## Список источников [References]

1. Винник Л. П. Происхождение микросейсмических продольных волн // *Физика Земли*. 1971. № 10. С. 17–30 [Vinnik L. P. Origin of microseismic longitudinal waves // *Earth Physics*. 1971;(10):17–30. (In Russ.)]
2. Островский А. А., Рыкунов Л. Н. Экспериментальное изучение донного сейсмического шума в океане при прохождении циклона // *Океанология*. 1982. Т. 22. № 6. С. 975–979 [Ostrovsky A. A., Rykunov L. N. Experimental study of bottom seismic noise in the ocean during the passage of a cyclone // *Oceanology*. 1982;22(6):975–979. (In Russ.)]
3. Табулевич В. Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний: штормовые микросейсмические колебания и комплекс явлений, возникающих одновременно с ними в атмо-гидросфере / В. Н. Табулевич; отв. ред. О. В. Павлов; АН СССР, Сибирское отделение, Институт земной коры. — Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1986. 151 с. [Tabulevich V. N. Comprehensive studies of microseismic oscillations: storm microseismic oscillations and a complex of phenomena that occur simultaneously with them in the atmo-hydrosphere / V. N. Tabulevich; ed. O. V. Pavlov; USSR Academy of Sciences, Siberian Department, Institute of the Earth's Crust. — Novosibirsk: Nayka, Siberian branch, 1986. 151 p. (In Russ.)]
4. Bowen S. P., Richard J. C., Mancini J. D., Fessatidis V., Crooker B. Microseism and infrasound generation by cyclones. *J Acoust Soc Am*. 2003 May;113(5):2562–73. doi: 10.1121/1.1567277.
5. Hasselman K. A. A statistical analysis of the generation of microseisms // *Reviews of Geophysics* 1 (1963): 177–210.
6. Spahr C. Webb; The equilibrium oceanic microseism spectrum. *J. Acoust. Soc. Am*. 1 October 1992;92(4):2141–2158. <https://doi.org/10.1121/1.405226>
7. Голицын Г. С. Статистика и энергетика тропических циклонов // *Докл. РАН*, 354:4 (1997), 535–538 [Golitsyn G. S. Statistics and Energy of Tropical Cyclones // *Reports of RAS*, 354:4 (1997), 535–538. (In Russ.)]
8. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: «Наука». 1983. 415 с. [Zharkov V. N. The inner structure of the Earth and planets. М.: «Nayka». 1983. 415 p. (In Russ.)]
9. Тараканов Г. Г. Тропическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1980. 175 с. [Tarakanov G. G. Tropical meteorology. L.: Hydrometeoizdat. 1980. 175 p. (In Russ.)]
10. Хаин Ф. П., Сутырин Г. Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном. Л.: Гидрометеиздат. 1983. 272 с. [Hain F. P., Sutyurin G. G. Tropical cyclones and their interactions with the ocean. L.: Hydrometeoizdat. 1983. 272 p. (In Russ.)]
11. Ингель Л. Х., Ярошевич М. И., Петрова Л. И. О механизме воздействия тропических циклонов на земную кору // *Доклады Академии Наук*. 2009. Т. 425. № 5. С. 674–677 [Ingel L. Kh., Yaroshevich M. I., Petrova L. I. On the mechanism of influence of tropical cyclones on the earth's crust // *Reports of the Academy of Sciences*. 2009;425(5):674–677. (In Russ.)]
12. Садовский М. А., Кедров О. К., Пасечник И. П. К вопросу об энергетической классификации землетрясений // *Физика Земли*. 1986. № 2. С. 3–10 [Sadovsky M. A., Kedrov O. K., Pasechnik I. P. On the issue of earthquake energy classification // *Earth Physics*. 1986;(2):3–10. (In Russ.)]
13. Ярошевич М. И. Тропические циклоны, как возможный фактор, влияющий на сейсмическую активность циклонической зоны северо-западной части Тихого океана // *Физика Земли*. 2011. № 7. С. 80–85 [Yaroshevich M. I. Tropical cyclones, as a possible factor affecting the seismic activity of the cyclonic zone of the northwestern Pacific Ocean // *Earth Physics*. 2011;(7):80–85. (In Russ.)]
14. Ярошевич М. И. Динамика сезонных значений суммарных интенсивностей тропических циклонов // *Доклады Академии Наук*. 2007. Т. 413. № 4. С. 549–552 [Yaroshevich M. I. Dynamics of seasonal values of total intensities of tropical cyclones // *Reports of the Academy of Sciences*. 2007;413(4):549–552. (In Russ.)]

15. Ярошевич М. И. Элементы краткосрочного оценочного прогноза циклонической активности // Проблемы анализа риска. 2009. Т. 6. № 1. С. 22–31 [Yaroshevich M. I. Elements of short-term forecast of cyclonic activity // Issues of Risk Analysis. 2009;6(1):22–31. (In Russ.)]
16. Соболев Г. А., Закржевская Н. А., Соболев Д. Г. К вопросу о влиянии циклонов на сейсмичность // Вулканология и сейсмология. 2012. № 2. С. 27–38 [Sobolev G. A., Zakrzhevskaya N. A., Sobolev D. G. The effects of cyclones on seismicity // Vulkanologiya i Seismologiya. 2012;(2):27–38. (In Russ.)]

## Сведения об авторе

**Ярошевич Михаил Иосифович:** кандидат технических наук

Количество публикаций: более 140

Область научных интересов: исследование тропических циклонов

*Контактная информация:*

myarosh32@gmail.com

---

Статья поступила в редакцию: 18.08.2023

Одобрена после рецензирования: 19.09.2023

Принята к публикации: 12.10.2023

Дата публикации: 26.04.2024

*The article was submitted: 18.08.2023*

*Approved after reviewing: 19.09.2023*

*Accepted for publication: 12.10.2023*

*Date of publication: 26.04.2024*

УДК 001.5: 004.896  
Научная специальность: 5.2.6

# Экспертная система технико-экономической оценки целесообразности применения технологии цифровых двойников на различных этапах жизненного цикла аварийно-спасательной техники

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

## 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

## Свиридок Е.В.,

Российская академия  
ракетных и артиллерийских  
наук,  
107564, Россия, г. Москва,  
1-я Мясниковская ул., д. 3,  
стр. 3

## Аннотация

В статье рассмотрен методический подход к решению задачи технико-экономического обоснования целесообразности применения технологии цифровых двойников на различных этапах жизненного цикла аварийно-спасательной техники, основанный на методе анализа иерархий, позволяющий получить ситуационную уникальную оценку, основывающуюся на конкретных характеристиках аварийно-спасательной техники, параметрах технологического и производственного процесса. Кроме экспертного характера, такая оценка характеризуется еще и значительной неопределенностью, не имеющей статистического (вероятностного) характера (что впрочем, свойственно для многих явлений экономики), имеющих ярко выраженную качественную природу.

Для выбора способов учета этой неопределенности необходимо отметить, что с учетом экспертного и неопределенного характера технико-экономической оценки целесообразности применения технологии цифровых двойников наиболее пригодным являются различные экспертные системы знаний, основанные на теории нечетких множеств.

**Ключевые слова:** технологии цифровых двойников; метод анализа иерархий; аварийно-спасательная техника; теория нечетких множеств.

**Для цитирования:** Дурнев Р.А., Жданенко И.В., Свиридок Е.В. Экспертная система технико-экономической оценки целесообразности применения технологии цифровых двойников на различных этапах жизненного цикла аварийно-спасательной техники // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 2. С. 42–53.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Expert System of Technical and Economic Assessment the Feasibility of Using Digital Twins Technology at Various Stages of the Life Cycle Emergency Rescue Equipment

**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

**Ekaterina V. Sviridok,**

Russian Academy of Missile and Artillery Sciences,  
1-ya Myasnikovskaya str., 3/3,  
Moscow, 107564, Russia

**Abstract**

The article discusses a methodological approach to solving the problem of technical and economic justification of the feasibility of using digital twin technology at various stages of the life cycle of emergency rescue equipment, based on the method of hierarchy analysis, which allows to obtain a unique situational assessment based on specific characteristics of emergency rescue equipment, technological and production process parameters. In addition to the expert character, such an assessment is also characterized by significant uncertainty, which does not have a statistical (probabilistic) character (which, however, is typical for many economic phenomena), which have a pronounced qualitative nature. To choose ways to account for these uncertainties, it should be noted that, taking into account the expert and uncertain nature of the technical and economic assessment of the feasibility of using digital twins technology, various expert knowledge systems based on.

**Keywords:** digital twin technologies; hierarchy analysis method; emergency rescue equipment; fuzzy set theory.

**For citation:** Durnev R.A., Zhdanenko I.V., Sviridok E.V. Expert system of technical and economic assessment the feasibility of using digital twins technology at various stages of the life cycle emergency rescue equipment // *Issues of Risk Analysis*. 2024;21(2):42–53. (In Russ.).

**The authors declare no conflict of interest.**

**Содержание**

Введение

1. Этапы нечеткого вывода

2. Алгоритмы нечеткого вывода

Заключение

Список источников

## Введение

Очевидно, методический подход к решению задачи технико-экономического обоснования целесообразности применения технологии цифровых двойников (ТЦД) на различных этапах жизненного цикла аварийно-спасательной техники (АСТ), основанный на методе анализа иерархий (МАИ), позволяет получить ситуационную уникальную оценку, основывающуюся на конкретных характеристиках АСТ, параметрах технологического и производственного процесса [1]. В случае изменения этих факторов такую оценку, в том числе и попарное сравнение вариантов, параметров и показателей в соответствии с [1], нужно проводить заново.

В целях исключения повторного трудоемкого процесса попарных сравнений путем использования знаний высококлассных, а значит, и труднодоступных экспертов, а также придания методическому подходу обобщенного характера, предполагающего его многократное использование при любых изменениях параметров, показателей и т.п., требуется разработка научно-методического аппарата, позволяющего в значительной степени автоматизировать этот процесс, т.е. минимизировать влияние человеческого фактора.

## 1. Этапы нечеткого вывода

Для такой относительно молодой и бурно развивающейся предметной области, как «цифровые объекты и процессы» вряд ли в ближайшее время будут получены обоснованные технико-экономические нормативы. Поэтому использования мнений экспертов в принципе не удастся избежать. Но эти оценочные мнения возможно получить единожды на достаточно длительный период и потом их использовать при решении рассматриваемой задачи.

Кроме этого, еще необходимо отметить и ярко выраженный, неопределенный характер такой оценки, не имеющей статистической (вероятностной) природы (что впрочем, присуще для многих явлений экономики).

Возможные виды неопределенности, влияющие на рассматриваемые процессы автоматизации, показаны на рис. 1 [2].

Такая составляющая неопределенности, как неизвестность, связана с отсутствием исходных данных на начальном этапе решения, например, до получения конкретных характеристик опытного образца изделия.

Недостоверность определяется тем, что собрана не вся возможная или необходимая информация, а



Рис. 1. Виды неопределенности, подлежащие учету при автоматизации

Figure 1. Types of uncertainty to be considered during automation

есть только приближенные описания элементов или ряд элементов задачи описан по аналогии или опыту.

Неоднозначность характеризуется тем, что вся возможная информация собрана, но полностью определенное описание не получено или не может быть получено. При этом такая ее составляющая, как физическая неопределенность, связана с наличием в окружающей среде нескольких возможностей, которые случайным образом становятся действительностью (стохастические факторы) или неточностью измерений (погрешностью), выполняемых физическими приборами.

Лингвистическая неопределенность основана на необходимости оперирования конечным числом слов и структур фраз (полученных путем опроса мнений специалистов в различных областях) для описания за конечное время бесконечно сложного мира.

Омонимия связана с наличием одинаково пишущихся и звучащих слов с разной семантикой (коса — песчаная, инструмент для покоса, вид прически; автомат — вид автоматического устройства в системе управления производством или обиходное обозначение автоматического оружия).

Нечеткость определяется тем, что качественным значениям слов нередко придают различное количественное содержание. Например, незначительное повышение производительности труда — это 5, 10 или 15%?

Прагматическая неопределенность хорошо знакома тем, кто пытался дать формулировку какому-либо новому понятию, т.е. определенно описать его с помощью уже известных, но также не вполне «определенных» терминов (например, понятий «знание», «материя» и др.).

И, наконец, семантическая неопределенность значений фраз связана с богатством любого языка, возможностью фигурально выражаться, приводить метафоры, неточные фразы для более точного описания действительности, выражать свои эмоции (различные элементы профессионализмов, жаргонизмов, еще не введенных в широкий научный оборот понятий).

Для выбора способов учета этих неопределенностей необходимо отметить, что с учетом экспертного и неопределенного характера технико-экономической оценки целесообразности применения ТЦД наиболее пригодными являются различные экспертные системы знаний, основанные на теории нечетких множеств

(ТНМ). Сама эта теория является обобщением классической теории множеств (положенной в основу всей современной математики) на случай различного рода физических, лингвистических и других неопределенностей [3].

В общем виде нечетким множеством  $A$ , определенным на области  $X$ , является множество пар:

$$A = \{(\mu_A(x), x)\}, \forall x \in X, \quad (1)$$

где для каждого элемента  $x \in X$  степень  $\mu_A$  его принадлежности множеству  $A$  задается с помощью функции принадлежности  $\mu_A(x)$ , равной:

$$\mu_A(x) \in [0, 1] \text{ или } \mu_A: X \rightarrow [0, 1]. \quad (2)$$

При этом значения функций принадлежности  $\mu_A$ , соответствующие какому-то числу от 0 до 1, характеризуют степень экспертной уверенности в том, что элемент  $x$  принадлежит множеству  $A$ .

Нечеткая переменная определяется как кортеж —  $\langle \alpha, X, A \rangle$ , где  $\alpha$  — это название нечеткой переменной. Лингвистическая переменная также определяется как кортеж [2] —  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , где:  $\beta$  — название лингвистической переменной,  $T$  — множество значений (термов), каждое из которых представляет собой наименование нечеткой переменной,  $G$  — синтаксические процедуры, позволяющие генерировать из множества  $T$  новые, осмысленные в рассматриваемом контексте значения для данной лингвистической переменной (например, генерировать значение «очень высокая скорость» от значения «высокая скорость»).

$M$  — семантическая процедура, которая позволяет поставить в соответствие каждому новому значению лингвистической переменной, получаемому с помощью процедуры  $G$ , осмысленное содержание посредством формирования соответствующего нечеткого множества. Например, при наличии нескольких условий, связанных логическим оператором «И» (пересечение ( $\cap$ ), логическое произведение нечетких множеств), типа: **(условие 1) И (условие 2)**, в рамках процедуры  $M$  используется оператор произведения (PROD) [4]:

$$\mu_{Y_1 \cap Y_2}(x) = \mu_{Y_1}(x) \cdot \mu_{Y_2}(x), \quad (3)$$

где:

$\mu_{Y_1}(x)$  — функции принадлежности нечеткого множества первого условия;

$\mu_{y_2}(x)$  — функции принадлежности нечеткого множества второго условия.

При наличии нескольких условий, связанных логическим оператором «ИЛИ» (объединение (U), логическая сумма нечетких множеств), типа: (условие 1) ИЛИ (условие 2), используется оператор максимума (MAX):

$$\mu_{y_1 \cup y_2}(x) = \max(\mu_{y_1}(x), \mu_{y_2}(x)). \quad (4)$$

Говоря о применении ТНМ, в том числе ее составной части, применяемой в экспертных системах нечеткой логики, чаще всего имеют в виду системы нечеткого вывода. Эти системы предназначены для преобразования значений входных переменных процесса оценки в выходные переменные на основе использования нечетких правил продукций. Для этого системы нечеткого вывода должны содержать базу правил нечетких продукций и реализовывать нечеткий вывод заключений на основе посылок или условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний.

Основными этапами нечеткого вывода являются (рис. 2):

- формирование базы правил систем нечеткого вывода;



Рис. 2. Основные этапы нечеткого вывода

Figure 2. Main steps of fuzzy inference

- фаззификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций;
- активизация или композиция подзаключений в нечетких правилах продукций;
- аккумуляция заключений нечетких правил продукций.

База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических знаний экспертов в той или иной проблемной области. В системах нечеткого вывода используются правила нечетких продукций, в которых условия и заключения сформулированы в терминах нечетких лингвистических высказываний рассмотренных выше видов. Совокупность таких правил будем далее называть базами правил нечетких продукций.

База правил нечетких продукций представляет собой конечное множество правил нечетких продукций, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных. Наиболее часто база правил представляется в форме структурированного текста:

$$\begin{aligned}
 & \text{ПРАВИЛО}_1: \\
 & \text{ЕСЛИ "Условие}_1\text{" ТО "Заключение}_1\text{"}(F_1) \\
 & \text{ПРАВИЛО}_2: \\
 & \text{ЕСЛИ "Условие}_2\text{" ТО "Заключение}_2\text{"}(F_2) \quad (5) \\
 & \text{ПРАВИЛО}_n: \\
 & \text{ЕСЛИ "Условие}_n\text{" ТО "Заключение}_n\text{"}(F_n).
 \end{aligned}$$

Здесь через (5–1) обозначены коэффициенты определенности или весовые коэффициенты соответствующих правил. Эти коэффициенты могут принимать значения из интервала [0,1]. В случае если эти весовые коэффициенты отсутствуют, удобно принять, что их значения равны единице.

Согласованность правил относительно используемых лингвистических переменных означает, что в качестве условий и заключений правил могут использоваться только нечеткие лингвистические высказывания, при этом в каждом из нечетких высказываний должны быть определены функции принадлежности значений терм-множества для каждой из лингвистических переменных.

Говоря о входных и выходных лингвистических переменных, следует отметить, что в системах

нечеткого вывода лингвистические переменные, которые используются в нечетких высказываниях подусловий правил нечетких продукций, часто называют входными лингвистическими переменными, а переменные, которые используются в нечетких высказываниях подзаклучений правил нечетких продукций, часто называют выходными лингвистическими переменными.

В контексте нечеткой логики под фаззификацией понимается не только отдельный этап выполнения нечеткого вывода, но и собственно процесс или процедура нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе обычных (не нечетких) исходных данных. Фаззификацию еще называют введением нечеткости.

Целью этапа фаззификации является установление соответствия между конкретным (обычно — численным) значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей термина входной лингвистической переменной. После завершения этого этапа для всех входных переменных должны быть определены конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в подусловиях базы правил системы нечеткого вывода.

Агрегирование представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода.

Активизация в системах нечеткого вывода представляет собой процедуру или процесс нахождения степени истинности каждого из подзаклучений правил нечетких продукций.

Аккумуляция в системах нечеткого вывода представляет собой процедуру или процесс нахождения функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных.

Дефаззификация в системах нечеткого вывода представляет собой процедуру или процесс нахождения обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических переменных. Цель дефаззификации заключается в том, чтобы, используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, получить обычное количественное значение каждой из выходных переменных. Поэтому дефаззификацию называют также приведением к четкости. Для этого могут

быть использованы различные формулы, например центра тяжести:

$$y = \frac{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} \mu(x) dx}, \quad (6)$$

где:

$y$  — результат дефаззификации;

$x$  — переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной  $\omega$ ;

$\mu(x)$  — функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной  $\omega$  после этапа аккумуляции;

Min и Max — левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества рассматриваемой выходной переменной  $\omega$ .

## 2. Алгоритмы нечеткого вывода

Рассмотренные выше этапы нечеткого вывода могут быть реализованы неоднозначным образом, поскольку включают в себя отдельные параметры, которые должны быть фиксированы или специфицированы. Тем самым выбор конкретных вариантов параметров каждого из этапов определяет некоторый алгоритм, который в полном объеме реализует нечеткий вывод в системах правил нечетких продукций. К настоящему времени предложено несколько алгоритмов нечеткого вывода.

Алгоритм Мамдани является одним из первых, который нашел применение в системах нечеткого вывода. Формально алгоритм Мамдани включает нижеуказанные этапы:

- формирование базы правил систем нечеткого вывода. Особенности формирования базы правил совпадают с рассмотренными выше процессами при описании этого этапа;
- фаззификация входных переменных. Особенности фаззификации совпадают с рассмотренными выше процессами при описании данного этапа;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукций используются парные нечеткие логические операции. Те правила, степень истинности которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов;
- активизация подзаклучений в нечетких правилах продукций. Для сокращения времени вывода

учитываются только активные правила нечетких продукций;

- аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Осуществляется для объединения нечетких множеств, соответствующих термам подзаключений, относящихся к одним и тем же выходным лингвистическим переменным;

- дефаззификация выходных переменных. Традиционно используется формула центра тяжести.

Алгоритм Сугено (Sugeno) может быть определен в соответствии с нижеприведенными этапами:

- формирование базы правил систем нечеткого вывода. В базе правил используются только правила нечетких продукций в форме:

ПРАВИЛО:

$$\text{ЕСЛИ } \beta_1 \text{ есть } \alpha \text{ И } \beta_2 \text{ есть } \alpha \text{ ТО } w = \varepsilon_1 \cdot a_1 + \varepsilon_2 \cdot a_2. \quad (7)$$

Здесь  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  — некоторые весовые коэффициенты. При этом значение выходной переменной  $w$  в заключении определяется как некоторое действительное число;

- фаззификация входных переменных. Особенности фаззификации совпадают с рассмотренными выше процессами при описании этого этапа;

- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Для нахождения степени истинности условий всех правил нечетких продукций, как правило, используется логическая операция min-конъюнкция. Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов;

- активизация подзаключений в нечетких правилах продукций. Для этого находят значения степеней истинности всех заключений правил нечетких продукций и осуществляется расчет обычных (не нечетких) значений выходных переменных каждого правила;

- аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Фактически отсутствует, поскольку расчеты осуществляются с обычными действительными числами;

- дефаззификация выходных переменных. Используется модифицированный вариант по формуле центра тяжести.

С учетом вышесказанного, а также основных параметров и показателей, определенных ранее, экспертная система технико-экономической оценки

целесообразности применения ТЦД на различных этапах жизненного цикла изделий, в том числе АСТ, будет двухстадийная. На первой стадии входными лингвистическими переменными будут:

а) для выходной переменной — «снижение себестоимости АСТ»:

- сокращение издержек по оплате труда;
- сокращение затрат на подготовку персонала;
- сокращение объемов различных мероприятий, в т.ч. испытаний;
- сокращение времени подготовки производства;
- сокращение простоев оборудования;
- сокращение ремонтных расходов;
- сокращение расходов на хранение и другие мероприятия;

б) для выходной переменной — «улучшение качества АСТ»:

- сокращение количества брака;
- снижение риска ошибок персонала;
- повышение уровня автоматизации;
- повышение компетентности персонала;
- улучшение качества испытаний;
- улучшение взаимодействия между структурными подразделениями;

в) для выходной переменной — «увеличение объема (интенсивности) производства АСТ»:

- увеличение производительности труда;
- сокращение времени выпуска изделия;
- расширение рынка реализации;
- повышение безопасности производства;
- сокращение времени вывода на рынок.

На второй стадии входными лингвистическими переменными для единственной выходной переменной «Обобщенный показатель технико-экономической эффективности жизненного цикла АСТ» будут:

- снижение себестоимости АСТ;
- улучшение качества АСТ;
- увеличение объема (интенсивности) производства АСТ.

Функции принадлежности для входных и выходных переменных можно определять исходя из статистики (при наличии), а также экспертным путем. Область определения таких функций может принадлежать натуральным шкалам, отражающим специфику рассматриваемых показателей и параметров, или назначаться в относительных единицах (в долях от 1 или в %). Так, например, сокращение затрат на

подготовку персонала может измеряться в часах или рублях, а также в долях от полных временных и финансовых затрат на указанное мероприятие. Очевидно, что на первоначальном этапе для выяснения характера зависимости показателей от параметров, обобщенного показателя от частных показателей могут приниматься относительные единицы шкалирования оси абсцисс.

Форма самих функций принадлежности может быть представлена с незначительной потерей точности в «линейно-кусочном» образе — треугольном или трапециoidalном.

Импlications для входных и выходных функций принадлежности могут задаваться в следующем виде, например:

**ЕСЛИ** снижение себестоимости АСТ *низкое* и улучшение качества АСТ *низкое* и увеличение объема (интенсивности) производства АСТ *низкое*, **ТО** обобщенный показатель технико-экономической эффективности жизненного цикла АСТ *низкий*;

**ЕСЛИ** снижение себестоимости АСТ *среднее* и улучшение качества АСТ *среднее* и увеличение объема (интенсивности) производства АСТ *среднее*, **ТО** обобщенный показатель технико-экономической эффективности жизненного цикла АСТ *средний*;

**ЕСЛИ** снижение себестоимости АСТ *высокое* и улучшение качества АСТ *высокое* и увеличение объема (интенсивности) производства АСТ *высокое*, **ТО** обобщенный показатель технико-экономической эффективности жизненного цикла АСТ *высокий*.

Пример нечеткого вывода для оценки зависимости обобщенного показателя технико-экономической эффективности жизненного цикла АСТ от снижения себестоимости, улучшения качества и увеличения объема (интенсивности) производства АСТ, выполненный с использованием приложения Fuzzy Logic Designer в программном продукте MATLAB R2022a, показан на рис. 4 (вторая стадия). Буквами обозначены виды окон:

- а) формирования системы нечеткого вывода;
- б) функции принадлежности входной нечеткой переменной (улучшение качества АСТ);
- в) функции принадлежности выходной нечеткой переменной (обобщенный показатель технико-экономической эффективности жизненного цикла АСТ);
- г) импликаций для входных и выходных функций принадлежности;

д) результатов нечеткого вывода применительно к правилам;

е) поверхности, отражающей зависимость «обобщенный показатель технико-экономической эффективности жизненного цикла АСТ» от показателей «снижение себестоимости АСТ» и «увеличение объема (интенсивности) производства АСТ».

Для первой стадии система нечеткого вывода будет несколько сложнее в связи с большим количеством входных переменных. Но методические основы остаются прежними. В таблице приведены результаты оценки значений выходной переменной «снижение себестоимости АСТ» от значений входных переменных: «сокращение издержек по оплате труда», «сокращение затрат на подготовку персонала», «сокращение объемов различных мероприятий, в т.ч. испытаний» и других. На рисунке 4 скриншоты окон правил перехода от входных к выходной переменной (а) и одной из реализаций сочетаний значений входных и выходных нечетких переменных (б) (соответствует последнему столбцу табл.).

Для рассматриваемого двухстадийного этапа нечеткого логического вывода в рамках предлагаемой экспертной системы позволит получить:

- значения промежуточных нечетких переменных (ранее названных показателями) в зависимости от различных сочетаний значений соответствующих нечетких входных переменных (ранее названных параметрами);
- значения обобщенного показателя ТЭО в зависимости от промежуточных нечетких переменных (показателей) определяемых, в свою очередь, различными сочетаниями значений соответствующих нечетких входных переменных (параметров).

Предложенная экспертная система на начальном этапе своего развития может пополняться данными, полученными от специалистов различных предприятий, которые будут уточнять функции принадлежности (для различных входных и выходных нечетких переменных) и правила (импликации), оперирующими этими переменными. В дальнейшем, по мере накопления опыта, функции принадлежности могут определяться с использованием статистических данных, характеризующих различные эффекты от внедрения технологий специализированных цифровых двойников.

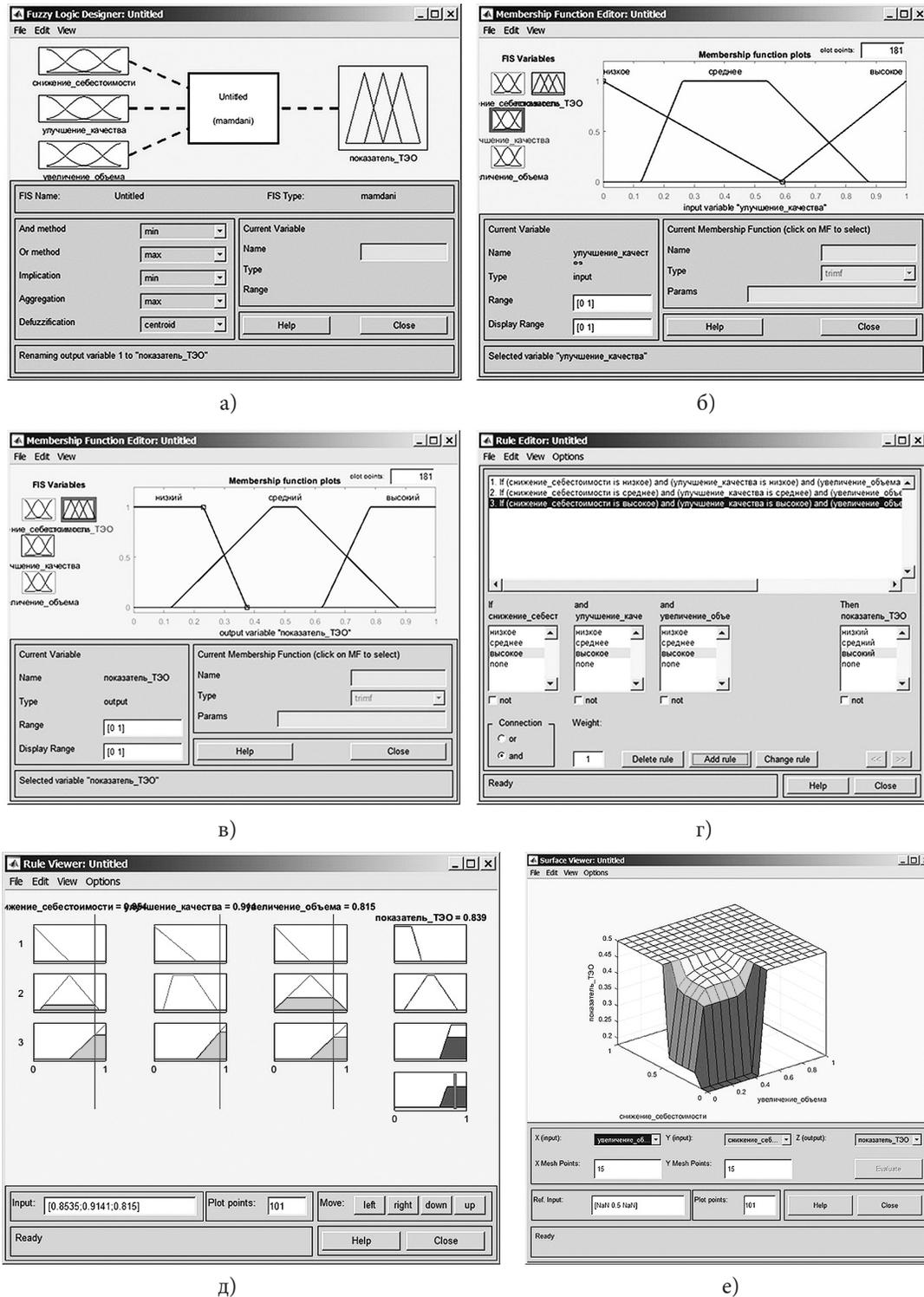


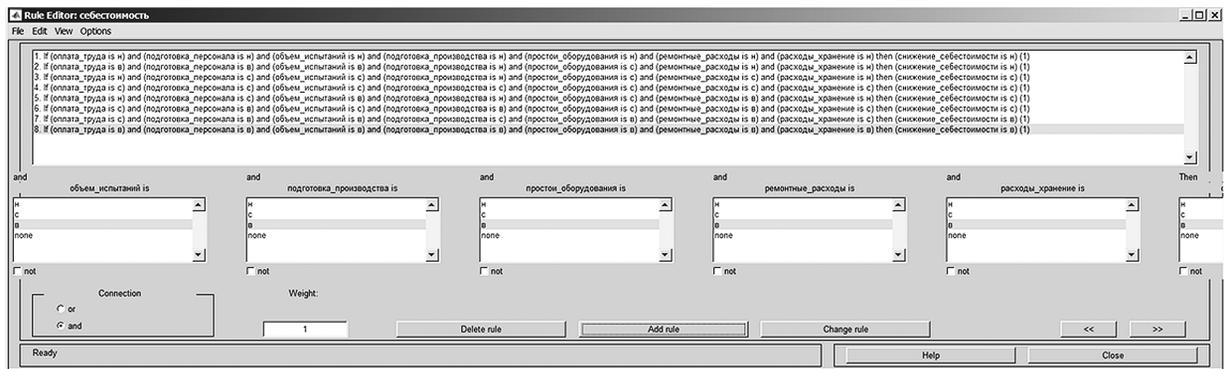
Рис. 3. Графические элементы оценки зависимости обобщенного показателя ТЭО от снижения себестоимости, улучшения качества и увеличения объема (интенсивности) производства АСТ

Figure 3. Graphical elements of assessment of dependence of generalized TEO indicator on cost reduction, quality improvement and increase of AST production volume (intensity)

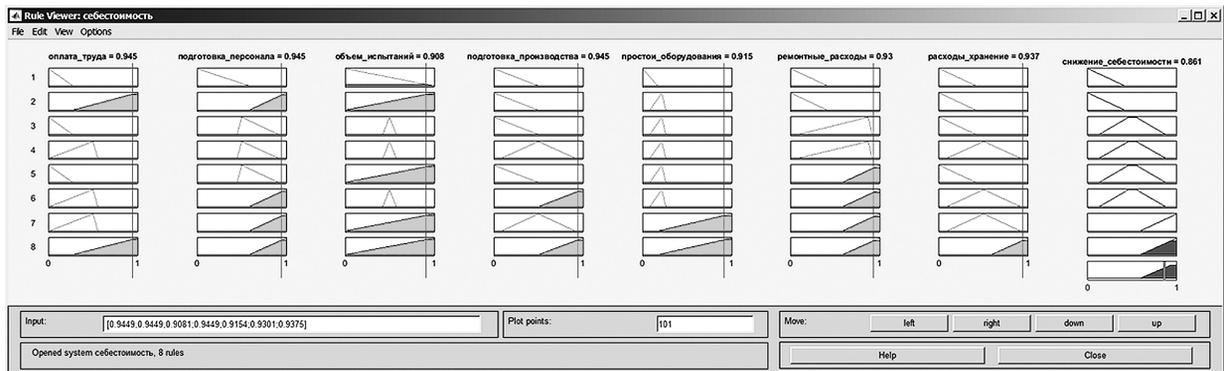
**Таблица. Результаты оценки значений выходной переменной «снижение себестоимости АСТ» от значений входных переменных**

*Table. Results of evaluation of output variable values «cost reduction of emergency response equipment» from input variable values*

Наименования нечетких переменных	Значения нечетких переменных		
	для 1-го сочетания	для 2-го сочетания	для n-го сочетания
сокращение издержек по оплате труда	0,194	0,540	0,945
Сокращение затрат на подготовку персонала	0,084	0,504	0,945
Сокращение объемов различных мероприятий, в т.ч. испытаний	0,136	0,563	0,908
Сокращение времени подготовки производства	0,136	0,518	0,945
Сокращение простоев оборудования	0,058	0,592	0,915
Сокращение ремонтных расходов	0,066	0,592	0,930
Сокращение расходов на хранение и другие мероприятия	0,075	0,533	0,937
Снижение себестоимости АСТ	0,177	0,500	0,861



а)



б)

**Рис. 4. Скриншоты окон правил перехода от входных к выходной переменной (а) и одной из реализаций сочетаний значений входных и выходных нечетких переменных (б)**

*Figure 4. Screenshots of the windows of the rules for switching from input to output variable (a) and one of the implementations of combinations of values of input and output fuzzy variables (b)*

## Заключение

Все выше сказанное дает нам возможность сделать следующие выводы:

1. В целях снижения трудоемкости процесса оценки влияния ТЦД, а также придания методическому подходу к этой оценке обобщенного характера, предполагающего его многократное использование при любых изменениях параметров, показателей и т.п., требуется разработка научно-методического аппарата, позволяющего в значительной степени автоматизировать этот процесс, т.е. минимизировать влияние человеческого фактора.

2. С учетом экспертного и неопределенного характера технико-экономической оценки целесообразности применения ТЦД наиболее пригодными для решения этой задачи являются различные экспертные системы.

3. Экспертная система технико-экономической оценки целесообразности применения ТЦД на различных этапах жизненного цикла изделий, в том числе АСТ, будет двухстадийная. На первой стадии значения показателей будут определяться в зависимости от различных сочетаний значений соответствующих параметров. На второй стадии значения обобщенного показателя ТЭО будут находиться в зависимости от значений показателей.

4. Предложенная экспертная система на начальном этапе своего развития может пополняться данными, полученными от специалистов различных предприятий, которые будут уточнять функции принадлежности (для различных входных и выходных нечетких переменных) и правила (импликации), оперирующими этими переменными. В дальнейшем, по мере накопления опыта, функции принадлежности могут определяться с использованием статистических данных, характеризующих различные эффекты от внедрения технологии цифровых двойников.

5. Применение экспертных систем позволит повысить обоснованность и снизить трудоемкость технико-экономической оценки целесообразности применения ТЦД на различных этапах жизненного цикла АСТ.

## Список источников [References]

1. Дурнев Р.А., Жданенко И.В., Свиридок Е.В. Техничко-экономическое обоснование целесообразности применения технологии цифровых двойников на различных этапах

жизненного цикла аварийно-спасательной техники // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 1. С. 78–90 [Durnev R. A., Zhdanenko I. V., Sviridok E. V. Feasibility study the feasibility of using digital twins technology at various stages of the life cycle emergency rescue equipment // Issues of Risk Analysis. 2024;21(1):78–90. (In Russ.)]

2. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры исполъз. / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров; Риж. техн. ун-т. Рига: Зинатне, 1990. 184 с. [Borisov A. N., Krumberg O. A., Fedorov I. P. Making decisions based on fuzzy models: Examples of uses / A. N. Borisov, O. A. Krumberg, I. P. Fedorov; Rige. technical un-t. Riga: Zinatne, 1990. 184 p. (In Russ.)]
3. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. [пер. с англ.] М.: Мир. 1976. 165 с. [Zade L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. M.: Mir. 1976. 165 p.]
4. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 736 с. [Leonenkov A. V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH environment. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. 736 p.]
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева; под ред. Ю. В. Тюменцева. 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2013. 798 с. [Piegat A. Fuzzy modeling and control / A. Piegat; transl. from Engl. A. G. Podvesovsky, Yu. V. Tyumentseva; ed. Yu. V. Tyumentseva 2nd ed. M.: BINOM. The laboratory is known. 2013. 798 p.]

## 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

Контактная информация:

Адрес: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3

rdurnev@rambler.ru

**Жданенко Ирина Васильевна:** старший научный сотрудник ФГБУ «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

*Контактная информация:*

Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, дом 7

izhdanenko@yandex.ru

**Свиридок Екатерина Викторовна:** кандидат технических наук, член-корреспондент, заместитель руководителя се-

кретариата Совета главных конструкторов по системе вооружения сухопутной составляющей сил общего назначения ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук»

Количество публикаций: более 49

Область научных интересов: анализ рисков на взрыво- и химически опасных предприятиях, программно-целевое планирование развития военной и специальной техники

*Контактная информация:*

Адрес: 107564, г. Москва, 1-я Мясликовская ул., дом 3, стр. 3

svkate1@rambler.ru

---

Статья поступила в редакцию: 09.02.2024

Одобрена после рецензирования: 20.03.2024

Принята к публикации: 21.03.2024

Дата публикации: 26.04.2024

*The article was submitted: 09.02.2024*

*Approved after reviewing: 20.03.2024*

*Accepted for publication: 21.03.2024*

*Date of publication: 26.04.2024*

УДК 004.413.4:658.5.012.7  
Научная специальность: 1.1.4; 5.2.6

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Методический подход к количественной оценке риска срыва плановых сроков реализации проектов поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний

**Демкин И.В.\*,**  
**Ковалев С.А.,**  
**Митченко А.А.,**  
Газпром ВНИИГАЗ,  
142717, Россия,  
Московская обл.,  
г.о. Ленинский, п. Развилка,  
ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1.

## Аннотация

В статье представлены результаты исследований по обоснованию использования методов и моделей управления рисками проектов для решения задачи количественной оценки риска срыва организациями с различными уровнями технологической и производственной готовности плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовых компаний.

**Ключевые слова:** риск; срыв сроков проекта; инновационное оборудование; нефтегазовые компании; модель оценки риска; идентификация факторов.

**Для цитирования:** Демкин И.В., Ковалев С.А., Митченко А.А. Методический подход к количественной оценке риска срыва плановых сроков реализации проектов поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 2. С. 54–77.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# A Methodological Approach to Quantifying the Risks of Disrupting the Planned Deadlines for the Implementation of Projects for the Supply of New Technological Equipment to the Facilities of Oil and Gas Companies

Igor V. Demkin\*,  
Sergey A. Kovalev,  
Anton A. Mitchenko,  
Gazprom VNIIGAZ,  
Gazovikov str., 15/1, Razvilka,  
Moscow reg., 142717, Russia

## Abstract

The article presents the results of research on the justification of the use of methods and models of project risk management to solve the problem of quantifying the risk of failure by organizations with different levels of technological and production readiness of the planned deadlines for the implementation of projects for the development, manufacture and supply of new technological equipment to production facilities of oil and gas companies.

**Keywords:** risk; project deadlines; innovative equipment; oil and gas companies; risk assessment model; identification of factors.

**For citation:** Demkin I.V., Kovalev S.A., Mitchenko A.A. A methodological approach to quantifying the risks of disrupting the planned deadlines for the implementation of projects for the supply of new technological equipment to the facilities of oil and gas companies // *Issues of Risk Analysis*. 2024;21(2):54-77. (In Russ.).

**The authors declare no conflict of interest.**

## Содержание

Введение

1. Анализ возможности применения математических методов и моделей оценки рисков инвестиционных проектов
2. Алгоритмическая схема количественной оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний
3. Рекомендации по уточнению границ применимости математических методов оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний
4. Пример количественной оценки риска срыва планового срока реализации условного проекта разработки, изготовления и поставки оборудования на объект добычи нефтегазовой компании

Заключение

Список источников

## Введение

Освоение нового технологического оборудования в нефтегазовой сфере требует больших временных и финансовых затрат на его разработку, изготовление, испытание и внедрение на производственных комплексах нефтегазовых компаний. Эта проблема дополнительно осложнилась для российских нефтегазовых компаний из-за мощного санкционного давления со стороны недружественных стран, начиная с 2014 г., выразившегося в практическом запрете на поставки оборудования для разведки, добычи и переработки газа и нефти. Правительство Российской Федерации и нефтегазовые компании были вынуждены взять курс на обеспечение технологической независимости и импортозамещения. Планирование, организация и мониторинг разработки и внедрения большого объема технологических инноваций требует новых современных подходов при совершенствовании бизнес-процессов. Это в полной мере относится и к решению важнейших задач замещения поставок импортного технологического оборудования, применяемого на объектах предприятий нефтегазовой отрасли в процессах добычи углеводородов на морском шельфе. Многие виды технологического оборудования для работы на морском шельфе (например, буровые установки и инструменты для бурения, оборудование для закачивания скважин, внутрискважинное оборудование, манифольды, райзеры, подводная дожимная компрессорная станция (далее — ПДКС) и др.), которые ранее поставлялись зарубежными компаниями или были запланированы к поставке в проектах освоения шельфовых месторождений нефтегазовых компаний, оказались под санкциями со стороны недружественных стран. В настоящее время российскими компаниями ведутся работы по разработке и изготовлению новых видов технологического оборудования для промыслов, в том числе и ПДКС, в целях замещения поставок из недружественных стран. При этом у нефтегазовых компаний возникает риск задержки поставки новых видов технологического оборудования к плановым срокам, предусмотренным проектной документацией на разработку месторождений.

В этих непростых условиях для принятия обоснованных решений (например решений по пересмотру планов освоения морских месторождений) нефтегазовым компаниям необходимо, прежде всего, получить ответы на следующие важные вопросы:

Вопрос 1. Какого уровня производственной и технологической готовности в настоящее время достигли организации (конструкторские бюро, производственные предприятия, проектные институты, объединения) (далее — Организации), выполняющие разработку, изготовление и/или поставку технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании?

Вопрос 2. Как оценить уровень риска срыва планового срока разработки, изготовления и поставки технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании (далее — Риск срыва планового срока)?

В этой статье авторы сосредоточили усилия на получении ответа на вопрос 2.

Авторами статьи было выполнено исследование, направленное на обоснование возможности применения математических моделей, методов и инструментов управления проектами и рисками проектов [1–3], обоснование вида применяемых моделей, значений их параметров, показателей уровня риска для количественной оценки Риска срыва планового срока. На примере конкретных образцов технологического оборудования показана принципиальная возможность проведения количественной оценки Риска срыва планового срока.

Особенностью рассматриваемой задачи, влияющей на выбор моделей и методов оценки Риска срыва планового срока, является различный уровень технологической и производственной готовности тех или иных организаций к изготовлению и поставке технологического оборудования, предусмотренного к применению на производственных объектах нефтегазовой компании.

К числу необходимых условий проведения количественной оценки рисков проектов в соответствии со стандартами в области управления проектами и рисками проектов [1, 3] относятся:

- наличие технических требований (технических заданий) к технологическому оборудованию, которое предполагается разработать в рамках проекта разработки, изготовления и поставки на производственные объекты нефтегазовой компании (далее — Проект);
- наличие календарного-сетевого графика (далее — КСГ) Проекта хотя бы верхнего уровня.

Однако для ряда технологического оборудования, применяемого на объектах предприятий нефтегазовой

отрасли в процессах добычи углеводородов на морском шельфе, уровни технологической готовности Организаций незначительны (например, с первого по четвертый уровень согласно ГОСТ Р [4]). В этом случае КСГ Проекта может оказаться еще неразработанным и, следовательно, в соответствии с [3] количественная оценка Риска срыва плановых сроков не может быть проведена.

Проведенное исследование показало, что в настоящее время в компаниях нефтегазовой отрасли отсутствует методика количественной оценки Риска срыва планового срока, основанная на рекомендациях национальных и международных стандартов и являющаяся универсальной по отношению к Организациям, т.е. позволяющая оценивать Риски срыва планового срока для Организаций практически с любым уровнем технологической и производственной готовности. По нашему мнению, необходимым условием для проведения оценки Риска срыва планового срока является наличие разработанных технических требований на технологическое оборудование, предусмотренное Проектом, а наличие КСГ Проекта является лишь желательным, но не обязательным условием.

## 1. Анализ возможности применения математических методов и моделей оценки рисков инвестиционных проектов

Для количественной оценки рисков инвестиционных проектов могут быть использованы различные методические подходы, в том числе основанные на математическом моделировании [3, 5]:

- корректировочные подходы;
- древовидные (сценарные) подходы;
- подходы, основанные на анализе чувствительности;
- сетевые подходы;
- экспертные методы;
- подходы, основанные на имитационном моделировании;
- подходы, основанные на методе нечетких множеств;
- стоимостные подходы.

Ниже рассмотрены достоинства и недостатки каждого из приведенных подходов. При этом каждый подход в обязательном порядке оценивался с точки зрения возможности дать положительные ответы

на следующие важные для нефтегазовой компании вопросы (далее — Ключевые вопросы оценки рисков):

Сколько времени с доверительной вероятностью 90% потребуется для завершения выполнения всех работ, предусмотренных Проектом?

Какова вероятность невыполнения работ, предусмотренных Проектом, к плановому сроку?

### *Корректировочные подходы к оценке рисков инвестиционных проектов*

Корректировочные подходы предполагают учет риска либо в форме премии за риск в процентной ставке, которая используется для дисконтирования денежных потоков [6, 7], либо в форме корректировок ожидаемых значений денежных потоков инвестиционных проектов.

Рассмотренные корректировочные подходы имеют следующие общие недостатки, затрудняющие их применение для задачи оценки Риска срыва планового срока:

- невозможность вероятностной оценки отклонения денежных потоков, сроков и издержек проекта от плановых или средних величин;
- сложность или даже в большинстве случаев невозможность нахождения функциональной зависимости величины премии за риск от используемых воздействующих на риск мероприятий.

Для оценки Риска срыва планового срока корректировочные подходы не могут быть рекомендованы, так как их гипотетическое применение не может дать положительные ответы на Ключевые вопросы оценки рисков.

### *Древовидные (сценарные) подходы к оценке рисков инвестиционных проектов*

К древовидным (сценарным) подходам к оценке рисков инвестиционных проектов относятся подходы, основанные на построении и анализе сценариев будущего развития проектов, а также подходы, основанные на построении различного рода деревьев (деревьев событий, отказов или решений) [1; 8, с. 74–126; 9].

Основным недостатком древовидных (сценарных) подходов является необходимость проведения в большинстве случаев экспертной оценки вероятностей сценариев развития проектов (условных вероятностей реализации факторов риска в определенный момент в методе построения деревьев). Однако проведение такой экспертной оценки является источником значительной погрешности получаемых результатов ввиду следующих основных соображений:

- как показали опыты Канемана и Тверски [10], эксперты в большинстве случаев склонны к искажению

оценок вероятности редких событий, а также граничных исходов, например, исходов, соответствующих минимальному и максимальному результатам воздействия факторов риска;

- сложность отбора экспертов, обладающих высокой степенью компетентности.

Кроме того, оценка рисков на основе ограниченного числа сценариев будущего развития инвестиционного проекта (метод сценариев) приводит к росту затрат на подготовку исходной для анализа информации, ее последующую обработку. При этом границы сценариев получаются, как правило, размытыми вследствие сложности дифференциации сценариев при одновременном воздействии на них целого ряда факторов риска. В ходе оценивания риска инвестиционных проектов на основе этих подходов оказывается проблематичным учет определенной технологии (порядка) выполнения работ бизнес-процессов этапов инвестиционных проектов (НИОКР, подготовка производства, изготовление опытных образцов и др.), а также возможности параллельного выполнения ряда работ (например работ по изготовлению отдельных комплектующих сложных технических изделий разными предприятиями), выполнения доводочных работ по результатам исследований, испытаний или согласований разрабатываемой документации.

Исходя из отмеченных недостатков при применении данных методов в качестве единственных методов оценки Риска срыва планового срока, возникают значительные сложности при получении ответов на Ключевые вопросы оценки рисков. Поэтому древовидные (сценарные) подходы могут быть рекомендованы к применению лишь в комбинации с иными подходами (сетевыми и экспертными подходами).

#### **Подходы, основанные на анализе чувствительности**

Подходы, основанные на анализе чувствительности [11, 12], предполагают либо оценку предельных запасов устойчивости целевых показателей инвестиционных проектов к воздействию отдельных факторов риска (реже к одновременному воздействию нескольких факторов риска) либо оценку процентных изменений значений целевых показателей при предполагаемых вариациях ограниченного числа исходных факторов риска.

Стоит отметить, что применение анализа чувствительности не представляется возможным без составления математической модели прогнозирования

сроков реализации Проекта в зависимости от значимых факторов. В этой связи подходы, основанные на анализе чувствительности, рекомендуется использовать лишь как дополнения к другим подходам оценки Риска срыва планового срока.

#### **Сетевые подходы**

В основу сетевых подходов [1, 3] заложена методология сетевого моделирования. Менеджменту необходимо представить Проект в виде взаимоувязанного комплекса работ (операций).

При этом имеющиеся сетевые подходы позволяют с определенными допущениями учесть:

- определенную технологию выполнения работ во времени;
- возможность одновременного (параллельного) выполнения ряда работ;
- ограниченность ряда ресурсов, назначаемых на выполнение работ проектов (такой учет возможен для ограниченного числа сетевых подходов);
- влияние ряда факторов риска, результатом воздействия которых могут быть решения: о прекращении проекта; о выполнении доводочных работ например, дополнительных исследований или устранение замечаний по результатам испытаний новой продукции; о дополнительном финансировании проекта и др.

В настоящее время наиболее разработанными являются сетевые подходы, построенные на основе следующих стохастических сетевых моделей [13–18; 19, с. 153–236]:

- подходы, основанные на построении моделей вида *PERT*;
- подходы, основанные на построении моделей вида *GERT*.

Процессы оценки рисков, связанные с реализацией Проекта, в соответствии с ГОСТ Р [3] включают:

- построение иерархической структуры работ Проекта по определенному алгоритму [1];
- идентификацию факторов неопределенности, которые могут в будущем оказать негативное влияние на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта (а также в моделях вида *GERT* на изменение состава реализуемых работ КСГ или на принятие решения о продолжении/завершении реализации проекта);
- планирование ресурсов различных видов (людских, финансовых, временных, материально-технических и др.), необходимых для выполнения работ Проекта;

- разработку КСГ Проекта, учитывающего ресурсы и логико-хронологические взаимосвязи между работами с общепринятым учетом влияния факторов неопределенности на продолжительности выполнения работ КСГ (через наиболее вероятные оценки) либо с учетом умеренно негативного их влияния (через оптимистические оценки продолжительности выполнения работ, как, например, в методе *PERT*);

- оценку продолжительности выполнения работ КСГ с учетом различной интенсивности влияния факторов неопределенности;

- расчеты показателей риска (например, вероятности срыва планового срока реализации Проекта);

- проверку адекватности полученных результатов оценки риска с использованием альтернативных подходов (например, экспертных методов или имитационного моделирования, основанного на методе Монте-Карло).

#### **Ограничения сетевых подходов, основанных на моделях вида *PERT***

Сетевые подходы, основанные на моделях вида *PERT*, имеют следующие недостатки, ограничивающие область их применения (далее — Ограничения *PERT*):

- применение теоремы о нормальном законе распределения суммы продолжительности выполнения работ критического пути [20] правомерно лишь для достаточно большого числа работ, расположенных на нем, например, в [2] сказано, что минимально достаточное число работ в КСГ равно 30 в предположении, что в нем лишь 10% работ лежит на критическом пути;

- для проведения корректных оценок продолжительности выполнения отдельных видов работ КСГ с учетом факторов неопределенности требуются высококвалифицированные эксперты с опытом работы и знаниями в области факторного анализа, мониторинга реализации ранее выполнявшихся проектов-аналогов;

- предположения о единственности критического пути в КСГ Проекта;

- занижение оценок ожидаемой продолжительности выполнения Проекта при большом числе параллельно выполняемых работ;

- все работы КСГ Проекта должны быть связаны отношением предшествования вида «финиш-старт» [2];

- невозможность учета ограниченных ресурсов [2, 21].

Однако, несмотря на вышеотмеченные недостатки, модели, основанные на сетевой модели *PERT*,

рекомендованы ГОСТ Р [3], поскольку позволяют учитывать:

- определенную технологию выполнения работ в соответствии с принятой иерархической структурой работ Проекта;

- возможность одновременного (параллельного) выполнения ряда работ.

Полученные с учетом достоинств и недостатков метода *PERT* показатели риска Проекта нуждаются в подтверждении другими методами оценки этих же рисков. Результаты оценки Риска срыва планового срока выполнения Проекта, полученные методом *PERT*, как показали проведенные исследования, подтверждаются при определенных, сформулированных авторами условиях, результатами оценки этого же риска методом имитационного моделирования. Применение метода *PERT* позволяет положительно ответить на Ключевые вопросы оценки риска, но его применение возможно с ограничениями.

#### **Ограничения сетевых подходов, основанных на моделях вида *GERT***

К основным недостаткам моделей, основанных на применении *GERT*-сетей, ограничивающих область их применения, можно отнести:

- экспертам при определении значений параметров *GERT*-сетей необходимо оценивать вероятности выполнения нетиповых работ, включая доводочные, циклически повторяющиеся работы, что требует их высокой компетенции и знаний в области управления проектами и рисками;

- высокая трудоемкость разработки сложных математических моделей оценки риска проектов разработки, производства и реализации новой продукции и, как следствие, возможность некорректных расчетов с использованием разработанных моделей.

В связи с отмеченными выше недостатками использование моделей, основанных на построении *GERT*-сетей, в настоящее время не рекомендуется к применению в целях оценки Риска срыва планового срока.

#### **Экспертные подходы**

В основе этого метода оценки рисков Проектов лежат интуиция и опыт экспертов (профессионалов в области менеджмента).

Сложности использования экспертных подходов объясняются следующими основными моментами [5]:

- необходимостью привлечения компетентных экспертов;

- необходимостью устранения давления мнения одних экспертов на мнения других в ходе проведения экспертизы с целью получения объективных результатов;
- сложностью оценивания экспертами вероятностей особенно редких событий ввиду их вероятного искажения [10];

- сложностью оценивания одним экспертом показателей риска срыва плановых сроков поставки оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании, поскольку на практике отсутствуют эксперты со знаниями, необходимыми для учета влияния неопределенностей различной природы на сроки проекта поставки, включая разработку оборудования, его изготовление, поставку материально-технических ресурсов, изготовление инструмента, средств оснащения, проведение испытаний и др.

Применение экспертных методов в качестве единственных способов оценки Риска срыва планового срока (без использования иных методов) не позволяет ответить на Ключевые вопросы оценки рисков. В связи с отмеченными недостатками экспертные подходы рекомендуется использовать лишь как дополнение к другим методам оценки Риска срыва планового срока.

#### **Имитационный подход, основанный на методе Монте-Карло**

В основе имитационного подхода лежит допущение о невозможности прямого аналитического вычисления уровня риска ввиду высокой сложности функциональных зависимостей результирующих показателей риска от основных влияющих факторов. В этом случае получение прогнозных оценок риска может быть выполнено на основе оценок требуемых параметров, полученных по результатам проведения достаточного числа имитационных экспериментов.

К недостаткам использования методологии имитационного моделирования (в качестве единственного метода оценки) для целей оценки Риска срыва планового срока можно отнести [5]:

- достаточно высокую трудоемкость вычислительных операций для реализации имитационных экспериментов, что делает необходимым создание/применение программного инструментария, например, на основе MS EXCEL;
- оценка показателей Риска срыва планового срока требует дополнительного научного обоснования достаточного числа проводимых имитационных экспериментов.

Однако становится возможным учет ограничений на ресурсы, требуемых для выполнения работ КСГ. Как отмечается в [2], применение имитационного подхода является эффективным, а в ряде случаев и единственно возможным при решении задач календарного планирования в условиях неопределенности и ограниченности ресурсов.

В связи с отмеченными особенностями имитационный подход, основанный на методе Монте-Карло, рекомендуется использовать как основной метод (наряду с экспертными методами) оценки Риска срыва планового срока в условиях ограничений на ресурсы, требуемые для выполнения работ КСГ. Применение метода Монте-Карло позволяет наиболее полно ответить на Ключевые вопросы оценки рисков.

#### **Нечетко-множественный подход**

Нечетко-множественный подход основан на применении теории нечетких множеств. В основном такой подход применяется при решении таких задач, как оценка эффективности инвестиций в инвестиционные проекты и оценка рисков инвестиционных проектов [12, 22].

Однако у моделей анализа риска, построенных на основе нечеткой логики, есть существенные ограничения, затрудняющие их применение в ходе оценки Риска срыва планового срока:

- как показали результаты проведенного исследования [22, 23], на результат оценки показателей риска оказывает существенное влияние выбираемая в модели форма функции принадлежности исходных факторов риска (треугольная, трапециевидная или др.). Однако к настоящему времени недостаточно исследованы вопросы обоснованного выбора формы нечетких чисел;

- на рейтинги факторов риска оказывает существенное влияние выбираемый метод сравнения нечетких чисел путем их преобразования в четкие действительные числа. Например, в работах [22, 24] показано, что методы Чью-Парка и Чанга приводят в ряде случаев к прямо противоположным результатам. Результаты расчетов по методам Кауфмана-Гупты и Джейна также могут существенно различаться. В этой связи возникает проблема обоснованного сравнения нечетких чисел и ранжирования факторов риска при использовании нечетко-множественной математики.

В связи с отмеченными существенными недостатками нечетко-множественный подход не может быть

рекомендован для оценки Риска срыва планового срока.

#### *Стоимостные подходы*

Оценка риска инвестиционных проектов с использованием стоимостных подходов основана на рыночной стоимости торгуемых на рынке ценных бумаг (например, корпоративных облигаций), денежные потоки которых примерно совпадают с денежными потоками инвестиционных проектов [25, 26]. Зная рыночную стоимость торгуемых ценных бумаг, можно с использованием стоимостных подходов оценить значения показателей риска инвестиционных проектов, например, вероятность прекращения инвестиционного проекта.

Однако ввиду неразвитости рынка ценных бумаг в России, а также в связи с допущениями самих стоимостных подходов, последние не могут быть рекомендованы для оценки Риска срыва планового срока.

Проведенный анализ существующих подходов для целей корректной оценки Риска срыва планового срока позволил сделать следующие выводы:

1. Установлено, что наиболее полный учет особенностей рассматриваемых Проектов (доводочные работы по результатам испытаний продукции, выделение ресурсов на выполнение работ, одновременное выполнение ряда работ, факторы неопределенности, влияющие на продолжительность выполнения работ и др.) в ходе решения задач оценки Риска срыва планового срока возможен при использовании сетевых подходов.

2. Стоимостные и нечетко-множественные подходы не могут быть рекомендованы для оценки Риска срыва планового срока, поскольку предположения и допущения таких подходов не подтверждаются для организаций, функционирующих на территории России.

3. Установлено, что имитационный подход, основанный на методе Монте-Карло, целесообразно использовать в качестве основного метода оценки Риска срыва планового срока.

4. Ввиду отсутствия/недостаточности статистической информации о ранее реализованных факторах неопределенности и высокой степени новизны рассматриваемых Проектов рекомендуется использование в соответствии с ГОСТ Р [3] экспертных подходов к оценке продолжительности выполнения отдельных видов (комплексов) работ Проекта.

## **2. Алгоритмическая схема количественной оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний**

Алгоритмическая схема оценки Риска срыва планового срока состоит из следующих этапов:

1. Подготовка и рассылка анкет в организацию.

2. Обработка анкет, полученных от организации, составление календарно-сетевых графиков, выбор математических методов и моделей оценки уровня Риска.

3. Оценка уровня Риска срыва планового срока. Сопоставление результатов оценки, полученных разными методами (в случае применения более одного метода оценки).

Этапы 1–2 алгоритмической схемы предназначены для подготовки исходных данных для количественной оценки Риска срыва планового срока.

Этапы 1–3 рекомендуется выполнять для каждой организации, участвующей в процессе разработки, изготовления и поставки технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании (далее — Организации). На этапе 3 выполняется непосредственно количественная оценка Риска с использованием выбранных на этапе 2 математических методов.

#### *Подготовка и рассылка анкет в организации*

Функцию подготовки и рассылки анкет в Организации целесообразно закрепить за нефтегазовой компанией. Периодичность анкетирования устанавливается нефтегазовой компанией, но не реже одного раза в год.

В процессе подготовки анкет необходимо установить потребности в видах технологического оборудования, которые потенциально могут быть разработаны/изготовлены/поставлены Организацией, а также технические требования к данному оборудованию. Источниками получения информации являются разделы проектной документации по тем инвестиционным проектам нефтегазовой компании, в которых такое технологическое оборудование предполагается применять. При отсутствии технических требований к технологическому оборудованию необходимо организовать их разработку.

При наличии КСГ Проекта (достаточно уровня не выше второго) в анкету рекомендуется включить:

- результат идентификации типовых факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения отдельных работ/комплексов работ КСГ Проекта (далее — раздел 1);
- оценки продолжительности выполнения работ/комплексов работ КСГ Проекта (наиболее вероятная, оптимистическая и пессимистическая оценки) (далее — раздел 2);
- статус выполнения работ (процент готовности выполнения (далее — раздел 3)).

При отсутствии в Организации КСГ Проекта в анкету рекомендуется включить:

- перечень наименований типовых работ;
- оценки продолжительности выполнения типовых работ (пессимистическая, наиболее вероятная, оптимистическая оценка);
- ранние сроки начала выполнения некоторых видов типовых работ с учетом доступности в Организации всех видов ресурсов (финансовых, трудовых, материальных и др.), необходимых для их выполнения. Наличие такого ограничения на используемые ресурсы, как правило, объясняется задействованием ограниченных ресурсов на выполнение работ иных незавершенных проектов;
- сведения о критичности поставок импортных комплектующих, материалов и прикладного программного обеспечения, необходимых для изготовления технологического оборудования.

В перечень наименований типовых работ рекомендуется включить как минимум следующие работы, выполняемые разработчиками/изготовителями технологического оборудования (далее — Типовые работы уровня 1):

- разработка эскизного проекта;
- разработка технического проекта;
- разработка рабочей конструкторской документации;
- изготовление опытного/головного образца (изделия в сборе);
- предварительные испытания опытного/головного образца;
- приемочные испытания опытного/головного образца;
- корректировка рабочей конструкторской документации по результатам испытаний, при

необходимости доработка и повторные испытания изделия;

- серийное изготовление изделий (при необходимости).

К сведениям о критичности поставок импортных комплектующих, материалов и прикладного программного обеспечения (далее — ППО), необходимых для изготовления технологического оборудования, рекомендуется относить:

- наименование комплектующей/материала/ППО;
- изготовитель/поставщик комплектующей/материала/разработчик ППО, в том числе зарубежный партнер;
- прогноз продолжительности работ по замене комплектующей/материала/ППО на отечественный аналог (пессимистическая, наиболее вероятная, оптимистическая оценка);
- прогноз продолжительности работ по замене комплектующей/материала/ППО на аналог, произведенный в странах, не поддержавших санкции против РФ (пессимистическая, наиболее вероятная и оптимистическая оценки).

Работы по разработке/изготовлению/поставке комплектующих/материалов/ППО относятся к типовым работам второго уровня. Такие работы могут выполняться параллельно поскольку, как правило, они выполняются разными исполнителями.

В процессе подготовки анкет с целью облегчения последующего проведения экспертизы рекомендуется выполнить идентификацию типовых факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта.

#### **Идентификация типовых факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта**

Идентификация и типизация факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта, были проведены методом мозгового штурма [3] специалистов в области анализа рисков ООО «Газпром ВНИИГАЗ» с последующей возможной их корректировкой менеджментом анкетуемых Организаций.

Результатом начальной идентификации является следующий «открытый» перечень типовых факторов неопределенности:

- поставка оборудования (комплектующих, материалов и т.п.) с характеристиками, отличающимися

от требуемых, задержки в поставках, иные проблемы с поставками;

- наличие критических элементов технологии<sup>1</sup> (далее — КЭТ) при изготовлении оборудования, комплектующих, материалов сторонними поставщиками;

- наличие КЭТ при изготовлении оборудования, комплектующих, материалов Организацией;

- неполное соответствие применяемых в изделии заимствованных составных частей требованиям к разрабатываемому технологическому оборудованию по техническим характеристикам, технологическим режимам работы, гарантийным срокам и другим условиям эксплуатации;

- задержки проведения экспериментальных разработок продукции, направленных на опытно-конструкторскую и/или технологическую разработку в лабораторных условиях;

- задержки ввода в строй нового технологического оборудования, необходимого для изготовления комплектующих и сборочных единиц;

- задержки изготовления комплектующих и сборочных единиц на производственной базе головного исполнителя, задержки проведения контроля качества и испытаний;

- непредвиденный рост загрузки организации-разработчика или подрядных организаций;

- непредвиденный рост инфляции;

- непредвиденный отток квалифицированного персонала из организации или из подрядных организаций;

- осложнения, связанные с устранением замечаний и недоработок, выявленных при проведении приемочных испытаний опытного образца, включая приемочные испытания составных частей продукции;

- затягивание проведения приемочных испытаний продукции или ее составных частей из-за сложных природно-климатических условий на объекте будущей эксплуатации.

**Обработка анкет, полученных от организации, составление типового КСГ (при необходимости)**

Обработка полученных от Организации анкет (этап 2 алгоритмической схемы) заключается в систематизации следующей информации, относящейся

<sup>1</sup> Под КЭТ понимается подверженный факторам неопределенности элемент технологии, от которого зависят результативность, эффективность и сроки реализации Проекта.

к технологическому оборудованию определенного вида: информация о представленных в анкетах работах (комплексах работ), связанных с разработкой, изготовлением и поставкой технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании, а именно: наименование работ (комплексов работ), оценки продолжительности их выполнения (наиболее вероятная, оптимистическая и пессимистическая оценка), ранние сроки начала их выполнения с учетом доступности всех видов ресурсов, необходимых для выполнения работ, статус выполнения работ (процент готовности выполнения).

Кроме этого, в ходе систематизации информации рекомендуется также выделять ранее начатые работы (комплексы работ) с указанием процента готовности их выполнения.

Типовой КСГ Проекта составляется на основе вышеназванных типовых работ уровней 1, 2 для каждого наименования технологического оборудования, представленного в анкетах, а также типовых работ, выполняемых Заказчиком Проекта (как правило, нефтегазовой компанией) в соответствии с общепринятыми правилами по ГОСТ Р [1, 27].

К числу типовых работ, выполняемых Заказчиком, относятся:

- разработка технических требований к технологическому оборудованию<sup>2</sup>;

- разработка технического проекта<sup>3</sup>, уточнение стоимости проекта и состава потенциальных разработчиков/изготовителей оборудования;

- принятие окончательного инвестиционного решения нефтегазовой компанией о запуске проекта, определение генерального проектировщика, генерального конструктора, а также порядка взаимодействия участников проекта.

В целях корректной оценки уровня Риска срыва планового срока необходимо для каждой типовой работы, выполняемой Заказчиком Проекта, оценить прогнозные сроки их выполнения (пессимистическая, наиболее вероятная, оптимистическая оценка). Такие оценки могут быть получены с использованием метода анкетирования менеджмента Заказчика.

<sup>2</sup> Данная работа может выполняться сторонней организацией, например, по договору НИОКР.

<sup>3</sup> Данная работа также может выполняться сторонней организацией, например, по договору НИОКР.

**Оценка уровня Риска срыва планового срока**

Оценка уровня Риска срыва планового срока (этап 3 алгоритмической схемы) включает выполнение следующих действий:

- расчет параметров вероятностных распределений продолжительности работ (комплексов работ) КСГ (математическое ожидание, стандартное отклонение);
- оценка показателей Риска срыва планового срока выбранными методами оценки.

Оценка Риска срыва планового срока двумя математическими методами преследует следующие цели:

- выявление возможных допущенных арифметических/логических ошибок в расчетах, полученных одним методом оценки;
- подтверждение корректности полученных результатов оценки риска.

Расхождение результатов оценки, полученных различными методами, рекомендуется объяснять рассмотренными в настоящей работе модельными ограничениями и допущениями.

**3. Рекомендации по уточнению границ применимости математических методов оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний**

С целью обоснования выбора метода оценки Риска срыва планового срока авторами было выполнено исследование влияния на вероятностные характеристики срока завершения Проекта (математическое ожидание, наибольшее значение VAR с доверительной вероятностью 90%):

- изменения числа параллельно выполняемых работ в типовом КСГ Проекта при постоянстве состава и значений параметров отдельных работ типового КСГ;
- изменения значений параметров отдельных работ типового КСГ Проекта (стандартного отклонения продолжительности выполнения работ) при постоянстве состава и числа параллельно выполняемых работ.

Исследование проводилось с использованием двух математических методов, рекомендуемых ГОСТ Р [3]:

- метод PERT;
- метод имитационного моделирования Монте-Карло.

В исследовании анализировались следующие вероятностные показатели:

- среднеквадратическое отклонение продолжительности работ Проекта ( $\sigma$ );
- математическое ожидание продолжительности работ Проекта ( $M$ );
- VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности работ Проекта (P90);
- VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности работ Проекта (P10).

**Определение минимально достаточного числа имитационных экспериментов**

Исходными данными для проведения исследования являлось 50 работ типового КСГ условного Проекта со следующими одинаковыми параметрами:

- оптимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 1 единица времени;
- наиболее вероятная оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 2 единицы времени;
- пессимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 5 единиц времени.

Вид одного из вариантов типового КСГ с 25 параллельно выполняемыми работами представлен на рис. 3.

Необходимое число имитационных экспериментов  $n$  было определено исходя из надежности оценок продолжительности выполнения Проекта [12]  $\gamma = 0,99$  и длины доверительного интервала, задаваемой условием:

$$\Delta_n \leq 0,0032 \cdot \bar{x}, \tag{1}$$

где:

$\Delta_n$  — доверительный интервал по результатам  $n$  испытаний;

$\bar{x}$  — среднее значение продолжительности выполнения Проекта по результатам  $10^5$  экспериментов.

Условие (1) задает максимальную погрешность оценки, не превышающую 0,155% от величины  $\bar{x}$ .

Была проведена серия имитационных экспериментов. По формулам (2)–(3) для различных значений  $n$  ( $n = 100, 200, \dots, 10^5$ ) определены длины доверительных интервалов, обеспечиваемых данным количеством экспериментов  $n$ .

$$\Delta_n = \frac{2t_\gamma s(n)}{\sqrt{n}}, \tag{2}$$

где:

$t_\gamma$  — критические точки распределения Стьюдента для заданного уровня значимости;

$s(n)$  — среднеквадратическое отклонение по результатам  $n$  экспериментов;  
 $n$  — число экспериментов.

$$s(n) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x}_n)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где:

$x_i$  — продолжительность выполнения Проекта по результатам  $i$ -го испытания;

$\bar{x}_n$  — среднее значение продолжительности выполнения Проекта по результатам  $n$  экспериментов.

Далее было выбрано минимальное значение  $n$ , при котором выполняется условие (1).

Формула (2) является общераспространенной формулой для определения доверительного интервала нормальной случайной величины при неизвестной дисперсии [12, 28].

График зависимости длины доверительного интервала от количества имитационных экспериментов представлен на рис. 1.

Установлено, что минимально достаточным для обеспечения заданной длины доверительного интервала является проведение  $10^4$  имитационных экспериментов.

**Исследование зависимости величины относительного отклонения показателей оценки Риска срыва планового срока методом PERT от изменения числа параллельно выполняемых работ Проекта**

В связи с ограничениями применения метода PERT принято допущение о достаточности ресурсов (людских, финансовых, материальных и др.) в любой момент времени, необходимых для выполнения работ каждого из рассматриваемых вариантов типовых КСГ Проекта.

Исходными данными для проведения этого исследования являлись различные варианты типового КСГ условного Проекта со следующими одинаковыми параметрами:

- оптимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 1 единица времени;
- наиболее вероятная оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 2 единицы времени;
- пессимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 15 единиц времени.

Для каждой работы КСГ с использованием предположения о бета-распределении продолжительности выполнения были определены:

- оценка математического ожидания продолжительности выполнения работы: 4 единицы времени;

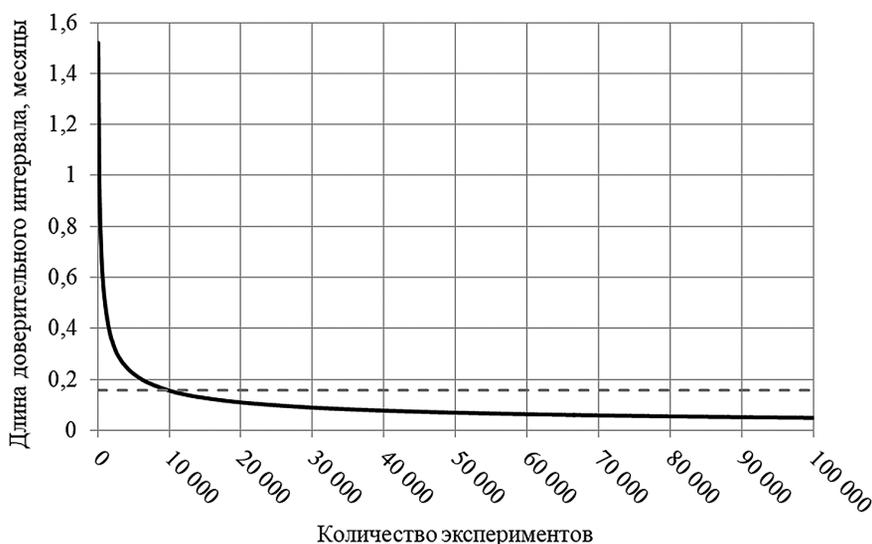


Рис. 1. Зависимость длины доверительного интервала продолжительности Проекта (месяцы) от количества проведенных экспериментов при значении надежности 0,99

Figure 1. The dependence of the length of the Project duration confidence interval (months) on the number of experiments performed with a reliability value of 0.99

• оценка среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения работы: 2,33 единицы времени.

В ходе исследования проводилось 25 итераций с изменением числа параллельных работ (от 0 до 25) при неизменных параметрах работ КСГ.

Вид варианта типового КСГ первой итерации представлен на рис. 2.

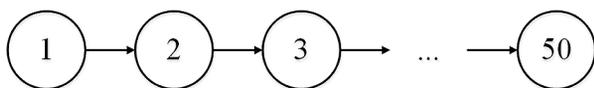


Рис. 2. Вид варианта типового КСГ первой итерации

Figure 2. Variant type of typical first iteration network schedule

Вид варианта типового КСГ последней (25-ой) итерации представлен на рис. 3.

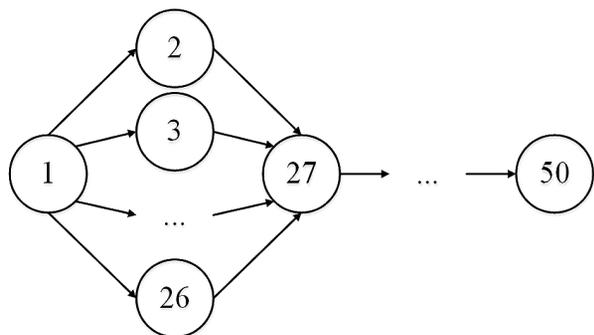


Рис. 3. Вид варианта типового КСГ последней итерации

Figure 3. Variant type of the typical network planning board of the latest iteration

Основные результаты проведенного исследования отражены на рис. 4.

Ввиду гораздо большего числа допущений, лежащих в основе метода PERT, по отношению к числу допущений, лежащих в основе метода имитационного моделирования, авторами в целях простоты сделано предположение, что метод имитационного моделирования при числе испытаний не менее  $10^4$  дает гораздо более точные оценки показателей продолжительности выполнения Проекта (математическое ожидание, VAR с доверительной вероятностью 90%).

В процессе исследования определялись относительные отклонения оценки показателей Риска срыва планового срока, полученные при использовании метода PERT, от соответствующей оценки этого же показателя Риска, полученной методом имитационного

моделирования (далее — Относительное отклонение), по формулам (4)–(7):

$$\alpha_{\sigma} = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{\sigma_1} \cdot 100, \quad (4)$$

где:

$\alpha_{\sigma}$  — относительное отклонение показателя «среднеквадратическое отклонение продолжительности выполнения Проекта», %;

$\sigma_2$  — значение показателя «среднеквадратическое отклонение продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$\sigma_1$  — значение показателя «среднеквадратическое отклонение продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

$$\alpha_M = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \cdot 100, \quad (5)$$

где:

$\alpha_M$  — относительное отклонение показателя «математическое ожидание продолжительности выполнения Проекта», %;

$M_2$  — значение показателя «математическое ожидание продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$M_1$  — значение показателя «математическое ожидание продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

$$\alpha_{P90} = \frac{(P90_2 - P90_1)}{P90_1} \cdot 100, \quad (6)$$

где:

$\alpha_{P90}$  — относительное отклонение показателя «VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности выполнения Проекта», %;

$P90_2$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$P90_1$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

$$\alpha_{P10} = \frac{(P10_2 - P10_1)}{P10_1} \cdot 100, \quad (7)$$

где:

$\alpha_{P10}$  — относительное отклонение показателя «VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности выполнения Проекта», %;

$P10_2$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$P10_1$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

Исследование показало, что с ростом отношения числа параллельно выполняемых работ в КСГ к общему их числу от 0 до 1 при постоянстве состава и значений параметров отдельных работ вариантов типового КСГ абсолютная величина относительного отклонения возрастает (за исключением среднеквадратического отклонения продолжительности Проекта), что демонстрирует рис. 4. Такая тенденция объясняется следующими основными моментами:

- с ростом числа параллельно выполняемых работ растет вероятность появления двух и более

критических путей в КСГ Проекта, что противоречит основным предпосылкам применения метода PERT;

- с ростом числа параллельно выполняемых работ ослабевает действие Центральной предельной теоремы о нормальном законе вероятностного распределения.

**Исследование зависимости величины относительного отклонения оценки Риска срыва планового срока методом PERT от изменения параметров работ Проекта**

В связи с особенностями метода PERT принято допущение о достаточности ресурсов (людских, финансовых, материальных и других) в любой момент времени, необходимых для выполнения работ КСГ Проекта.

Исходными данными для проведения исследования являлся вариант типового КСГ условного Проекта, приведенного на рис. 7, со следующими одинаковыми параметрами работ:

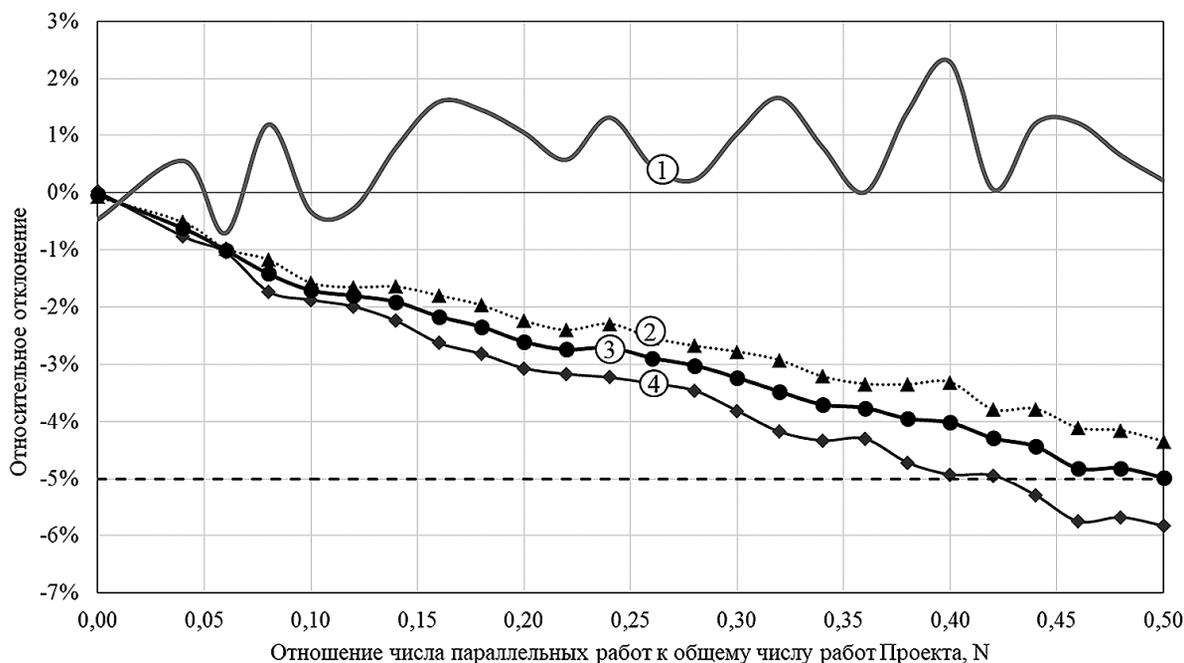


Рис. 4. Зависимость относительного отклонения результатов оценки Риска срыва планового срока от показателя N:  
1 — показатель  $\alpha_{\sigma}$ , рассчитываемый по формуле (4); 2 — показатель  $\alpha_{P90}$ , рассчитываемый по формуле (6);  
3 — показатель  $\alpha_M$ , рассчитываемый по формуле (5); 4 — показатель  $\alpha_{P10}$ , рассчитываемый по формуле (7)

Figure 4. Dependence of relative deviation of the results of the assessment of the risk of failure of the planned period on the N indicator:  
1 —  $\alpha_{\sigma}$  index calculated using formula (4); 2 —  $\alpha_{P90}$  index calculated using formula (6); 3 —  $\alpha_M$  index calculated using formula (5); 4 —  $\alpha_{P10}$  index calculated using formula (7)

- наиболее вероятная оценка продолжительности выполнения работы: 10 единицы времени;
- оценка математического ожидания продолжительности выполнения работы: 10,67 единицы времени.

Проведено 10 итераций с одновременным изменением оптимистической оценки продолжительности выполнения каждой работы (от 9 до 0 единиц времени с шагом в 1 единицу времени) и пессимистической оценки продолжительности выполнения каждой работы (от 15 до 24 единиц времени с шагом в 1 единицу времени) при неизменной структуре типового КСГ Проекта.

Вследствие вышеуказанных изменений оценка среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения каждой работы увеличивалась от 1 до 4 единиц времени с шагом 1/3 единиц времени, при этом математическое ожидание оставалось неизменным.

Исследование показало, что с ростом значений стандартного отклонения продолжительности выполнения каждой работы типового КСГ при постоянном математическом ожидании и числе параллельно выполняемых работ в типовом КСГ абсолютная величина относительного отклонения возрастает, что демонстрирует рис. 5. Такая тенденция объясняется ростом вероятности появления двух и более критических путей в типовом КСГ Проекта, что противоречит основным предпосылкам применения метода PERT.

Если принять тезис о том, что уровень предельно допустимого отклонения оценок показателей, полученных методом PERT, от соответствующих оценок, полученных методом имитационного моделирования, составляет 5%, то можно сделать следующие выводы по результатам проведенных исследований:

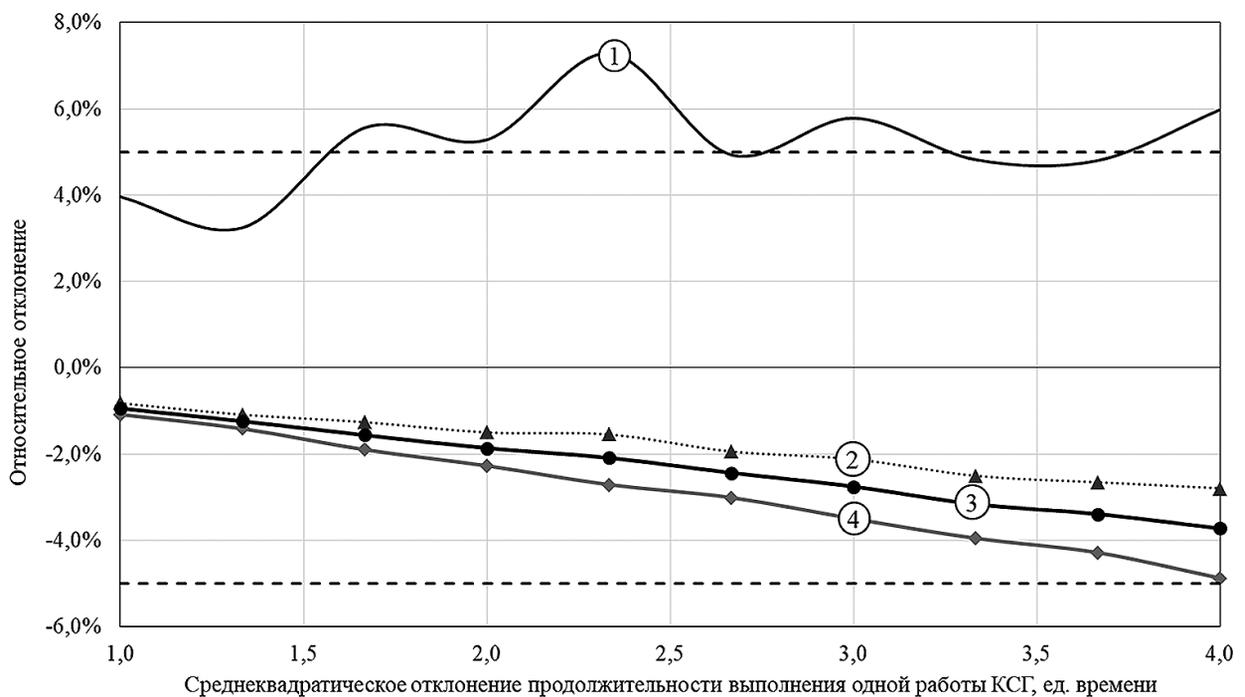


Рис. 5. Зависимость относительного отклонения результатов оценки Риска срыва планового срока от изменения оценок среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения работ: 1 — показатель  $\alpha_p$ , рассчитываемый по формуле (4); 2 — показатель  $\alpha_{p90}$ , рассчитываемый по формуле (6); 3 — показатель  $\alpha_M$ , рассчитываемый по формуле (5); 4 — показатель  $\alpha_{p10}$ , рассчитываемый по формуле (7)

Figure 5. Dependence of the relative deviation of the results of the assessment of the risk of failure of the planned period on the change in the estimates of the standard deviation of the duration of work:

1 —  $\alpha_p$  index calculated using formula (4); 2 —  $\alpha_{p90}$  index calculated using formula (6); 3 —  $\alpha_M$  index calculated using formula (5); 4 —  $\alpha_{p10}$  index calculated using formula (7)

- предельное (максимально возможное) значение отношения числа параллельно выполняемых работ в типовом КСГ к общему их числу составляет порядка 0,45;
- предельное (максимально возможное) значение среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения работ в типовом КСГ составляет примерно 5 единиц времени.

**Расчет вероятностных параметров продолжительности работ (комплексов работ) КСГ Проекта при ресурсных ограничениях методом Монте-Карло, оценка показателей Риска срыва планового срока**

К основным показателям оценки Риска срыва планового срока относятся:

- вероятность невыполнения всех или части работ Проекта к плановому сроку поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании;
- максимальное превышение плановых сроков поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании с доверительной вероятностью, например, с вероятностью 90% (далее — наибольшая задержка поставки);
- ожидаемое превышение плановых сроков поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании (далее — ожидаемая задержка поставки).

Ограничения на ресурсы задаются через ранние даты доступности ресурсов, необходимых для начала выполнения той или иной работы типового КСГ.

Для реализации метода Монте-Карло в условиях ресурсных ограничений требуется определить продолжительность выполнения Проекта для каждой итерации имитационного моделирования. Существует два варианта решения задачи:

**Вариант 1.** Все работы типового КСГ Проекта, у которых есть ограничения на ресурсы, разбиваются на две отдельные работы в соответствии со схемой, показанной на рис. 6.

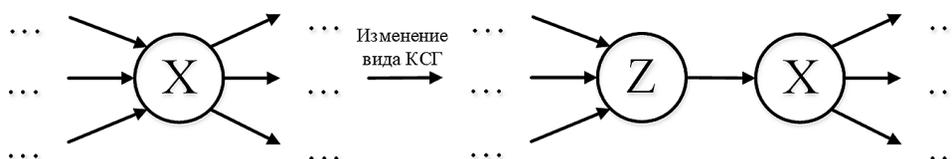


Рис. 6. Процесс изменения вида КСГ  
Figure 6. Process for changing the network planning type

На рис. 6 работа X — работа с ограничением на ресурсы, которые будут доступны лишь к определенному моменту времени, работа Z — фиктивная работа, продолжительность которой определяется по формуле:

$$P^Z = \max(D^X - P_H^X; 0), \quad (8)$$

где:

- $P^Z$  — продолжительность работы Z;
- $D^X$  — ранняя дата (в относительном выражении) доступности ресурсов, необходимых для начала работы X, относительно даты начала работ КСГ;
- $P_H^X$  — раннее начало работы X, определенное по методу критического пути [2].

С использованием типового КСГ, полученного путем добавления в него фиктивных работ (рис. 6, изображение справа), на каждой итерации имитационного моделирования определяется продолжительность выполнения Проекта методом критического пути.

**Вариант 2.** На каждой итерации имитационного моделирования с использованием типового КСГ (рис. 6, изображение слева) определяется продолжительность выполнения Проекта по формулам (9)–(12), которые основаны на методе критического пути, с учетом отмеченных выше ресурсных ограничений:

$$P_H^1 = 0, \quad (9)$$

где:  $P_H^1$  — раннее начало первой работы КСГ.

$$P_H^i = \max_{j \in y_i} (P_O^j), \quad \forall i = 2; 3; \dots; N, \quad (10)$$

где:

- $P_H^i$  — раннее начало  $i$ -ой работы КСГ (за исключением первой работы);
- $N$  — число работ КСГ;
- $y_i$  — подмножество работ, входящих в работу  $i$ ;
- $P_O^j$  — раннее окончание  $j$ -ой работы, входящей в работу  $i$ .

$$P_o^i = P_H^i + t^i + t_{\Pi}^i, \forall i = 1; 2; \dots; N, \quad (11)$$

где:

$P_o^i$  — раннее окончание  $i$ -ой работы КСГ;

$t_i$  — продолжительность  $i$ -ой работы КСГ;

$t_{\Pi}^i$  — условно подготовительное время, необходимое для выполнения работы  $i$  (продолжительность работы увеличивается на это время вследствие недоступности необходимых для выполнения работы ресурсов до момента  $D^i$ ). Время вычисляется по формуле:

$$t_{\Pi}^i = \max(D^i - P_H^i; 0), \forall i = 1; 2; \dots; N, \quad (12)$$

где:  $D^i$  — дата (в относительном выражении) доступности ресурсов, необходимых для начала  $i$ -ой работы КСГ, относительно даты начала работ КСГ.

На каждой итерации имитационного моделирования продолжительность выполнения Проекта совпадает с ранним окончанием последней работы типового КСГ (рис. 6, изображение слева).

#### 4. Пример количественной оценки Риска срыва плановых сроков реализации условного проекта разработки, изготовления и поставки технологического оборудования на объект добычи нефтегазовой компании

В таблице 1 приведены исходные данные для оценки Риска срыва планового срока поставки условного Проекта. Принятая в примере дата начала Проекта — 01.01.2024. Заданный плановый срок готовности поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании — 01.05.2032 (что составляет 100 единиц времени с момента запуска Проекта). На рис. 7 представлен типовой КСГ Проекта, соответствующий условиям примера, а в табл. 1 приведены иные необходимые исходные данные для оценки Риска срыва планового срока поставки.

Оценка показателей Риска срыва планового срока поставки выполнена методом имитационного моделирования.

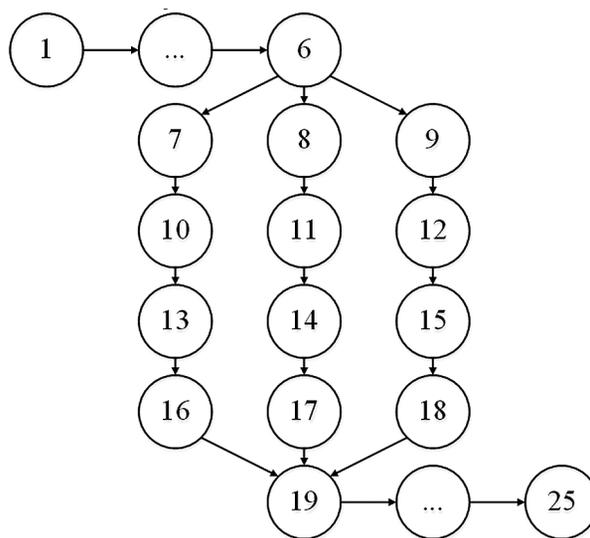


Рис. 7. Типовой КСГ Проекта

Figure 7. Typical project network schedule

По результатам  $10^4$  испытаний была сформирована гистограмма плотности вероятностного распределения продолжительности выполнения Проекта, представленная на рис. 8.

На основе полученной гистограммы методом квантиль-квантиль диаграмм [29, 30] была найдена функция вероятностного распределения и получены ее параметры. Наибольшее значение коэффициента детерминации ( $R^2$ ) показало логнормальное распределение (рис. 9).

График функции вероятностного распределения относительных сроков завершения Проекта<sup>4</sup> (с выделением пунктирной линией границы заданного срока готовности поставки технологического оборудования) представлен на рис. 10.

Вероятность невыполнения работ Проекта в плановый срок готовности поставки составляет 39,36%. Сроки завершения работ Проекта для уровней доверительных вероятностей P10 (10%), P50 (50%) и P90 (90%) представлены в табл. 2.

Максимальная задержка сроков выполнения работ Проекта для уровня доверительной вероятности P90 составляет 2,46 единицы времени, при этом ожидаемая задержка равна 0.

<sup>4</sup> Относительно даты его начала.

Таблица 1. Иные исходные данные для оценки Риска срыва планового срока поставки  
 Table 1. Other input data for the assessment of the Risk of disruption of the planned delivery time

№ п/п	Наименование работы	Номера исходных работ	Номера входящих работ	Экспертная оценка продолжительности работы, единица времени			Ранняя дата доступности ресурсов, необходимых для выполнения работы <sup>5</sup>
				Оптимистическая	Наиболее вероятная	Пессимистическая	
1	Разработка технических требований к технологическому оборудованию	2	-	12	15	24	-
2	Разработка технического проекта, уточнение стоимости проекта и состава потенциальных разработчиков/изготовителей оборудования	3	1	2	2,5	5	-
3	Принятие окончательного инвестиционного решения нефтегазовой компанией о запуске проекта, определение генерального проектировщика, генерального конструктора, а также порядка взаимодействия участников проекта	4	2	2	3	6	-
4	Разработка рабочей конструкторской документации	5	3	12	14	18	-
5	Технологическая подготовка производства	6	4	3	4	6	-
6	Организационная подготовка производства	7, 8, 9	5	1	1,5	3	-
7	Изготовление критически важных элементов оборудования (элементы 1, 2, 3, соответственно)	10	6	6	7	12	-
8		11	6	6	7	12	01.09.2027
9	Заводские испытания критически важных элементов оборудования (элементы 1, 2, 3, соответственно)	12	6	6	7,5	12	-
10		13	7	3	3,5	5	-
11		14	8	2,5	3	6	-
12	Доработка критически важных элементов оборудования по результатам испытаний (элементы 1, 2, 3, соответственно)	15	9	3	4	6	-
13		16	10	2	3	5	01.09.2028
14		17	11	2	2,5	5	01.10.2028
15		18	12	3	4	5	-

Окончание табл. 1

№ п/п	Наименование работы	Номера исходных работ	Номера входящих работ	Экспертная оценка продолжительности работы, единица времени			Ранняя дата доступности ресурсов, необходимых для выполнения работы <sup>5</sup>
				Оптимистическая	Наиболее вероятная	Пессимистическая	
16		19	13	1	1,5	2	-
17	Поставка (транспортировка) критически важных элементов оборудования к месту сборки головного образца (элементы 1, 2, 3, соответственно)	19	14	1	1,2	2	-
18		19	15	1	1,3	2	-
19	Сборка головного образца (изделия в сборе)	20	16, 17, 18	1	1,5	2	-
20	Испытания головного образца оборудования на различных режимах (в заводских условиях)	21	19	6	8	12	-
21	Корректировка рабочей конструкторской документации в ходе изготовления и испытаний головного образца оборудования	22	20	6	7	9	-
22	Монтаж головного образца оборудования на месте эксплуатации, проведение опытно-промышленных испытаний	23	21	6	8	12	-
23	Приемо-сдаточные испытания головного образца оборудования	24	22	2	3	5	-
24	Сертификация оборудования	25	23	5	7	12	-
25	Изготовление партии оборудования	-	24	1	1,2	3	-

<sup>5</sup> Прочерк означает отсутствие ограничений на ресурсы для данной работы.

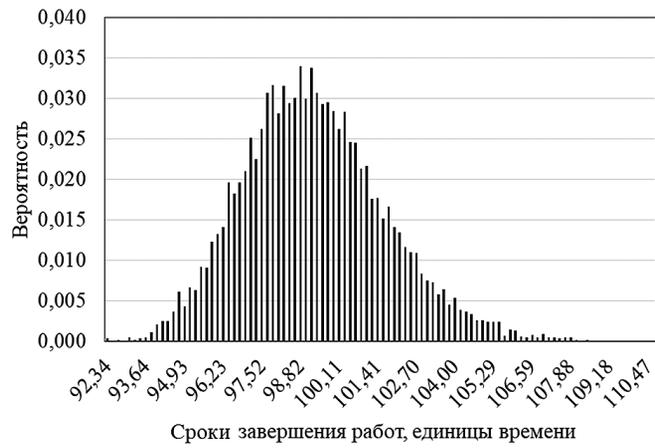


Рис. 8. Гистограмма плотности вероятностного распределения продолжительности реализации Проекта  
Figure 8. Project duration probability distribution density histogram

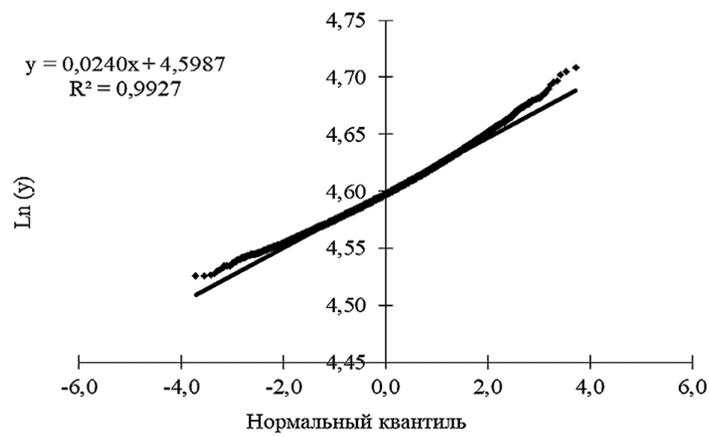


Рис. 9. Логнормальный квантиль  
Figure 9. Lognormal quantile

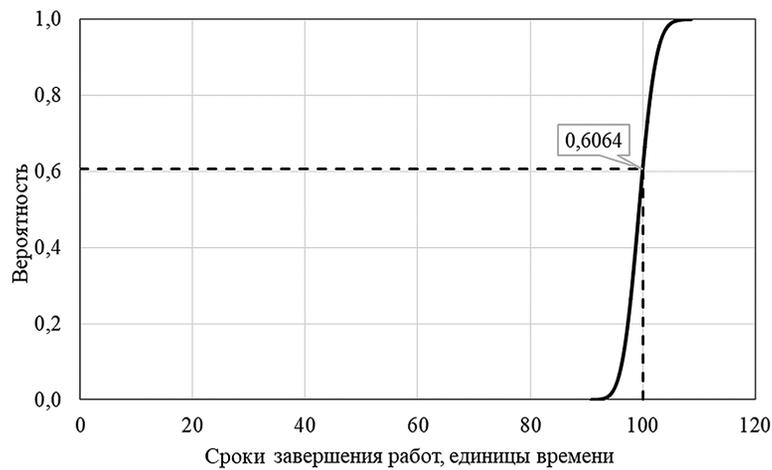


Рис. 10. Функция вероятностного распределения относительных сроков завершения Проекта  
Figure 10. Function of probabilistic distribution of relative Project completion dates

**Таблица 2. Сроки завершения работ Проекта для разных уровней доверительных вероятностей**

Table 2. Project completion dates for different levels of confidence probabilities

Уровни доверительных вероятностей, VaR	P10	P50	P90
Продолжительность выполнения всех работ Проекта, единица времени	96,3463	99,3546	102,4568

## Заключение

В статье рассмотрены вопросы применения методов риск-анализа и календарно-сетевое моделирования для решения задачи оценки риска срыва плановых сроков поставки на производственные объекты (добычи, транспортировки, хранения, переработки) нефтегазовых компаний новых видов технологического оборудования, в том числе в целях импортозамещения. Выполнен анализ значительного числа возможных методов решения поставленной задачи, по результатам которого предпочтение отдано сетевым подходам, основанным на моделях вида *PERT*, и имитационному моделированию Монте-Карло. Приведена алгоритмическая схема проведения оценки риска, показаны участники процесса его оценивания. Отмечено, что наиболее развитыми в научном плане являются методы оценки риска, основанные на моделях вида *GERT*. Однако применение последних для решения решаемой задачи в настоящее время затруднительно ввиду сложностей экспертного оценивания ряда параметров структуры сетевой модели (например, вероятностей выполнения определенных объемов доводочных работ по результатам испытаний продукции, прохождения экспертиз и т.п.) при недостаточности статистической информации о ранее реализованных рискованных событиях.

Показана возможность применения выбранных методов оценивания риска на разных стадиях разработки нового технологического оборудования, включая начальные ее стадии, даже при отсутствии в Организации утвержденного КСГ разработки, изготовления и поставки оборудования на объекты нефтегазовой компании. Предложен подход к оценке рассматриваемых рисков, предполагающий построение типового КСГ разработки, изготовления и поставки технологического оборудования. При этом возможен учет ограничений на ресурсы различных видов, которые могут быть выделены для выполнения работ типового КСГ, начиная с определенного момента времени.

По результатам проведенного исследования авторы уточнили следующие границы работоспособности метода *PERT* для решения рассматриваемой задачи:

- в каждый момент времени могут быть выделены все необходимые для выполнения работ КСГ проекта ресурсы;
- в качестве предельного (максимально возможного) значения отношения числа параллельно выполняемых работ в типовом КСГ к общему их числу можно принять величину порядка 0,45;
- в качестве предельного (максимально возможного) значения среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения отдельной работы типового КСГ можно принять величину порядка 5 единиц времени.

В случае невыполнения хотя бы одного из вышеперечисленных условий авторами рекомендуется применение метода имитационного моделирования Монте-Карло. Кроме того авторы рекомендуют применять подход Монте-Карло даже в случае выполнения вышеперечисленных условий в качестве проверочного метода к *PERT*.

Дальнейшие исследования ведутся авторами в следующих основных направлениях:

- оценка финансовых последствий для нефтегазовой компании от реализации риска срыва плановых сроков поставки технологического оборудования на ее производственные объекты, а также риска превышения допустимых уровней финансовых последствий;
- выявление критических работ (комплексов работ) КСГ, их ранжирование по критериям вероятности нахождения работ КСГ на критическом пути, а также уровню влияния возможных изменений отдельных параметров работ (например, пессимистической оценки продолжительности работы; ранней даты доступности ресурсов, необходимых для выполнения работы и др.) на срыв плановых сроков поставки технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании;
- многоуровневая оценка риска срыва плановых сроков поставки сложного технологического оборудования

на производственные объекты нефтегазовой компании с учетом КСГ второго и более низких уровней;

- выявление критических работ КСГ второго и более низких уровней, их ранжирование по критериям вероятности нахождения работ КСГ различных уровней на критическом пути, а также по уровню влияния возможных изменений отдельных параметров работ КСГ разных уровней на срыв плановых сроков поставки сложного технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании.

Решение вышеперечисленных задач создаст необходимые предпосылки для повышения обоснованности управленческих решений, связанных:

- с оценкой экономической эффективности для нефтегазовой компании проектов разработки, изготовления и поставки на объекты нефтегазовой компании технологического оборудования с учетом возможных финансовых потерь от реализации риска срыва плановых сроков поставки оборудования;

- с уточнением выбора перечня Организаций, занимающихся разработкой, изготовлением и поставкой на объекты нефтегазовой компании технологического оборудования с использованием не только экономических критериев (например, совокупная стоимость разработки, изготовления технологического оборудования), но и критерия ограниченности риска срыва плановых сроков поставки;

- с разработкой системы планирования, мониторинга и контроля за реализацией проектов разработки, изготовления и поставки на объекты нефтегазовой компании технологического оборудования на основе индикативных, в том числе и рискованных показателей, а также результатов ранжирования отдельных работ КСГ по их влиянию на уровень риска срыва плановых сроков поставки, что позволит своевременно выявлять критически важные работы КСГ, элементы технологии и повышать уровень обоснованности управленческих решений.

Предлагаемый подход к оценке Риска срыва плановых сроков поставки был успешно апробирован для нескольких наименований технологического оборудования, которые в дальнейшем будут поставляться на объекты Южно-Киринского газоконденсатного месторождения. Среди этих наименований - скважинный трактор, роторно-управляемая система и другое инновационное оборудование для обустройства объектов добычи на шельфе.

## Список источников [References]

1. Project management Institute. A guide to the project management body of knowledge. Pennsylvania: Project Management Institute, 2016. 760 p.
2. Математические модели управления проектами: учебник / И. Н. Царьков; предисловие В. М. Аньшина. М.: ИНФРА-М, 2018. 514 с. (Высшее образование: Магистратура). [Mathematical models of project management: textbook / I. N. Tsarkov; preface by V. M. Anshin. M.: INFRA-M, 2018. 514 p. (Higher education: Magistracy). (In Russ.)]
3. ГОСТ Р 58970–2020. Менеджмент риска. Количественная оценка влияния рисков на стоимость и сроки инвестиционных проектов / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174887?ysclid=lu8ecrag25621741693> [GOST R 58970-2020. Risk management. Quantitative cost and schedule risk analysis for investment projects // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174887?ysclid=lu8ecrag25621741693> (In Russ.)]
4. ГОСТ Р 58048–2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158331?ysclid=lu8edyf2jv372484706> [GOST R 58048-2017. Technology transfer. Technology maturity assessment methodology guide / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158331?ysclid=lu8edyf2jv372484706> (In Russ.)]
5. Демкин И. В. Методология управления инновационным риском: (методы, модели, инструменты): научное издание / И. В. Демкин; И. В. Демкин. М.: МАТИ, 2008. 429 с. ISBN 978-5-93271-471-3 [Demkin I. V. Methodology for managing innovative risk: (methods, models, tools): scientific publication / I. V. Demkin; I. V. Demkin. M.: MATI, 2008. 429 p. ISBN 978-5-93271-471-3. (In Russ.)]
6. Васютювич А. В., Сотникова А. Н. Рыночный риск: измерение и управление // Банковские технологии. 1998. № 1. URL: <http://www.catback.ru/articles/practice/risk/1007081624.htm?ysclid=lu8654rpf0481324281> [Vasyutovich A. V., Sotnikova A. N. Market risk: measurement and management // Banking technologies. 1998. № 1. URL: <http://www.catback.ru/articles/practice/risk/1007081624.htm?ysclid=lu8654rpf0481324281>. (In Russ.)]
7. Шарп У. Ф., Александер Г. Д., Бэйли Дж. Инвестиции: Пер. с англ. М.: Инфра-М. 2001. 1028 с. [Sharp W. F., Alexander G. D., Bailey J. Investment: transl. from engl. M.: Infra-M. 2001. 1028 p.]

8. Лимитовский М. А. Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках. М.: Дело. 2004. 527 с. [Limitovsky M. A. Investment projects and real options in emerging markets. M.: Delo. 2004. 527 p. (In Russ.)]
9. Шапкин А. С. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций: [Монография] / А. С. Шапкин. М.: Дашков и К° 2003. 544 с. [Shapkin A. S. Economic and financial risks. Evaluation, management, investment portfolio: [Monograph] / A. S. Shapkin. M.: Dashkov & Co. 2003. 544 p. (In Russ.)]
10. Kahneman D., Tversky A. Prospect theory: an analysis of decision under risk // *Econometrica*. 1993;6(1):187–198
11. Блех Ю., Гетце У. Инвестиционные расчеты: Модели и методы оценки инвестиц. проектов: [Пер. с нем.] / Ю. Блех, У. Гетце. Калининград: Янтар. сказ, 1997. 437 с. [Blech Yu., Goetze U. Investment calculations: Models and methods for evaluating investment projects: [transl. from German] / Y. Blech, W. Goetze. Kaliningrad: Yantar. Skaz, 1997. 437 p.]
12. Грачева М. В., Секерин А. Б. Риск-менеджмент инвестиционного проекта. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2012. 544 с. [Gracheva M. V., Sekerin A. B. Risk management of investment project. M.: UNITI-DANA. 2012. 544 p. (In Russ.)]
13. Engwall, M. (2012), “PERT, Polaris, and the realities of project execution”, *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 5 No. 4, pp. 595–616. <https://doi.org/10.1108/17538371211268898>
14. Макаров В. М., Круляк П. Метод управления рисками невыполнения в срок проектов создания крупных энергетических объектов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2021. Т. 14. № 1. С. 109–121. DOI: 10.18721/JE.14109 [Makarov V. M., Krolas P. Method for managing risks related to non-fulfillment of large energy facilities constructions projects on time // *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2021;14(1):109–121. (In Russ.). DOI: 10.18721/JE.14109]
15. Ахьюджа Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве. Перевод с англ. Б. С. Лунякова, В. М. Симонова; Под ред. В. В. Калашникова. М.: Мир. 1979. 638 с. [Ahyuja H. Network management methods in design and manufacturing. Transl. from Engl. B. S. Lunyakova, V. M. Simonova; Ed. V. V. Kalashnikov. M.: Mir. 1979. 638 p.]
16. Демкин И. В. Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования. Часть 1. Основные подходы к оценке инновационного риска // *Проблемы анализа риска*. 2005. Т. 2. № 3. С. 249–273 [Dyomkin I. V. The management of innovation risk on the base of imitation simulation. Part 1. Basic approaches to risk estimation // *Issues of Risk Analysis*. 2005;2(3):249–273. (In Russ.)]
17. Демкин И. В. Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования. Часть 2. Основные методы управления инновационным риском // *Проблемы анализа риска*. 2006. Т. 3. № 1. С. 53–67 [Dyomkin I. V. The management of innovation risk on the base of imitation simulation. Part 2. Basic approaches to risk management // *Issues of Risk Analysis*. 2006;3(1):53–67. (In Russ.)]
18. Мироносецкий Н. Б., Кирина Л. В., Кузнецова С. А. Модели управления научно-техническим прогрессом на предприятии / Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1988. 153 с. [Mironosetsky N. B., Kirina L. V., Kuznetsova S. A. Models of managing scientific and technical progress at the enterprise / Novosibirsk: Science. Sib. otd. 1988. 153 p. (In Russ.)]
19. Троцкий М., Груча Б., Огонек К. Управление проектами / М.: Финансы и статистика. 2006. 301 с. [Trotsky M., Grucha B., Ogonek K. Project Management / M.: Finance and Statistics. 2006. 301 p. (In Russ.)]
20. Колданов А. П., Колданов П. А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник. М.: Изд. дом Высшей школы экономики. 2023. 245 с. [Koldanov A. P., Koldanov P. A. Probability theory and mathematical statistics: Textbook. M.: Ed. house of the Higher School of Economics. 2023. 245 p. (In Russ.)]
21. Trietsch D. PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century // *International Journal of Project Management*. 2012;30(4):490–502
22. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности: научное издание / В. М. Аньшин [и др.].— М.: Изд. центр МАТИ. 2008. 191 с. ISBN 978-5-93271-415-7 [Models of project portfolio management in conditions of uncertainty: scientific publication / V. M. Anshin [et al.]. M.: ed. MATI Center. 2008. 191 p. ISBN 978-5-93271-415-7. (In Russ.)]
23. Wang J., Hwang W.-L. A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model // *Omega*, Elsevier, vol. 35(3), pages 247–257
24. Chiu, Chui-Yu and Chan S. Park. Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion. *The Engineering Economist*. 39 (1994):113–138.

25. Демкин И.В. Оценка риска прекращения инновационного проекта на основе кумулятивной теории проспектов // Труды Вольного экономического общества России. 2006. Т. 74. С. 96–103 [Demkin I. V. Risk Assessment of Termination of Innovation Project Based on Cumulative Prospectus Theory // Scientific Works of the Free Economic Society of Russia. 2006;74:96–103. (In Russ.)]
26. Энциклопедия финансового риск-менеджмента / под ред. А. А. Лобанова, А. В. Чугунова. М.: Альпина Бизнес Букс. 2006. 703 с. [Encyclopedia of financial risk management / ed. by A. A. Lobanova, A. V. Chugunova. M.: Alpina Business Books. 2006. 703 p. (In Russ.)]
27. ГОСТ Р 54869–2011 Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089604> [GOST R 54869-2011. Project management. Requirements for project management / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089604>. (In Russ.)]
28. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов / В.Е. Гмурман. 10-е изд., стер. М.: Высш. Шк., 2004. 479 с. [Probability theory and mathematical statistics: study manual for universities / V.E. Gmurman. 10th ed., M.: Vysch. Shk., 2004. 479 p. (In Russ.)]
29. Акимов В. А. Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения / В. А. Акимов, А. А. Быков, Е. Ю. Щетинин; МЧС России; Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2009. 536 с. ISBN 978-5-93970-037-5 [Akimov V.A. Introduction to the statistics of extreme values and its applications / V.A. Akimov, A. A. Bykov, E. Yu. Shchetinin; EMERCOM of Russia; All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the Russian Emergencies Ministry. M.: VNI GOChS (FC). 2009. 536 p. ISBN 978-5-93970-037-5. (In Russ.)]
30. Быков А. А. Статистический анализ урегулирования убытков по программам имущественного страхования:

рекомендации для страхователей и риск-менеджеров крупных компаний / А. А. Быков. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. 242 с. [Bykov A. A. Statistical analysis of the settlement of losses under property insurance programs: recommendations for insurers and risk managers of large companies / A. A. Bykov. M.: Gazprom VNIIGAZ, 2014. 242 p. (In Russ.)]

## Сведения об авторах

**Демкин Игорь Вячеславович:** доктор экономических наук, начальник лаборатории, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Количество публикаций: более 80, в т.ч. монографий — 2, учебных изданий — 10

Область научных интересов: управление риском, управление проектами, логико-вероятностное моделирование

*Контактная информация:*

Адрес: 142717, Россия, Московская обл., г.о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1

[i.demkin@mail.ru](mailto:i.demkin@mail.ru)

**Ковалев Сергей Андреевич:** кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Количество публикаций: более 70

Область научных интересов: управление риском, механизмы проявления рисков событий, безопасность человека и окружающей среды, логико-вероятностное моделирование

*Контактная информация:*

Адрес: 142717, Россия, Московская обл., г. о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1

[s.kovalev2006@mail.ru](mailto:s.kovalev2006@mail.ru)

**Митченко Антон Александрович:** младший научный сотрудник, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Количество публикаций: 0

Область научных интересов: управление риском

*Контактная информация:*

Адрес: 142717, Московская область, г.о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1

[antileo00@yandex.ru](mailto:antileo00@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию: 28.12.2023

Одобрена после рецензирования: 18.03.2024

Принята к публикации: 20.03.2024

Дата публикации: 26.04.2024

*The article was submitted: 28.12.2023*

*Approved after reviewing: 18.03.2024*

*Accepted for publication: 20.03.2024*

*Date of publication: 26.04.2024*

УДК 519.213  
Научная специальность: 1.2.2

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Калибровка распределения $S_U$ -Джонсона будущей цены базового актива на основе цен опционов

**Арбузов П.А.\*,**  
**Голембиовский Д.Ю.,**  
Московский государственный  
университет  
имени М.В. Ломоносова,  
119991, Россия, г. Москва,  
Ленинские горы, д. 1

## Аннотация

Исследование посвящено прогнозированию базового актива опционов на основе их рыночных котировок. Рыночные цены опционов отражают ожидания участников торгов о будущей динамике базового актива. В статье рассмотрено, как от реальных цен опционов перейти к вероятностному распределению будущей цены базового актива, а также приведены статистические исследования точности полученных распределений.

**Ключевые слова:** опционы; прогнозирование; риск-нейтральность; чувствительность к риску; вероятностные распределения.

**Для цитирования:** Арбузов П.А., Голембиовский Д.Ю. Калибровка распределения  $S_U$ -Джонсона будущей цены базового актива на основе цен опционов // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 2. С. 78–93.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

# Calibration of Johnson- $S_U$ Distribution of Future Price of Underlying Asset Based on Option Prices

Peter A. Arbuzov\*,  
Dmitry Yu. Golembiovsky,  
Lomonosov Moscow State  
University,  
Leninskie Gory, 1, Moscow,  
119991, Russia

## Abstract

The study focuses on forecasting the underlying asset of options based on their market quotes. Market prices of options reflect the expectations of traders about future dynamics of the underlying asset. The paper considers how to transition from real option prices to a probability distribution of the future price of the underlying asset and provides statistical studies of the accuracy of the obtained distributions.

**Keywords:** options; forecasting; risk neutrality; risk sensitivity; probabilistic distributions.

**For citation:** Arbuzov P.A., Golembiovsky D.Yu. Calibration of Johnson- $S_U$  distribution of future price of underlying asset based on option prices // Issues of Risk Analysis. 2024;21(2):78-93. (In Russ.)

**The authors declare no conflict of interest.**

## Содержание

Введение

1. Ценообразование опционов
2. Подразумеваемая волатильность
3. Подразумеваемое распределение стоимости базового актива
4. Построение подразумеваемого распределения на реальных данных
5. Переход от риск-нейтрального распределения к физическому распределению
6. Статистические исследования точности метода

Заключение

Список источников

## Введение

В статье рассматривается возможность прогнозирования цены базового актива опционов на основе информации, содержащейся в их рыночных котировках. Рыночные цены опционов зачастую отличаются от цен, предполагаемых теоретическими моделями. Это означает, что у участников рынка есть свое представление о будущем распределении стоимости базового актива.

Рыночные цены опционов определяют подразумеваемую волатильность базового актива, которая может отличаться от исторической волатильности. Значения подразумеваемой волатильности опционов различных страйков формируют так называемую улыбку волатильности [1].

В статье показано, как от кривой подразумеваемой волатильности перейти к подразумеваемому риск-нейтральному распределению будущей цены базового актива. Затем на основе риск-нейтрального распределения и предположения о том, что агент имеет степенную функцию полезности, строится физическое распределение будущей стоимости базового актива [17, 18]. Задача построения риск-нейтральной плотности распределения будущей стоимости базового актива исследуется во множестве научных работ. Методы решения этой задачи могут быть разделены на две основные категории: параметрические и непараметрические [7].

Параметрические методы основаны на предположении о том, что риск-нейтральная плотность распределения стоимости актива в момент экспирации опциона принадлежит некоторому известному распределению или семейству распределений. Одним из известных предположений является то, что будущая стоимость актива распределена логнормально [1]. Именно такое распределение подразумевает модель Блэка-Шоулза, однако исследования показывают, что на некоторых рынках смеси двух или трех логнормальных распределений могут давать более точную оценку распределения [4, 8–10]. Параметры распределений подбираются таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов разностей между рассчитываемыми и рыночными ценами опционов.

В свою очередь, модели, основанные на непараметрических методах, могут выдавать более гибкий результат оценки распределения будущей стоимости актива, с более высокой точностью соответствия наблюдаемым ценам опционов. На форму плотности вероятностного распределения не накладываются

ограничения ввиду отсутствия предположений о его виде или принадлежности какому-либо семейству. Непараметрические методы решения поставленной задачи могут существенно отличаться друг от друга. Так, например, некоторые модели восстанавливают распределение будущей цены по подразумеваемым биномиальным деревьям [12], а другие основаны на методах максимальной энтропии [13] или ядерных методах [14]. Также одним из популярных непараметрических методов является метод сглаживания улыбки подразумеваемой волатильности [3, 4, 11, 15]. На основе сглаженной улыбки подразумеваемой волатильности восстанавливаются цены опционов для тех значений страйков, по которым не ведутся торги. Затем по полученным ценам опционам строится подразумеваемая риск-нейтральная плотность будущей стоимости базового актива. Исследования показывают, что сглаживание улыбки волатильности дает более точное соответствие рыночным ценам опционов в сравнении со сглаживанием кривой стоимости опционов в зависимости от страйка [3, 4].

Отличие этой работы от предыдущих исследований заключается в том, что в ней представлен метод, основанный на комбинации параметрического и непараметрического подходов. Предполагается, что риск-нейтральная и физическая логарифмические доходности базового актива распределены по закону  $S_V$ -Джонсона, чьи параметры калибруются соответственно подразумеваемому риск-нейтральному распределению и подразумеваемым физическим распределениям будущей цены базового актива, построенным на основе сглаженной улыбки волатильности [2, 3]. Распределение  $S_V$ -Джонсона — модификация нормального распределения, задаваемая четырьмя параметрами и имеющая тяжелые хвосты. Использование данного распределения позволяет дать достаточно точную оценку вероятностей экстремальных значений доходности базового актива и описать широкий спектр форм плотности вероятности.

В работе используется сглаживание кривой волатильности с помощью полинома пятой степени. Далее показано, как перейти от риск-нейтрального распределения будущей стоимости базового актива к физическому в предположении, что агент имеет степенную функцию полезности для различных значений коэффициента чувствительности к риску. На основе полученных подразумеваемых риск-нейтрального

и физического распределений будущей цены базового актива подбираются наборы параметров распределений  $S_J$ -Джонсона.

Представлено статистическое исследование точности полученных распределений будущей цены базового актива по историческим данным. Рассматриваются значения индекса акций NIFTY 50 и колл опционов на этот индекс за период с марта 2018 г. по март 2023 г. Проводится тест Црнковича-Драхмана для проверки точности построенных распределений [5, 16] для различных значений параметра чувствительности к риску.

## 1. Ценообразование опционов

В статье анализируются европейские опционы, которые могут быть исполнены только в момент экспирации. Одной из наиболее популярных моделей ценообразования европейских опционов является модель Блэка-Шоулза [1]. Например, с помощью этой модели определяются теоретические цены опционов на акции и индексы акций для доски опционов на Московской бирже [6].

Модель Блэка-Шоулза предполагает, что динамика базового актива следует закону геометрического броуновского движения:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz,$$

где:

$S$  — это цена базового актива;

$\mu$  — коэффициент сноса;

$\sigma$  — волатильность базового актива;

$dz$  — нормальный белый шум. При таком законе динамики логарифмическая доходность базового актива будет иметь нормальное распределение.

В соответствии с моделью Блэка-Шоулза цены европейских опционов колл и пут определяются формулами:

$$\begin{aligned} c_e &= S\Phi(d_1) - Ke^{-rt}\Phi(d_2); \\ p_e &= Ke^{-rt}\Phi(-d_2) - S\Phi(-d_1); \\ d_1 &= \frac{\ln(S/K) + rt}{\sigma\sqrt{t}} + \frac{1}{2}\sigma\sqrt{t}; \\ d_2 &= \frac{\ln(S/K) + rt}{\sigma\sqrt{t}} - \frac{1}{2}\sigma\sqrt{t}, \end{aligned}$$

где:

$c_e$  и  $p_e$  — цены европейских опционов колл и пут;

$S$  — цена спот базового актива;

$K$  — страйк опциона;

$t$  — время до экспирации опциона;

$\sigma$  — волатильность базового актива;

$r$  — непрерывная безрисковая процентная ставка;

$\Phi$  — функция стандартного нормального закона распределения.

## 2. Подразумеваемая волатильность

Однако рыночные цены опционов нередко отличаются от цен, предполагаемых теоретическими моделями. Это говорит о том, что у участников рынка есть свое представление о распределении будущей стоимости базового актива. На рисунке 1 представлено сравнение рыночных и теоретических цен, рассчитанных по модели Блэка-Шоулза опционов сроком экспирации один месяц на индекс акций NIFTY 50 за 4 мая 2018 г. [19] при текущей цене индекса, равной 10618 пунктам.

Из рисунка 1 видно, что рыночные цены опционов могут быть как выше, так и ниже цен опционов, определяемых теоретической моделью. В работе при расчете теоретических цен опционов использовалась модель Блэка-Шоулза с историческим значением волатильности базового актива за предшествующий год.

В свою очередь рыночные цены опционов определяют так называемую подразумеваемую волатильность. Подразумеваемая волатильность — это такое значение волатильности, при подстановке которого в формулу расчета стоимости опциона будет получена его текущая рыночная стоимость. Значения подразумеваемой волатильности могут отличаться от значений исторической волатильности и даже могут различаться для одних и тех же опционов в зависимости от страйка. Значения подразумеваемой волатильности в зависимости от страйка формируют кривую, которую называют улыбкой волатильности из-за ее формы, напоминающей улыбку. На рисунке 2 представлена улыбка волатильности опционов, цены которых даны на рис. 1.

## 3. Подразумеваемое распределение стоимости базового актива

Еще в конце 80-х годов прошлого века был представлен метод построения риск-нейтрального вероятностного распределения будущей стоимости базового актива на основе цен колл опционов [2]. Приведем метод построения плотности этого вероятностного распределения на основе цен опционов колл или цен опционов пут.

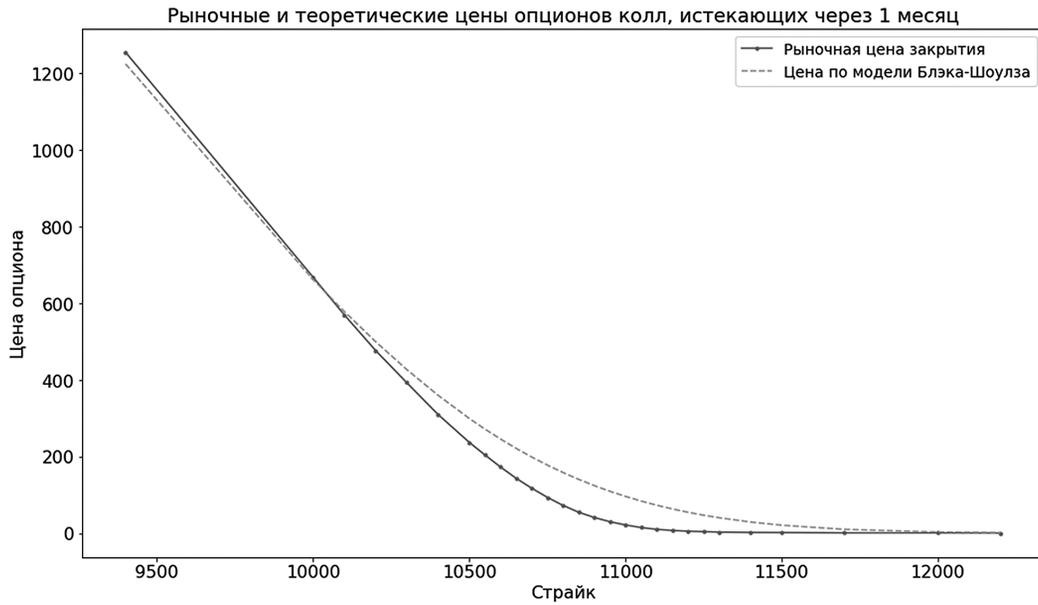


Рис. 1. Сравнение рыночных и теоретических цен опционов

Figure 1. Comparison of market and theoretical option prices



Рис. 2. Улыбка волатильности

Figure 2. Volatility smile

Цены европейских опционов колл и пут со страйком  $K$  и сроком действия  $T$  определяются дисконтированным ожидаемым значением выплаты по опциону и равны:

$$c_e = e^{-rT} \int_{S_T=K}^{\infty} (S_T - K) g(S_T) dS_T;$$

$$p_e = e^{-rT} \int_{S_T=0}^K (K - S_T) g(S_T) dS_T,$$

где:

$S_T$  — значение стоимости базового актива в момент экспирации опциона,

$g$  — риск-нейтральная плотность вероятности распределения стоимости базового актива в момент экспирации опциона.

Дифференцируя эти выражения по переменной страйка  $K$ , получаем:

$$\frac{\partial c_e}{\partial K} = -e^{-rT} \int_{S_T=K}^{\infty} g(S_T) dS_T;$$

$$\frac{\partial p_e}{\partial K} = e^{-rT} \int_{S_T=0}^K g(S_T) dS_T.$$

Повторно дифференцируя выражения по страйку  $K$ , приходим к выводу, что:

$$\frac{\partial^2 c_e}{\partial K^2} = e^{-rT} g(K);$$

$$\frac{\partial^2 p_e}{\partial K^2} = e^{-rT} g(K).$$

Отсюда следует, что плотность вероятности  $g$  можно вычислить так:

$$g(K) = e^{rT} \frac{\partial^2 c_e}{\partial K^2};$$

$$g(K) = e^{rT} \frac{\partial^2 p_e}{\partial K^2}.$$

Тогда для определения риск-нейтральных распределений вероятностей можно воспользоваться разностной схемой для аппроксимации второй производной. Пусть  $c_1$ ,  $c_2$  и  $c_3$  — цены европейских опционов колл со сроком экспирации  $T$  и страйками  $K - \delta$ ,  $K$  и  $K + \delta$ , соответственно. Предполагая, что величина  $\delta$  мала, получаем следующую оценку плотности вероятности  $g$ :

$$g(K) = e^{rT} \frac{c_1 + c_3 - 2c_2}{\delta^2}. \quad (1)$$

Формула (1) дает вероятность того, что в момент экспирации опциона стоимость базового актива будет равна  $K$ . Аналогично можно определить вероятность стоимости базового актива в момент экспирации опционов на основе цен опционов пут.

#### 4. Построение подразумеваемого распределения на реальных данных

Представленный выше метод не даст корректного результата на рыночных котировках опционов без дополнительных преобразований ввиду дискретности страйков торгуемых опционов. Например, на индекс акций NIFTY 50 к торгам доступны опционы с шагом страйка 50 пунктов для опционов у денег, с шагом 100 и более пунктов для опционов глубоко вне денег или глубоко в деньгах, когда сам индекс исторически торгуется в диапазоне приблизительно от 8000 до 19000 пунктов. Такое расстояние между точками на кривой цен опционов недостаточно мало для построения точной аппроксимации второй производной цены.

Сглаживание и интерполяция кривой стоимостей опционов могут решить данную проблему. Исследования показали, что более точный результат дает сглаживание улыбки волатильности с последующим определением цен опционов на основе полученных значений волатильности [3, 4].

В работе представлены результаты исследования, проводившегося на данных об опционах на индекс NIFTY 50 за период с марта 2018 г. по март 2023 г. На рисунке 3 показана история цен индекса в указанный период времени.

Для построения улыбок волатильности и подразумеваемых распределений цены актива использовались цены закрытия торгов по опционам колл, по которым в рассматриваемый день проводились сделки. В связи с тем, что ликвидность опционов некоторых страйков может быть мала в течение дня, а значение индекса может изменяться внутри дня, цены закрытия создают неточности в данных, что может привести к ошибкам при построении подразумеваемого распределения.

Алгоритм построения подразумеваемых распределений будущих цен базового актива состоит из следующих шагов:

1. Построение улыбок волатильности.
2. Сглаживание улыбок волатильности.
3. Построение подразумеваемых распределений.



Рис. 3. История цен индекса NIFTY 50

Figure 3. NIFTY 50 index price history

4. Отбор подходящих распределений.
5. Переход к физическим распределениям.
6. Аппроксимация построенных плотностей вероятности известным распределением.

На первом шаге алгоритма необходимо построить улыбку волатильности на основе цен опционов, торгуемых в рассматриваемый день. Для этого для каждого опциона необходимо вычислить значение подразумеваемой волатильности. В связи с отсутствием аналитической формулы подразумеваемой волатильности в модели Блэка-Шоулза доступным способом ее вычисления являются численные методы. Заметим, что цены опционов колл и пут монотонно возрастают относительно волатильности. Для вычисления подразумеваемой волатильности можно воспользоваться, например, методом градиентного спуска.

На втором шаге алгоритма необходимо сгладить улыбку волатильности для получения возможности применения формулы (1) для построения плотности подразумеваемого распределения. В качестве способа сглаживания был выбран метод сглаживания полиномом пятой степени. При построении подразумеваемых распределений для цепочек опционов с различными датами экспирации этот метод дал большое количество подходящих распределений, об отборе которых рассказывается на четвертом шаге алгоритма. На рисунке 4

представлен пример сравнения метода сглаживания полиномом пятой степени с методом интерполяции кубическими сплайнами, который использовался в некоторых исследованиях [3, 4].

На третьем шаге алгоритма производится расчет цен опционов на основе сглаженной улыбки волатильности по формуле Блэка-Шоулза. Полученные цены опционов используются для построения плотности вероятности распределения будущей цены базового актива по формуле (1).

На четвертом шаге алгоритма производился отбор подходящих распределений: площадь под построенной кривой плотности вероятностного распределения должна быть равна 1.

В качестве порогового значения для определения подходящих распределений было выбрано значение 0.99. Все распределения, площадь под графиком которых была выше порогового значения, были задействованы для дальнейших расчетов, остальные были отброшены.

Зашумленность данных может привести к тому, что в результате расчета по формуле (1) значение плотности вероятности в конкретных точках может принимать отрицательные значения. В этом случае значение плотности вероятности в этих точках предвзято принималось равным нулю.

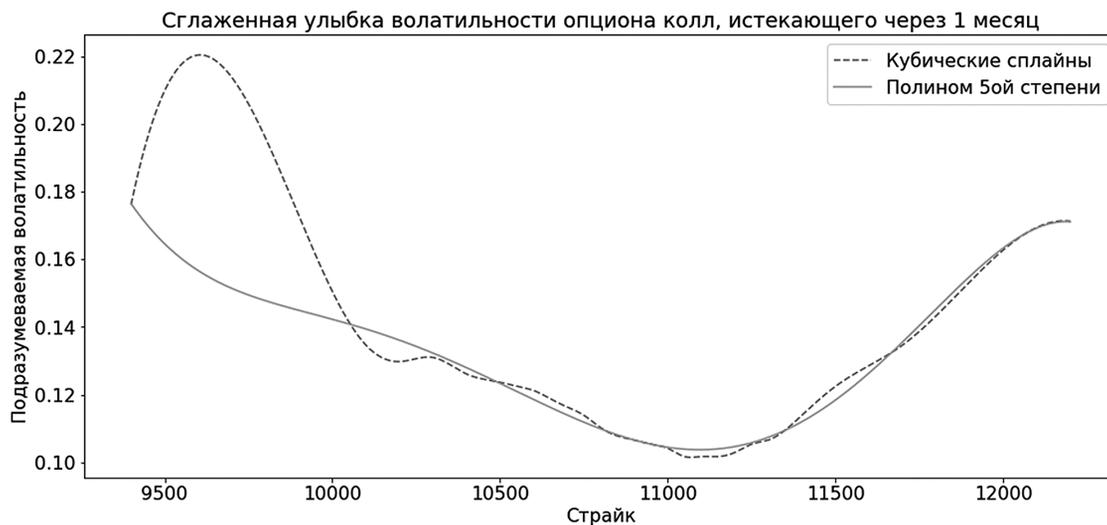


Рис. 4. Сглаженная улыбка волатильности

Figure 4. Smoothed volatility smile

На пятом шаге алгоритма производился переход от риск-нейтральной плотности вероятности к физическим плотностям вероятности для различных значений степени чувствительности к риску. Подробнее о процессе перехода к физическим распределениям будет рассказано в следующем разделе работы.

В связи с тем, что в результате расчета были получены кривые, площадь под графиками которых в общем случае не равняется единице, диапазон возможных будущих стоимостей базового актива ограничен диапазоном страйков опционов.

На шестом шаге алгоритма было решено аппроксимировать полученные плотности вероятности известным распределением. Для аппроксимации было выбрано распределение  $S_U$ -Джонсона. Распределение  $S_U$ -Джонсона — это модификация нормального распределения, имеющая тяжелые хвосты.

$$Y \sim JSU(\xi, \lambda, \gamma, \delta);$$

$$Y = \xi + \lambda \sinh\left(\frac{X - \gamma}{\delta}\right),$$

где  $X \sim N(0,1)$ .

Такое распределение может подойти для описания доходности активов на финансовых рынках, что

подтверждается проведенными статистическими исследованиями, о которых будет рассказано далее. На рисунке 5 представлены подразумеваемая и аппроксимированная плотности вероятности логарифмированной доходности базового актива — логарифма отношения стоимости базового актива в момент экспирации опциона к его стоимости в день торгов, построенные на данных об опционах сроком экспирации один месяц. Оценка параметров распределения  $S_U$ -Джонсона производилась методом максимального правдоподобия: для всех возможных значений страйков опционов, взятых с шагом 0,2 пункта, в выборку добавлялись наблюдения соответствующей доходности в количестве, равном значению плотности, умноженном на 100. В результате такого подхода для каждого подразумеваемого распределения будущей стоимости базового актива была сгенерирована выборка доходностей, частотное распределение которой соответствует рассматриваемому подразумеваемому распределению.

Таким образом, в результате работы алгоритма для каждого набора опционов одного срока для каждого торгового дня будут получены параметры распределения  $S_U$ -Джонсона, описывающего распределение стоимости базового актива в момент экспирации опциона, для различных значений чувствительности агента к риску.

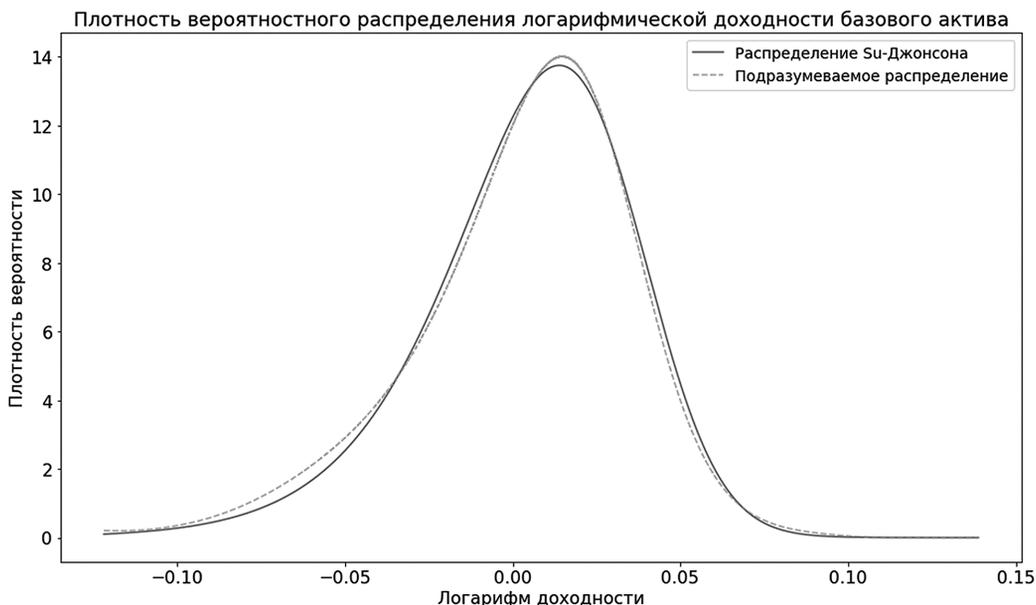


Рис. 5. Плотность вероятности логарифмической доходности базового актива

Figure 5. Probability density of logarithmic yield of the underlying asset

### 5. Переход от риск-нейтрального распределения к физическому распределению

До этого момента оценка стоимости опционов и построение распределений будущей стоимости базового актива производились нами в риск-нейтральной вероятностной мере, соответствующей ожиданиям инвесторов, нейтральных к риску. Однако риск-нейтральное распределение будущей цены актива далеко не всегда может давать хорошее представление о его будущей динамике, так как участники торгов зачастую не нейтральны к риску. В этом случае необходимо произвести переход к физической вероятностной мере, которая будет отражать настроение инвесторов, связанное с их чувствительностью к риску и неопределенностью будущих цен [16].

Для того чтобы отразить чувствительность агента к риску, необходимо ввести его функцию полезности. Одной из часто используемых функций полезности является степенная функция [17], имеющая вид:

$$\begin{cases} u(x) = \frac{x^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma}, \gamma \geq 0, \gamma \neq 1 \\ u(x) = \ln(x), \gamma = 1 \end{cases}$$

Здесь  $x$  в нашем случае — это стоимость базового актива в момент экспирации опциона, а параметр  $\gamma$  отражает чувствительность агента к риску. Чем выше значение параметра, тем более чувствителен агент к риску. При значении параметра, равном нулю, агент является нейтральным к риску. Так же эта функция полезности обладает свойством постоянности относительной чувствительности к риску (Relative Risk Aversion — RRA [18]), которая равняется значению параметра  $\gamma$ :

$$RRA(x) = -x \cdot \frac{u''(x)}{u'(x)} = \gamma.$$

Постоянность относительной чувствительности к риску часто можно интерпретировать так, что процесс принятия решений не зависит от объема средств. Например, это означает, что доля благосостояния, вкладываемая в рисковый актив, не будет зависеть от его стоимости.

Для перехода к физической плотности вероятности необходимо ввести стохастический показатель дисконтирования  $M(S_T)$ , который отражает чувствительность инвесторов к риску. В этом случае стоимость европейского опциона колл определяется как ожидаемая в физической вероятностной мере выплата

по опциону с учетом стохастического показателя дисконтирования [16, 17]:

$$c_e = E^P [M(S_T) \max(S_T - K, 0)] = \int_K^\infty M(x)(x - K) \tilde{g}(x) dx,$$

где  $\tilde{g}(x)$  — соответствующая физическая плотность вероятности будущей стоимости базового актива, а  $P$  — физическая вероятностная мера.

Тогда с учетом определения цены опциона в риск-нейтральной мере, представленной ранее, получаем:

$$M(x) = e^{-rT} \frac{g(x)}{\tilde{g}(x)},$$

где  $g(x)$  — риск-нейтральная плотность вероятности будущей стоимости базового актива.

Также было показано, что стохастический показатель дисконтирования должен быть пропорционален предельной полезности агента [21]:

$$M(x) = \lambda \frac{du}{dx}.$$

Тогда с учетом необходимости нормировать плотность вероятности таким образом, чтобы ее интеграл

был равен 1, можно установить связь между физической и риск-нейтральной плотностями вероятности следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{g}(x) &= \frac{e^{-rT} g(x) / M(x)}{\int e^{-rT} g(y) / M(y) dy} = \frac{g(x) / \lambda u'(x)}{\int g(y) / \lambda u'(y) dy} = \\ &= \frac{g(x) / u'(x)}{\int g(y) / u'(y) dy}. \end{aligned}$$

Откуда, с учетом того, что для степенной функции полезности и показателя чувствительности к риску  $\gamma, u'(x) = x^{-\gamma}$ , получаем:

$$\tilde{g}(x) = \frac{x^\gamma g(x)}{\int_0^\infty y^\gamma g(y) dy}.$$

Переход от аппроксимированных риск-нейтральных плотностей вероятностей к физическим производился численно для всех возможных промежуточных значений будущей стоимости базового актива с шагом 0,2 пункта. Аппроксимация значения интеграла — знаменателя формулы перехода производилась методом трапеций.

На рисунках 6 и 7 представлены примеры результатов перехода от риск-нейтральной

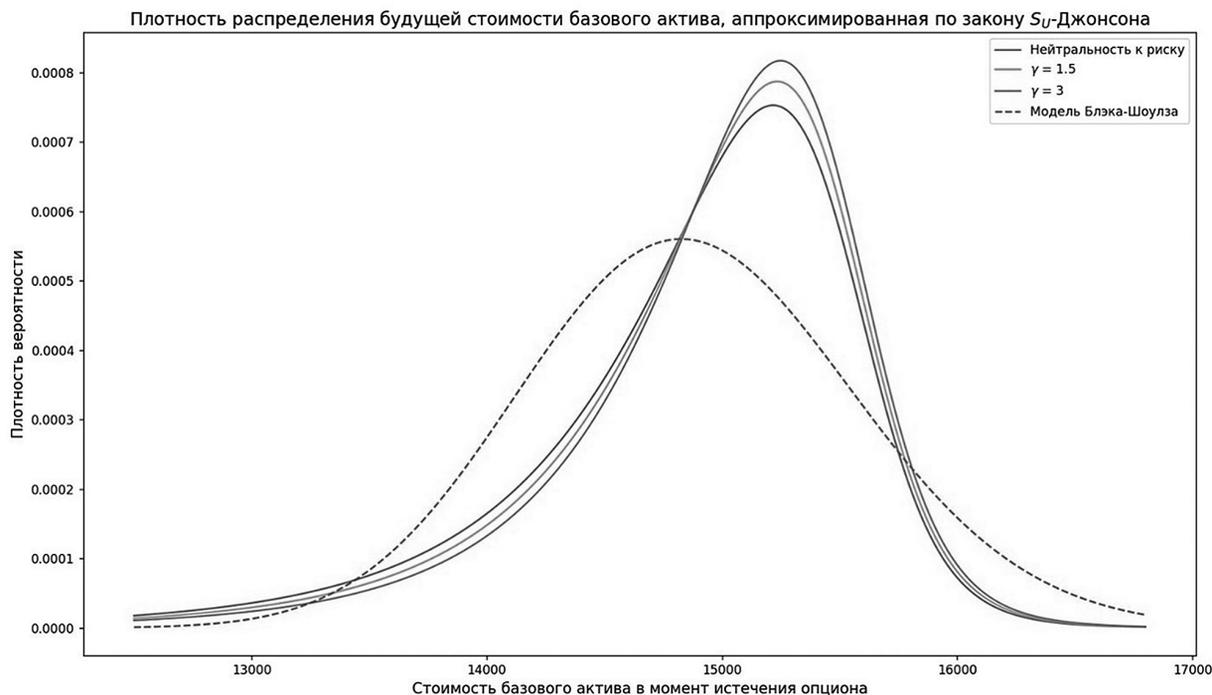


Рис 6. Риск-нейтральная и физическая плотности вероятности будущей стоимости базового актива, рассчитанные по данным об опционах, истекающих через три недели

Figure 6. Risk-neutral and physical probability densities of the future value of the underlying asset calculated from options expiring after in three weeks

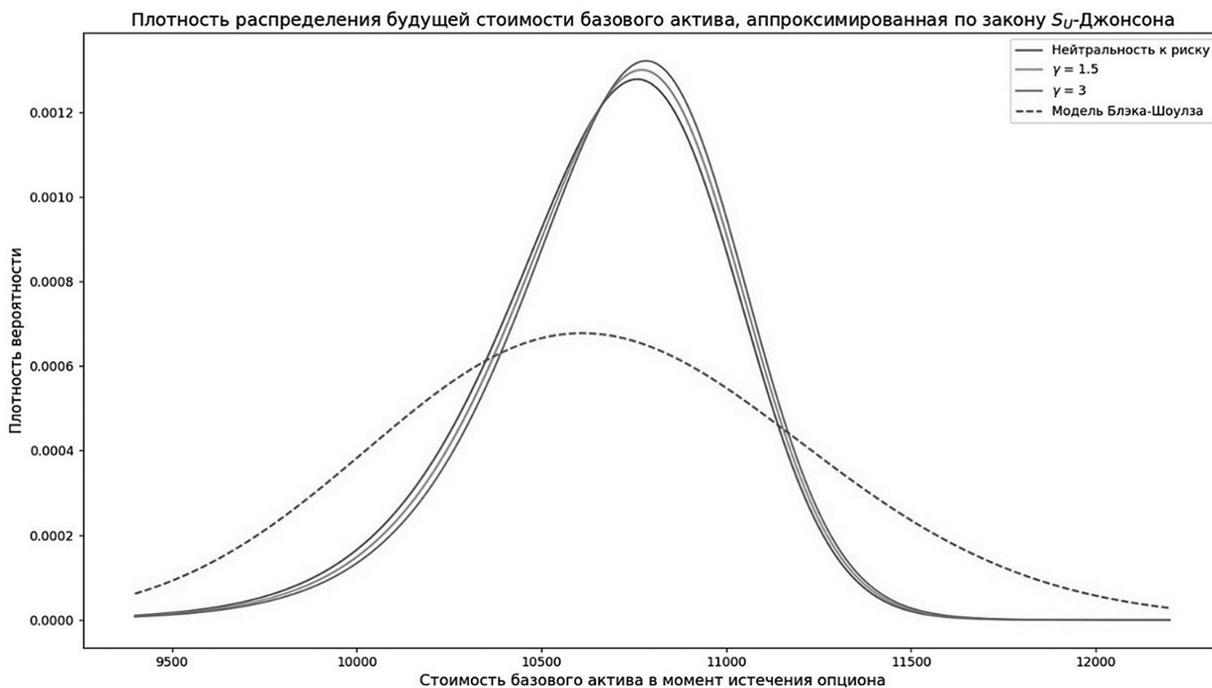


Рис. 7. Риск-нейтральная и физическая плотности вероятности будущей стоимости базового актива, рассчитанные по данным об опционах, истекающих через один месяц

Figure 7. Risk-neutral and physical probability densities of the future value of the underlying asset calculated from options expiring in one month

плотности к физической для значений параметра  $\gamma$ , равных 1,5 и 3, построенных на данных об опционах за 9 апреля 2021 г., истекающих через три недели, и данных об опционах за 4 мая 2018 г., истекающих через один месяц, в сравнении

с плотностью вероятности, предполагаемой моделью Блэка-Шоулза.

В таблицах 1 и 2 приведены значения параметров распределений  $S_U$ -Джонсона, изображенных на рисунках 6 и 7, соответственно.

Таблица 1. Параметры распределений  $S_U$ -Джонсона, представленных на рис. 6

Table 1. Parameters of Johnson- $S_U$  distributions shown in figure 6

Чувствительность к риску	Значение параметра $\xi$	Значение параметра $\lambda$	Значение параметра $\gamma$	Значение параметра $\delta$
$\gamma = 0$	0.0535	0.0369	1.395	1.437
$\gamma = 1.5$	0.0519	0.0371	1.284	1.442
$\gamma = 3$	0.0509	0.0375	1.194	1.461

Таблица 2. Параметры распределений  $S_U$ -Джонсона, представленных на рис. 7

Table 2. Parameters of Johnson- $S_U$  distributions shown in figure 7

Чувствительность к риску	Значение параметра $\xi$	Значение параметра $\lambda$	Значение параметра $\gamma$	Значение параметра $\delta$
$\gamma = 0$	0.0535	0.0369	1.395	1.437
$\gamma = 1.5$	0.0519	0.0371	1.284	1.442
$\gamma = 3$	0.0509	0.0375	1.194	1.461

## 6. Статистические исследования точности метода

Для проверки точности получаемых распределений было решено провести статистический тест Црнковича-Драхмана [5] для различных значений параметра чувствительности к риску. Данное статистическое тестирование заключается в сравнении наблюдаемого и предсказанного распределения доходности базового актива. Каждое наблюдаемое значение доходности рассматривается как квантиль предсказанного распределения, и если модель достаточно хороша, то уровни соответствующих квантилей будут иметь равномерное распределение и будут независимы друг от друга. Для проверки соответствия равномерному распределению используется критерий согласия Колмогорова-Смирнова. Проверка

независимости наблюдаемых уровней квантилей проводилась с помощью статистического теста BDS, названного в честь авторов Брока, Дехерта и Шайнкмана [20].

Как было сказано ранее, тестирование проводилось на данных об опционах колл на индекс NIFTY 50 за период с марта 2018 г. по март 2023 г. Рассматривались опционы сроками 1 месяц, 3 недели, 1 неделя и 1 день.

На рисунках 8 и 9 представлены примеры распределения уровней квантилей риск-нейтральных и физических распределений в сравнении с равномерным распределением.

В таблицах 3 и 4 представлены результаты теста Колмогорова-Смирнова. Значением статистики является максимальная разность между построенной

Наблюдаемое распределение квантилей для опционов колл, истекающих через 1 неделю

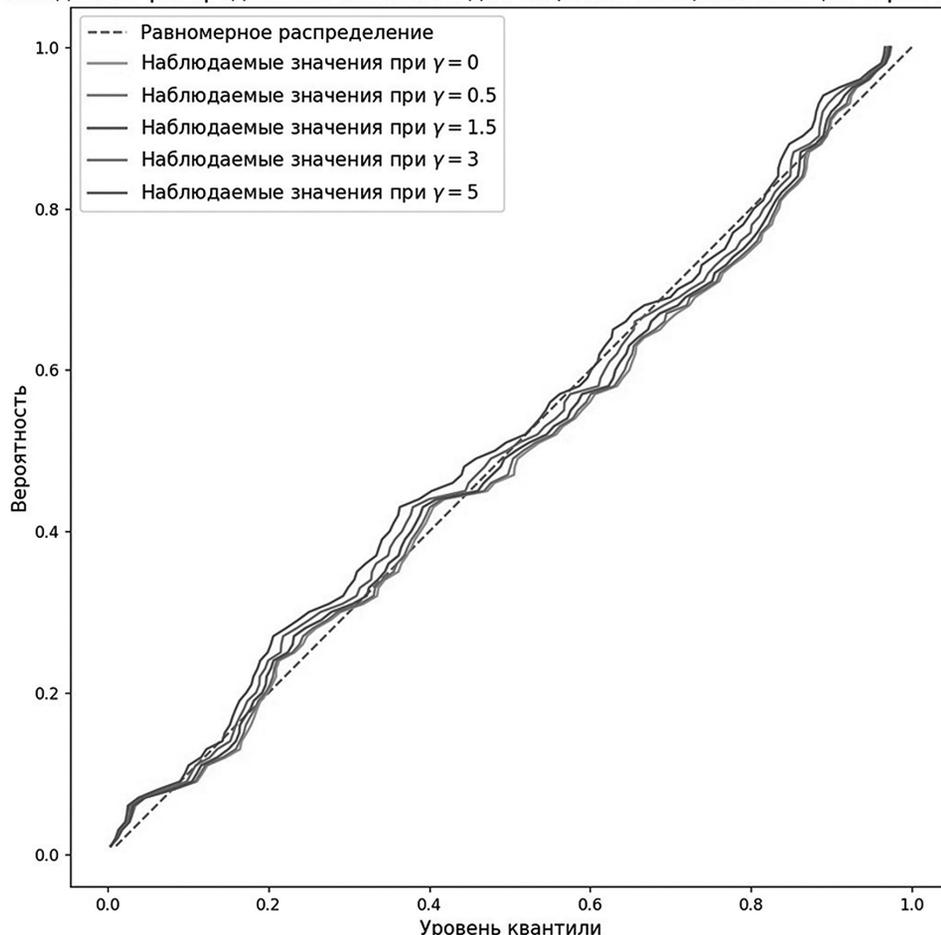


Рис. 8. Распределение уровней квантилей для опционов колл, истекающих через 1 неделю

Figure 8. Distribution of quantile levels for call options expiring in 1 week

Наблюдаемое распределение квантилей для опционов колл, истекающих через 1 месяц

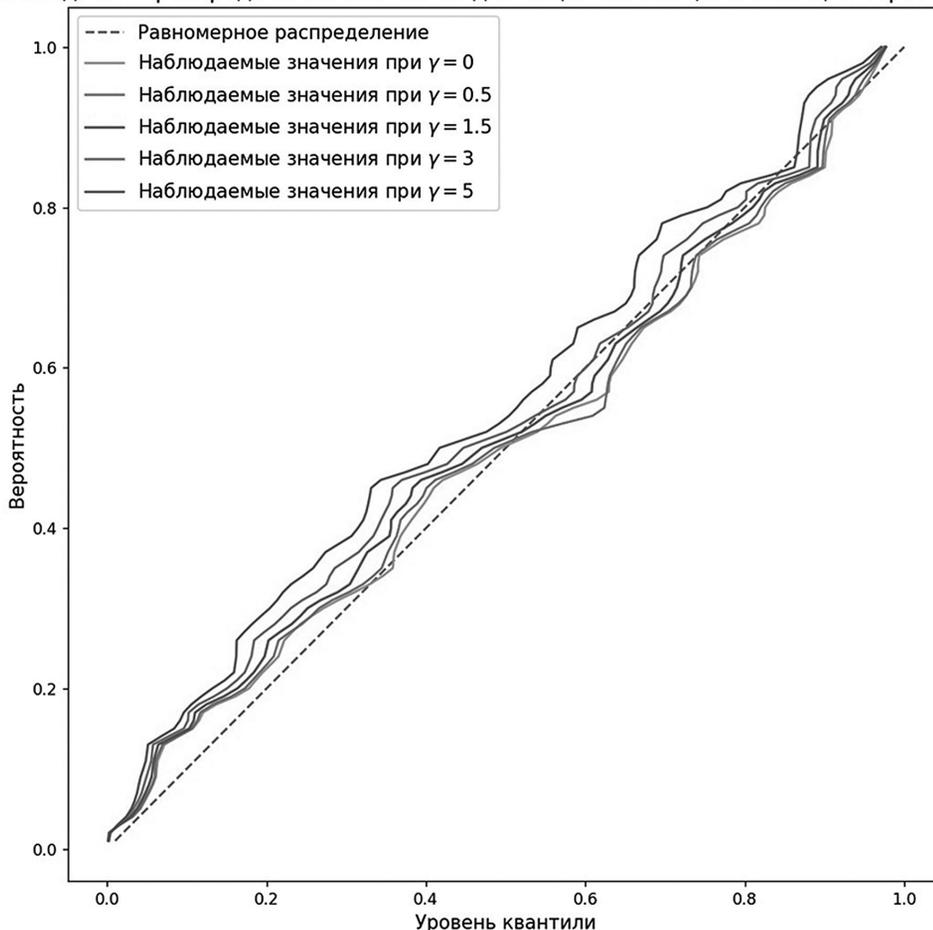


Рис. 9. Распределение уровней квантилей для опционов колл, истекающих через 1 месяц

Figure 9. Distribution of quantile levels for call options expiring in 1 month

функцией распределения квантилей и равномерным распределением при одинаковых значениях случайной величины. В таблице 5 приведены  $p$ -значения, полученные в результате проведения теста BDS.

Как видно из табл. 4 и 5, для всех рассмотренных сроков опционов значение  $p$ -value значительно превышает 5%, а значит нельзя отбросить нулевые гипотезы о том, что построенное распределение перцентилей совпадает с равномерным, и наблюдаемые уровни квантилей независимы, что подтверждает точность используемого алгоритма.

Из таблицы 3 видно, что в большинстве случаев наименьшие значения статистики тестирования достигаются при значении параметра  $\gamma$ , равном нулю,

что говорит о слабой чувствительности участников торгов к риску. Это может быть связано с небольшими сроками экспирации рассматриваемых опционов и особенностями базового актива.

### Заключение

В работе был представлен метод построения подразумеваемого риск-нейтрального и физического распределения будущей стоимости базового актива на основе рыночных цен опционов при возможной их зашумленности. Представленный метод является комбинацией непараметрического подхода, основанного на идее сглаживания улыбки волатильности, и предположения о том, что риск-нейтральная

**Таблица 3. Результаты статистического тестирования. Тест Колмогорова-Смирнова. Значения статистики**

Table 3. Statistical test results. Kolmogorov-Smirnov test. Statistics values

Срок опциона	Количество наблюдений	Значение статистики, $\gamma = 0$	Значение статистики, $\gamma = 0.5$	Значение статистики, $\gamma = 1.5$	Значение статистики, $\gamma = 3$	Значение статистики, $\gamma = 5$
1 месяц	47	<b>0.0769</b>	0.0907	0.0846	0.1090	0.1358
3 недели	51	<b>0.0953</b>	0.0959	0.1062	0.1208	0.1722
1 неделя	110	0.0597	0.0562	<b>0.0517</b>	0.0621	0.0758
1 день	127	<b>0.0560</b>	0.0580	0.0621	0.0703	0.0826

**Таблица 4. Результаты статистического тестирования. Тест Колмогорова-Смирнова. p-значения**

Table 4. Statistical test results. Kolmogorov-Smirnov test. p-values

Срок опциона	Количество наблюдений	p-value, $\gamma = 0$	p-value, $\gamma = 0.5$	p-value, $\gamma = 1.5$	p-value, $\gamma = 3$	p-value, $\gamma = 5$
1 месяц	47	<b>0.923</b>	0.800	0.860	0.592	0.321
3 недели	51	<b>0.837</b>	0.832	0.731	0.578	0.175
1 неделя	110	0.804	0.858	<b>0.915</b>	0.765	0.526
1 день	127	<b>0.800</b>	0.763	0.687	0.532	0.332

**Таблица 5. Результаты статистического тестирования. Тест BDS. p-значения**

Table 5. Statistical test results. Test BDS. p-values

Срок опциона	Количество наблюдений	p-value, $\gamma = 0$	p-value, $\gamma = 0.5$	p-value, $\gamma = 1.5$	p-value, $\gamma = 3$	p-value, $\gamma = 5$
1 месяц	47	0.409	0.317	0.386	0.324	0.731
3 недели	51	0.706	0.821	0.941	0.667	0.832
1 неделя	110	0.472	0.460	0.406	0.328	0.302
1 день	127	0.689	0.825	0.887	0.785	0.603

и физическая логарифмические доходности базового актива имеют распределение  $S_U$ -Джонсона. В работе было продемонстрировано, как от риск-нейтральной плотности вероятности будущей стоимости базового актива перейти к физической плотности вероятности в предположении степенной функции полезности агента.

Было проведено статистическое исследование эффективности представленного метода на исторических данных, проверяющее точность построенных риск-нейтральных и физических распределений будущей доходности базового актива, которое доказало применимость описанного подхода при различных условиях чувствительности агента к риску.

## Список источников [References]

- Hull J. C. Options, Futures and Other Derivative Securities. 8 ed. — Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall. 2011. 864 p.
- Breeden D. T., Litzenberger R. Prices of State-Contingent Claims Implicit in Option Prices // The Journal of Business. 1978;(4):621–651
- D. Shimko. Bounds of probability // Risk. 1993;6(4):33–37
- Han Lin Extracting information from option prices in the markets. 2019. 152 p.
- Statistical backtests based on the sizes of tail losses. Measuring Market risk by Kevin Dowd — 2002 — John Wiley & Sons Ltd.
- Методика расчета теоретической цены опциона и коэффициента «дельта». Действующая редакция (от 27.10.2023) — Файловая библиотека Московской Биржи — <https://fs.moex.com/files/4720> [The method of calculating the theoretical price of the option and the delta coefficient. Current edition (from 27.10.2023) — File Library of the Moscow Exchange — <https://fs.moex.com/files/4720>. (In Russ.)]
- Jackwerth J. C., 1996. Recovering risk aversion from option prices and realized return. UC Berkeley Haas School of Business Working Paper
- Gemmil G. and Saffekos, A., 2000. How useful are implied distributions? Evidence from stock index options. The Journal of Derivatives, 7(3), P. 83–91
- Melick W. R. and Thomas C. P., 1997. recovering an asset's implied pdf from option prices: an application to crude oil during the gulf crisis. Journal of Financial and Quantitative Analysis 32, 91–115
- Bahra B., 1997. Implied risk-neutral probability density functions from option prices: Theory and application. Working Paper № 66. Bank of England, London
- Campa J. M., Chang, P. H. K. and Refalo, J. F., 2002. An options-based analysis of emerging market exchange rate expectations: Brazil's Real Plan, 1994–1999. Journal of Development Economics, 69(1). P. 227–253
- Rubinstein, M., 1994. Implied binomial trees. Journal of Finance 49, 771–818
- Buchen P., and M. Kelly. “The Maximum Entropy Distribution of an Asset Inferred from Option Prices.” Journal of Financial and Quantitative Analysis. 31. № 1 (1996). P. 143–159
- Ait-Sahalia Y. and Lo, A. W., 1998. “Nonparametric Estimation of State-Price Densities Implicit in Financial Asset Prices.” Journal of Finance. 53. P. 499–547
- Cooper N., 1999. Testing techniques for estimating implied RNDs from the prices of European-style options. Working Paper, Bank of England
- Bliss R. and N. Panigirtzoglou, 2004, Recovering risk aversion from options, Journal of Finance, 59
- Li, Shackleton, Taylor, Xu, 2007, Close-form Transformations from Risk-neutral to Real-world Distributions, Journal of Banking & Finance. 31. 1501–1520
- D. and J. Meyer, 2005, Relative Risk Aversion: What Do We Know?, Journal of Risk and Uncertainty 31(3).
- NIFTY 50 — <https://www.niftyindices.com/indices/equity/broad-based-indices/NIFTY-50>.
- Brock W. A., Dechert W. D., Scheinkman J. A., LeBaron B. 1996. A test for independence based on the correlation dimension. Econometric Reviews 15: 197–235.
- Ait-Sahalia Y. and A. W. Lo, 2000, Nonparametric risk management and implied risk aversion, Journal of Econometrics. 94. 9–51.

## Сведения об авторах

**Арбузов Петр Андреевич:** аспирант кафедры исследования операций Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Количество публикаций: 3

Область научных интересов: производные финансовые инструменты, управление рисками

Контактная информация

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

[arbuzov.parb@gmail.com](mailto:arbuzov.parb@gmail.com)

**Голембиовский Дмитрий Юрьевич:** доктор технических наук, профессор кафедры исследования операций Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова  
Количество публикаций: 45  
Область научных интересов: управление рисками, принятие решений в условиях неопределенности, управление финансовыми портфелями, производные финансовые инструменты

ResearcherID: H-5898-2013  
ORCID: 0000-0002-1848-5988  
SPIN-код: 2730-8044  
*Контактная информация*  
Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1  
dgolembiovskiy@yandex.ru

---

Статья поступила в редакцию: 06.03.2024  
Одобрена после рецензирования: 21.03.2024  
Принята к публикации: 25.03.2024  
Дата публикации: 26.04.2024

*The article was submitted: 06.03.2024*  
*Approved after reviewing: 21.03.2024*  
*Accepted for publication: 25.03.2024*  
*Date of publication: 26.04.2024*

# Инструкция для авторов

## 1. Общие требования к представлению статьи

Журнал «Проблемы анализа риска» публикует междисциплинарные научные и прикладные материалы, посвященные анализу рисков различного происхождения и характера: техногенного, природного, социально-экономического, финансового, экологического и др.

Представляемая в редакцию статья должна соответствовать тематике журнала, быть написана на русском языке (титульный лист представляется на русском и английском языке), быть оригинальной, ранее не опубликованной и не представленной к публикации в другом издании.

Авторы несут ответственность за достоверность приведенных сведений, отсутствие данных, не подлежащих открытой публикации, и точность информации по цитируемой литературе.

В первую очередь рассматриваются и принимаются к публикации материалы, содержащие ссылки на ранее опубликованные в журнале ПАР статьи по схожей тематике.

Все представленные в редакцию журнала рукописи авторам не возвращаются.

## 2. Порядок представления рукописи

Представление статьи в редакцию журнала осуществляется в электронном виде на e-mail [journal@dex.ru](mailto:journal@dex.ru),

В наименовании электронного файла статьи должны быть указаны: первый автор статьи, сокращенное название статьи, дата представления (например, «Иванов\_Стандарты финансового РМ\_12\_01\_18»).

**Внимание!** Статьи представленные не в соответствии с инструкцией для авторов, могут быть не приняты к рассмотрению.

Статья будет направлена на рецензирование одному или двум экспертам. Возможно, потребуются доработка или переработка статьи по результатам рецензирования до принятия решения о ее опубликовании.

Редакция оставляет за собой право дальнейшей редакционной и корректорской правки статьи. Корректуре автору в обязательном порядке не высылается, с ней можно ознакомиться в редакции.

Если статья не принимается к печати, автору высылается отказ по электронной почте.

## 3. Общие требования к рукописи

Электронный файл рукописи должен быть сформирован с использованием стандартных пакетов редакторских программ (например, MS Word, WordPad).

Формат страниц: А4, рекомендуемые отступы от краев листа: сверху и снизу — 3 см, слева и справа — 2 см, рекомендуемый шрифт Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал — одинарный или полуторный. Страницы должны быть пронумерованы.

Файл со статьей должен содержать:

- 1) титульный лист (на русском и английском языке),
- 2) текст статьи (введение, структурированные разделы статьи, заключение),

- 3) литературу (последовательный перечень цитируемой литературы или по алфавиту при использовании международного стандарта),

- 4) сведения об авторах.

## 4. Титульный лист

Представляется на русском и английском языках и должен включать:

- УДК,
- Шифр специальности ВАК,
- краткое информативно-смысловое название,
- инициалы, фамилию,
- краткое (по возможности) наименование организации (при указании организации не допускается приводить только аббревиатуру), располагается после фамилии автора,
- город,
- аннотацию объемом не более 250, но не менее 150 слов.

**Аннотация** должна в сжатой форме содержать:

- цель работы
- методы исследования (если необходимо, то указать их преимущества по сравнению с ранее применявшимися), основные положения.
- основные результаты исследования.
- основные выводы.

Все аббревиатуры в аннотации необходимо раскрыть (несмотря на то, что они будут раскрыты в основном тексте статьи).

Ключевые слова: (5–8) помещают под аннотацией.

Ключевые слова должны использовать термины из текста статьи, определяющие предметную область и способствующие индексированию статьи в поисковых системах и не повторять название статьи.

## 5. Текст статьи

Основной текст статьи должен содержать:

- введение,
- структурированные, пронумерованные разделы статьи, заключение,
- литература.

Введение должно содержать четкое обозначение целей и задач работы. Авторы должны показать знакомство с публикациями журнала по тематике статьи с обязательными ссылками на ранее опубликованные в журнале работы. Также в нем могут даваться ссылки на ключевые работы в области исследования, но введение не должно быть литературным или историческим обзором.

Структурированные разделы статьи должны содержать четкое и последовательное изложение материала работы. Заголовки разделов основной части должны иметь нумерацию (1, 2, 3 и т. д.), эта же нумерация должна быть отражена в содержании (разделы введение, заключение, литература, сведения об авторах не нумеруются). Допускается в каждом разделе создавать подзаголовки разделов.

Заключение должно включать основные результаты и выводы, обсуждение спорных моментов, значимость теоретических положений, их ограничения; место и роль в разрезе предыдущих исследований, возможностей практических приложений.

#### **6. Требования к таблицам, рисункам и формулам**

##### **Таблицы и рисунки**

Таблицы и рисунки рекомендуется располагать внутри текста после первого указания на них. Размер таблиц и рисунков не должен выходить за рамки формата текста. Все таблицы и рисунки должны быть последовательно пронумерованы и иметь краткое название (название таблиц дается над таблицей, рисунков — под ними).

Название рисунков (вместе с пояснениями) должно быть переведено на английский язык и располагаться под русскоязычным названием.

Таблицы и рисунки должны быть понятными безотносительно к объяснению в тексте. Пояснения к таблицам и рисункам должны быть краткими. Пояснения к таблицам должны располагаться внизу таблицы и иметь указатели с использованием надстрочной буквенной или цифровой индексации (меньшего размера относительно текста). Пояснения к рисункам должны располагаться под названием рисунков с использованием шрифта меньшего размера относительно текста названия рисунков.

Таблицы представляются в стандартном редакторе MS Office, например MS Word или MS Excel.

Рисунки должны быть высокого качества. Графики должны предоставляться преимущественно в формате MS Excel. Схемы и карты предоставляются в векторных форматах eps, cdr. Фотографии и другие иллюстративные материалы, предоставляемые в виде растровых изображений, должны иметь разрешение 300 dpi (при размере на формат издания) и быть в форматах TIFF или JPEG (без сжатия). На растровых рисунках должны хорошо прочитываться текст и все значимые элементы.

##### **Формулы**

Отдельно стоящие формулы должны быть набраны с использованием стандартных средств MathType или Equation.

Переменные величины и элементы формул, располагаемые внутри текста, набираются по возможности с использованием текстовых выделений (нижний, верхний регистры, курсив, греческие буквы и т. д.)

Формулы и буквенные обозначения должны быть тщательно выверены автором, который несет за них полную ответственность.

#### **7. Литература**

Библиографические ссылки в статье рекомендуется осуществлять как затекстовые ссылки и обозначать номерами в порядке цитирования в квадратных скобках, например [1] или [2–5], при необходимости с указанием страниц. Ссылки на неопубликованные работы недопустимы. Список литературы должен размещаться в конце статьи и составляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Порядок составления списка следующий:

- для книг: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название, место и год издания, издательство, общее количество страниц;

- для глав в книгах и статей в сборниках: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название статьи, полное название книги, фамилия и инициалы редактора (редакторов), место и год издания, издательство, номера первой и последней страниц;

- для журнальных статей: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название статьи, название журнала, том издания, номер, номера первой и последней страниц. Если число авторов больше трех, вначале пишется название статьи, затем все авторы и далее название журнала, том издания, номер, номера первой и последней страниц;

- для диссертаций: фамилия и инициалы автора, докторская или кандидатская, полное название работы, год и место издания.

Ссылки на литературу в статьях (в том числе представленных для публикации зарубежными авторами) могут производиться с использованием международного стандарта, например, 1–2 автора: (Иванов, Сидоров, 2018), три и более авторов: (Maks et al, 1999). Список литературы составляется в этом случае в алфавитном порядке (сначала статьи на русском, затем иностранных языках).

##### **Внимание!**

- Если в списке литературы есть источники с индексом DOI, то он должен быть указан.

- Все цитируемые русскоязычные источники в списке литературы должны быть переведены на английский язык. Перевод располагается в квадратных скобках после цитирования на русском языке. Перевод названия должен точно совпадать с первоисточником и в конце в скобках указывается (Russia).

Авторы самостоятельно несут ответственность за точность информации по цитируемой литературе.

#### **8. Сведения об авторах**

Сведения об авторах должны включать:

- фамилию, имя и отчество (полностью),
- степень, звание и занимаемую должность, полное и краткое наименование организации,
- число публикаций, в том числе монографий, учебных изданий,
- область научных интересов,
- контактную информацию: почтовый адрес (рабочий), телефон, e-mail, моб. телефон (для связи с редакцией).

#### **9. Заключение лицензионного договора**

Если принято решение об опубликовании статьи, в соответствии с требованиями Гражданского кодекса РФ между авторами и журналом заключается лицензионный договор с приложением к нему акта приема-передачи произведения. Эти документы редакция направляет авторам статьи для подписи по эл. почте или по факсу с последующей отправкой оригиналов документов по почте.

# Instructions for Authors

## I. Recommendations to the author before submission of article

Submission of article in the «Issues of Risk Analysis» magazine means that: article was not published in other magazine earlier; article is not under consideration in other magazine; article does not contain the data which are not subject to the open publication; all coauthors agree with the publication of the current version of article.

Before sending article for consideration be convinced that the file (files) contains all necessary information in the Russian and English languages, sources of information placed in drawings and tables are specified, all quotes are issued correctly.

On the title page of article take place (in the Russian and English languages):

1. Article UDC.
2. Name of the author (authors).
3. Information on the author (authors).

Are listed in this section: surname, name and middle name (completely), degree, rank and post, full and short name of the organization, number of publications, including monographs, educational editions, area of scientific interests, contact information: the postal address (working), phone, e-mail, mob. phone of the responsible author for connection with edition.

### 4. Affiliation of the author (authors).

The affiliation includes the following data: the full official name of the organization, the full postal address (including the index, the city and the country). Authors need to specify all places of work concerning carrying out a research. If authors from different institutions took part in preparation of article, it is necessary to specify belonging of each author to concrete establishment by means of the nadstrochny index. The official English-language name of establishment is necessary for information block in English.

### 5. Name of article.

The name of article in Russian has to correspond to contents of article. The English-language name has to be competent in terms of English, at the same time on sense completely correspond to the Russian-language name.

### 6. Summary.

The recommended volume of the structured summary: 200–250 words. The summary contains the following sections: Purpose, Methods, Results, Conclusion.

### 7. Keywords.

5–7 words on article subject. It is desirable that keywords supplemented the summary and the name of article.

### 8. Conflict of interest.

The author is obliged to notify the editor on the real or potential conflict of interests, having included information on the conflict of interests in appropriate section of article. If there is no conflict of interests, the author has to report about it also. Example of a formulation: «The author declares no conflict of interests».

### 9. Text of article.

In the magazine the IMRAD format is accepted (Introduction, Methods, Results, Discussion).

The main text of article has to contain:

- introduction;
- the structured, numbered sections of article;
- conclusion;
- literature.

### 10. Drawings.

Drawings have to be high quality, suitable for the press. All drawings have to have caption signatures. The caption signature has to be translated into English. Drawings are numbered by the Arab figures on a sequence in the text. If the drawing in the text one, then it is not numbered. The translation of the caption signature it is necessary to have after the caption signature in Russian.

### 11. Tables.

Tables have to be high quality, suitable for the press. The tables suitable for editing but which are not scanned or in the form of drawings are preferable. All tables have to have headings. The name of the table has to be translated into English. Tables are numbered by the Arab figures on a sequence in the text. If the table in the text one, then it is not numbered. The heading of the table includes serial number of the table and its name. The translation of heading of the table it is necessary to have after table heading in Russian.

### 12. Screenshots and photos.

Photos, screenshots and other not drawn illustrations need to be loaded separately in the special section of a form for submission of article in the form of files of the format \*.jpeg, \*.bmp, \*.gif (\*.doc and \*.docx — in case additional marks are applied on the image). Permission of the image has to be > 300 dpi. Files of images need to appropriate the name corresponding to number of the drawing in the text. It is necessary to provide in the description of the file separately the caption signature which has to correspond to the name of the photo placed in the text.

### 13. Footnotes.

Footnotes are numbered by the Arab figures, are placed page by page. In footnotes can be placed: the reference to anonymous sources in the Internet, references to textbooks, manuals, state standard specifications, statistical reports, articles in political newspapers and magazines, abstracts, theses (if there is no opportunity to quote articles published by results of a dissertation research), comments of the author.

### 14. List of references.

In the magazine the Vancouver format of citing which means sending on a source in square brackets and the subsequent mention of sources in the list of references as a mention is used. The page is specified in brackets, through a comma and a gap after number of a source: [6, page 8].

The list of references joins only the reviewed sources (articles from scientific magazines and the monograph) which are mentioned in the text of article. It is

undesirable to include in the list of references abstracts, theses, textbooks, manuals, state standard specifications, information from the websites, statistical reports, articles in political newspapers, on the websites and in blogs. If it is necessary to refer to such information, it is necessary to place information on a source in the footnote. At the description of a source it is necessary to specify it by DOI if it is possible to find it (for foreign sources it is possible to make it in 95% of cases).

References to articles adopted to the publication, but not published yet have to be marked with the words «in the press»; authors have to get the written permission for the reference to such documents and confirmation that they are accepted for printing. Information from unpublished sources has to be noted by the words «unpublished data / documents», authors also have to receive written confirmation on use of such materials. From magazines year of a release of the publication, the volume and the issue of the magazine, page numbers have to be surely specified in the references to articles. All authors have to be presented in the description of each source. References have to be verified, the output data is checked on the official site of magazines and/or publishing houses. The translation of the list of references into English is necessary.

After the description of a Russian-speaking source in the end of the reference the instruction on work language is put: (In Russ.). For a transliteration of names and surnames of authors, names of magazines it is necessary to use the BSI standard.

## II. How to submit article for consideration

The manuscript of article is sent to edition through online a form or in electronic form to e-mail of journal@dex.ru. The file, naprvlyayemy on e-mail, loaded into a system with article has to be presented in the Microsoft Word format (to have the expansion \*.doc, \*.docx, \*.rtf).

## III. Interaction between the magazine and author

The editorial office of the magazine corresponds with the responsible (contact) author, however if desired group of authors letters can be sent all authors for whom the e-mail address is specified.

All articles coming to the «Issues of Risk Analysis» magazine undergo preliminary testing by the responsible secretary of the magazine for compliance to formal requirements. At this stage article can be returned to the author (authors) on completion with a request to eliminate errors or to add missing data. Also at this stage article can be rejected because of discrepancy to its purposes of the magazine, lack of originality, small scientific value.

After preliminary check the editor-in-chief reports article to the reviewer with the indication of terms of reviewing. To the author the corresponding notice goes.

At the positive conclusion of the reviewer article is transferred to the editor for preparation for printing.

At making decision on completion of article of a remark and the comment of the reviewer are transferred to the author. The author is given 2 months on elimination of remarks. If during this term the author did not notify the editorial office on the planned actions, article is removed from turn of the publication.

At making decision on refusal the relevant decision of edition goes to publications of article to the author.

To the responsible (contact) author of article adopted to the publication the final version of imposition which he is obliged to check is sent. The answer is expected from authors within 2 days. In the absence of reaction from the author imposition of article is considered approved.

## IV. Order of review of the decisions of the editor/reviewer

If the author does not agree with the conclusion of the reviewer and/or editor or separate remarks, he can challenge the made decision. For this purpose it is necessary for the author:

- to correct the manuscript of article according to reasonable comments of reviewers and editors;
- it is clear to state the position on a case in point.

Editors promote repeated submission of manuscripts which could be potentially accepted, however were rejected because of need of introduction of significant changes or collecting additional data, and are ready to explain in detail what is required to be corrected in the manuscript in order that it was accepted to the publication.

## V. Actions of edition in case of detection of plagiarism, a fabrication or falsification of data

In case of detection of unfair behavior from the author, detection of plagiarism, a fabrication or falsification of data edition is guided by the rules COPE.

«Issues of Risk Analysis» magazine does not refer honest mistakes or honest divergences in the plan, carrying out, interpretation or assessment of research methods or results to «unfair behavior», or the unfair behavior which is not connected with scientific process.

## VI. Correction of mistakes and withdrawal of article

In case of detection in the text of article of the mistakes which are influencing her perception, but not distorting the stated results of a research they can be corrected by replacement of the PDF file of article and the instruction on a mistake in the file of article and on the page of article on the magazine website. In case of detection in the text of article of the mistakes distorting results of a research or in case of plagiarism, detection of unfair behavior of the author (authors) connected with falsification and/or a fabrication of data, article can be withdrawn. Edition, the author, the organization, the individual can be the initiator of withdrawal of article.

The withdrawn article is marked with the sign «Article Is Withdrawn», on the page of article information on article reason of recall is placed. Information on withdrawal of article is sent to databases in which the magazine is indexed.

The detailed instruction on the website <https://www.risk-journal.com>