

ISSN 2658-3801 (PRINT)
ISSN 2713-0444 (ONLINE)

ОППОНЕНТ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОППОНЕНТ

WWW.PROFFOPPONENT.RU — 1.2024 —

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС.
НАПРАВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ



АЭС —
ПОСЛЕДСТВИЯ
АВАРИЙ

ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЕ
ПРОИЗВОДСТВО
И ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

АРБОЛИТ
И ОГНЕСТОЙКИЕ
КОНСТРУКЦИИ

РЕАКТОРНЫЕ
УСТАНОВКИ

ФЛЕКСИТАНКИ
ДЛЯ ПЕРЕВОЗОК

ЛАЗЕРНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



ОППОНЕНТ



МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОЧНАЯ НЕДЕЛЯ В УГЛИЧЕ

17-21 июня 2024 г.

В программе Недели:

- Международная научно-практическая конференция «Современные тренды в производстве и контроле сыра, масла и другой молочной продукции»
- Обсуждение актуальных вопросов молочной промышленности
- Встреча с ведущими специалистами отрасли
- Инновационные решения в области производства и реализации молочных продуктов
- Мастер-классы
- Деловые контакты с компаниями-производителями технологического и лабораторного оборудования, упаковки, заквасок, ферментов и других ингредиентов для молочной промышленности
- Конкурс качества молочной продукции
- Профессиональная оценка внеконкурсных образцов компаний и производителей
- Техническая экскурсия на молокоперерабатывающее предприятие

Ключевые темы для обсуждения:

- Новое в законодательной и нормативной базе молочной отрасли
- Изменение трендов в производстве и потреблении молочной продукции
- Роль производственного контроля в обеспечении выпуска безопасной и качественной продукции
- Санитарно-гигиеническая обработка на предприятиях молочной промышленности
- Бактериальные закваски для молочной отрасли
- Упаковочные решения для повышения качества и хранимоспособности молочной продукции
- Основные векторы для развития партнерства и экспорта молочной продукции в зарубежные страны
- Подготовка кадров для молокоперерабатывающих предприятий

К участию приглашаются:

- Производители молочной продукции, директора, заведующие производством и технологи молокоперерабатывающих предприятий
- Представители отраслевых союзов
- Производители средств измерения и контроля, средств гигиены для молочной отрасли
- Изготовители ингредиентов, оборудования и упаковки

В рамках Недели:

- выпуск сборника материалов конференции
- представление новых нормативных и технических документов
- вручение наград победителям конкурса качества и сертификатов участникам
- выпуск каталога «Молочная гордость России»

Генеральные информационные партнеры:

МОЛОЧНАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

СЫРОДЕЛИЕ
МАСЛОДЕЛИЕ

МОЛОЧНАЯ
РАЙОНА

ПЕРЕРАБОТКА
МОЛОКА

ТЕХНИЧЕСКИЙ
ОППОНЕНТ

Предложения и пожелания по организации проведения данного мероприятия можно направлять по адресу mail@vniims.info или:

e.dmitrieva@fncps.ru

+7 (910) 968-11-22 (WhatsApp)

+7 (48532) 5-09-40

Елена Геннадьевна Дмитриева,

зам. директора по информационным технологиям, маркетингу и образовательной деятельности

+7 (910) 979-72-85

Григорий Новомирович Рогов,

директор ВНИИМС, канд. техн. наук

Заявка на участие - на сайте ВНИИМС:

<http://vniims.info/events.html>

Адрес ВНИИМС: 152613, Ярославская обл., г. Углич, Красноармейский бульвар, 19
E-mail: mail@vniims.info, vniims@fncps.ru, uglich-cheese@mail.ru

Организатор



Минпромторг
России

При
поддержке



Устроитель



10-12 ИЮНЯ

HELIRUSSIA 2024

XVII

www.helirussia.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ВЕРТОЛЕТНОЙ ИНДУСТРИИ



Научно-практическое образование
для профессионалов

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОППОНЕНТ

№1 2024

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Альтенбах Х., д.т.н., профессор (Магдебург, Германия)
Васильев А.Н., д.т.н., профессор (Москва)
Васильев Ю.С., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Вейдоу Н., д.т.н., профессор, академик КАН (Пекин, Китай)
Евдокимов И.А., д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Ставрополь)
Елистратов В.В., д.т.н., профессор (Санкт-Петербург)
Коротеев А.А., д.т.н., профессор, академик РАН (Москва)
Кренинг М., д.т.н., профессор (Саарбрюккен, Германия)
Окрепилов В.В., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Петров Н.П., д.т.н., академик РАН (Москва)
Рогалев Н.Д., д.т.н., профессор (Москва)
Рудской А.И., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Сергеев В.В., д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Санкт-Петербург)
Стребков Д.С., д.т.н., профессор, академик РАН (Москва)
Тендлер М.Б., профессор, иностранный член РАН (Стокгольм, Швеция)
Топникова Е.В., д.т.н. (Углич)
Турабджанов С.М., д.т.н., профессор (Ташкент, Узбекистан)
Федоров М.П., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Федотова О.Б., д.т.н. (Москва)
Чернуха И.М., д.т.н., профессор, академик РАН (Москва)
Шаумбург Х., д.т.н., профессор (Гамбург, Германия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амерханов Р.А., д.т.н., профессор (Краснодар)
Гортышов Ю.Ф., д.т.н., профессор, академик АН РТ (Казань)
Грибин В.Г., д.т.н., профессор (Москва)
Григораш О.В., д.т.н., профессор (Краснодар)
Грузков С.А., к.т.н., профессор (Москва)
Деревяшкин И.В., д.т.н., профессор (Москва)
Кирпичникова И.М., д.т.н., профессор (Челябинск)
Кузнецов С.Е., д.т.н., профессор (Санкт-Петербург)
Лунин В.П., д.т.н., профессор (Москва)
Павленко А.В., д.т.н., профессор (Новочеркасск)
Погребисский М.Я., к.т.н., доцент (Москва)
Сафонов Ю.М., к.т.н., профессор (Москва)
Серебрянников С.В., д.т.н., профессор (Москва)
Смирнов С.Е., д.т.н., профессор (Москва)
Таранов М.А., д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Зерноград)
Трубилин Е.И., д.т.н., профессор (Краснодар)
Туричин Г.А., д.т.н., профессор (Санкт-Петербург)
Тягунов М.Г., д.т.н., профессор (Москва)
Харченко В.В., д.т.н., профессор (Москва)
Шевырев Ю.В., д.т.н., профессор (Москва)
Щербаков А.В., д.т.н., профессор (Москва)



Редакция журнала «Технический оппонент»

Главные редакторы
Е.В. Топникова, д.т.н.,
Н.Д. Рогалев, д.т.н., профессор

Выпускающий редактор
Е.Ю. Райчева

Редактор-корректор
М.С. Малова

Секретарь редакции
М.М. Босова

Дизайн и верстка
Б.Д. Шульгин

Учредитель и издатель
ООО «Оппонент»

**Генеральный директор /
главный редактор издательства**
С.В. Камзолова



Адрес редакции
109004, Москва,

ул. Земляной вал, 64, стр. 2.
Тел./факс: +7(495) 725-39-00.
Сайт: <http://www.proffopponent.ru>.
E-mail: proffopponent@mail.ru.

Подписка

E-mail: resopponent@mail.ru,
+7 (495) 725-39-00.

Журнал «Технический оппонент»

Научно-практическое образование для профессионалов, выходит 4 раза в год, освещает весь спектр актуальных проблем в сфере техники и современных технологий, а также тенденций в развитии технических наук. Журнал является профессиональным изданием для инженеров.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ПИ № ФС77-72415 от 28.02.2018.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

ISSN: 2658-3801. ISSN online: 2713-0444.

Журнал является научным изданием для инженеров, поэтому на него не распространяются требования Федерального закона от 29.12.2010 № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию».

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Технический оппонент» обязательна.

Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения ООО «Оппонент».

Ответственность за содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

Ответственность за достоверность приведенных сведений, наличие данных, не подлежащих открытой публикации, и точность информации по цитируемой литературе несут авторы.

Позиция редакции может не совпадать с мнением автора. Материалы, переданные в редакцию, не возвращаются.

Требования к оформлению статей размещены на сайте www.proffopponent.ru.

Журнал включен с 2018 года в Российский индекс научного цитирования.

Все права защищены. 2024 г.
Дата выхода журнала —
март-апрель 2024 г.
Тираж — 35 000 экз.

© ООО «Оппонент», 2024

Publisher 000 «Opponent»

**Chief Editor**

E.V. Topnikova, DScTech,
N.D. Rogalev, DScTech, Professor

Desk Editor

E.Yu. Raicheva

Editor-proofreader

M.S. Malova

Editorial Secretary

M.M. Bosova

Design and Layout

B.D. Shulgin

Publishing House

000 «Opponent»

**CEO / Editor-in-Chief
of the Publishing House**

S.V. Kamzolova

**Editorial Office**

109004, Zemlianoi Val st., 64, b. 2, Moscow.
Tel./fax: +7 (495) 725-39-00.
Website: <http://www.proffopponent.ru>.
E-mail: proffopponent@mail.ru.

Subscribe

E-mail: recopponent@mail.ru,
+7 (495) 725-39-00.

The Journal «Technical opponent» — is a scientific and practical education for professionals issuing 4 times a year. It covers a variety of current issues in the field of engineering and modern technologies, as well as up trends in technical sciences. The journal is a professional publication for engineers.

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information, Technology and Mass Media (Roskomnadzor).

This journal is included in Russian Science Citation Index (RSCI).

ISSN print: 2658-3801.

ISSN online: 2713-0444.

Series PI No. FS77-72415, February 28, 2018.

The journal is a scientific publication for engineers, so it is not subject to the requirements Federal Law № 436-F3 of 29.12.2010 «On the protection of children from information that harms their health and development».

The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editorial board. No part of this issue may be reproduced without written permission of the 000 «Opponent».

At a reprint of materials the link on journal «Technical Opponent» is mandatory.

Advertisers are responsible for the content of advertisements.

Authors are responsible for reliable information, for the availability of data are not subject to open publication, and accuracy of information on the cited literature. The editorial standpoint may not correspond with authors' opinions. All incoming manuscripts are subject to review.

Editors do not correspond with authors, whose articles are considered unsuitable for the publication. Materials sent to the editor will not be returned.

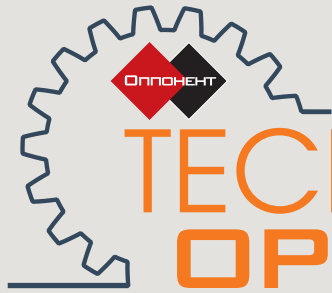
In the Russian Science Citation Index since 2018.

All rights reserved. 2024.

Date of Issue — March–April 2024.

Printing — 35 000 copies.

© 000 «Opponent», 2024



Scientific and Practical Education
for Professionals

TECHNICAL OPPONENT

№1 2024

EDITORIAL BOARD

Altenbach H., DScTech, professor (Magdeburg, Germany)
Chernukha I.M., DScTech, professor, Acad. RAS (Moscow)
Weidou N., DScTech, professor, Acad. CAE (Pekin, China)
Vasiliev A.N., DScTech, professor (Moscow)
Vasiliev Yu.S., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Evdokimov I.A., DScTech, professor, Corr. member RAS (Stavropol)
Elistratov V.V., DScTech, professor (St. Petersburg)
Fedorov M.P., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Fedotova O.B., DScTech (Moscow)
Koroteev A.A., DScTech, professor, Acad. RAS (Moscow)
Krönig M., DScTech, professor (Saarbrücken, Germany)
Okrepilov V.V., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Petrov N.P., DScTech, Acad. RAS (Moscow)
Rogalev N.D., DScTech, professor (Moscow)
Rudskoy A.I., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Sergeev V.V., DScTech, professor, corr. member RAS (St. Petersburg)
Schaumburg H., DScTech, professor (Hamburg, Germany)
Strebkov D.S., DScTech, professor, Acad. RAS (Moscow)
Tendler M.B., DScTech, professor, for. member RAS (Stockholm, Sweden)
Topnikova E.V., DScTech (Uglich)
Turabdzhanov S.M., DScTech, professor (Tashkent, Uzbekistan)

EDITORIAL COUNCIL

Amerkhanov R.A., DScTech, professor (Krasnodar)
Derevyashkin I.V., DScTech, professor (Moscow)
Gortyshov Yu.F., DScTech, professor, Acad. AS RT (Kazan)
Gribin V.G., DScTech, professor (Moscow)
Grigorash O.V., DScTech, professor (Krasnodar)
Gruzkov S.A., DScTech, professor (Moscow)
Kirpichnikova I.M., DScTech, professor (Chelyabinsk)
Kuznetsov S.E., DScTech, professor (St. Petersburg)
Kharchenko V.V., DScTech, professor (Moscow)
Lunin V.P., DScTech, professor (Moscow)
Pavlenko A.V., DScTech, professor (Novocherkassk)
Pogrebissky M.Ya., DScTech, professor (Moscow)
Safonov Yu.M., DScTech, professor (Moscow)
Serebryannikov S.V., DScTech, professor (Moscow)
Smirnov S.E., DScTech, professor (Moscow)
Shevyrev Yu.V., DScTech, professor (Moscow)
Shcherbakov A.V., DScTech, professor (Moscow)
Taranov M.A., DScTech, professor, corr. member RAS (Zernograd)
Trubilin E.I., DScTech, professor (Krasnodar)
Turichin G.A., DScTech, professor (St. Petersburg)
Tyagunov M.G., DScTech, professor (Moscow)

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

5



Слово главного редактора номера
Н.Д. Рогалев

ПЕРСПЕКТИВА

6–11



Повышение производительности бульдозерного отвалообразования от железнодорожного транспорта при интенсификации горно-капитальных работ
И.В. Деревяшкин, А.А. Садыков

12–21

Оценка последствий в результате сброса жидких радиоактивных отходов в Тихий океан с аварийной АЭС «Фукусима»
В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова

СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

22–26



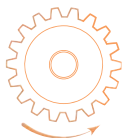
Струеформирующие устройства для гидромеханических исполнительных органов и систем высоконапорного орошения горных машин
В.Г. Мерзляков, И.Е. Бойкова

27–32

Предложения по утилизации жидких радиоактивных отходов с аварийной АЭС
В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова

ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫБОР

33–40



Деформационные процессы. Оценка пределов огнестойкости строительных конструкций
А.А. Копылов, В.П. Спиридонов, О.Ю. Маламут

41–43

Применение арболита при проектировании быстровозводимых зданий
А.Н. Комяков, А.К. Кошкин, С.Д. Шейникова

АКТУАЛЬНЫЙ ВОПРОС

44–48



Результаты экологического обследования района расположения Якутской АСММ
В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова

49–55

Климатические, геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидрологические, сейсмотектонические условия района размещения Якутской АЭС с реакторной установкой РИТМ-200Н
В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

56–59



Применение флекситанков для повышения эффективности встречных перевозок и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций
А.Н. Комяков, Е.Н. Болдырев, В.В. Жучков

60–64

Лазерные технологии в зоне чрезвычайных ситуаций
А.А. Копылов, В.П. Спиридонов, К.А. Лобода

CONTENTS

5		EDITORIAL Introductory remarks N.D. Rogalev
<hr/>		
6–11		PERSPECTIVE Increasing the productivity of bulldozer dumping from railway transport when intensification of mining and capital works I.V. Derevyashkin, A.A. Sadykov
12–21		Assessment of the consequences resulting from the dumping of liquid radioactive waste into the Pacific Ocean from the emergency Fukushima nuclear power plant V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova
<hr/>		
22–26		MODERN PRODUCTION Jet forming devices for hydromechanical executive bodies and high-pressure systems irrigation of mining machines V.G. Merzlyakov, I.E. Boikova
27–32		Proposals for the disposal of liquid radioactive waste from an emergency nuclear power plant V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova
<hr/>		
33–40		TECHNICAL CHOICE Deformation processes. Assessment of fire resistance limits of building structures A.A. Kopylov, V.P. Spiridonov, O.Yu. Malamut
41–43		The use of arbolite in the design prefabricated buildings A.N. Komyakov, A.K. Koshkin, S.D. Sheinikova
<hr/>		
44–48		HIGHLIGHT Results of an environmental survey of the area where the Yakut NPP reactor plant is located V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova
49–55		Climatic, geological, geomorphological, hydrogeological, hydrological, Seismotectonic conditions of the area where the Yakut NPP with the RITM-200N reactor plant is located V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova
<hr/>		
56–59		TECHNIC AND TECHNOLOGY The use of flexitanks to increase the efficiency of oncoming traffic and to eliminate the consequences of emergency situations A.N. Komyakov, E.N. Boldyrev, V.V. Zhuchkov
60–64		Laser technologies in emergency zones A.A. Kopylov, V.P. Spiridonov, K.A. Loboda

Уважаемые коллеги!

Перед вами первый выпуск журнала «Технический оппонент», который мы посвятили проблемам топливно-энергетического комплекса страны. Вашему вниманию предлагаются уникальные исследования ведущих российских ученых.

Применение бульдозерного отвалообразования при железнодорожном транспорте обеспечивает возможность бесперебойной работы. Авторы дают технические решения ведения отвальных работ мощными бульдозерами для интенсификации вскрышных или горно-капитальных работ при строительстве карьера.

Рассматриваются возможности использования струеформирующих устройств для гидромеханических исполнительных органов и систем высоконапорного орошения горных машин.

Исследованы деформационные процессы и дана оценка пределов огнестойкости строительных конструкций. Авторами предлагается применение арболита при проектировании быстровозводимых зданий, рассматриваются его главные преимущества по сравнению с другими материалами, особенно на Крайнем Севере.

Применение флекситанков для повышения эффективности встречных перевозок и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций незаменимо, когда имеется потребность транспортировать в одном направлении жидкие грузы, в другом — твердые. Рассмотрены варианты альтернативного и повторного использования флекситанков для создания резервных запасов воды для пожаротушения. Продолжают тему рационального производства и строительства применение лазерных технологий



в зоне чрезвычайных ситуаций и выбор приоритетной площадки для размещения и сооружения АСММ с реакторной установкой.

Предлагаемые в статьях исследования и методики позволят выбрать нужное техническое оснащение для любых производств, снизить время на ликвидацию аварийных ситуаций и улучшить качество любой продукции. Желаю вам, читатели журнала «Технический оппонент», всегда находить решение любой задачи!

**Главный редактор,
профессор
Николай Дмитриевич Рогалев**



УДК 622.221
UDC 622.221

Повышение производительности бульдозерного отвалообразования от железнодорожного транспорта при интенсификации горно-капитальных работ



Increasing the Productivity of Bulldozer Dumping from Railway Transport when Intensification of Mining and Capital Works

АВТОРЫ

AUTHORS

И.В. Деревяшкин^{1,2}, д.т.н., профессор,
А.А. Садыков³, к.т.н.,

¹ Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

² Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», г. Губкин, Россия

³ Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

I. V. Derevyashkin^{1,2},
A. A. Sadykov³

¹ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

² Branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

³ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Рассматриваются технологические схемы бульдозерного отвалообразования при железнодорожном транспорте и даются технические решения ведения отвальных работ мощными бульдозерами при интенсификации вскрышных или горно-капитальных работ при строительстве карьера. Применение бульдозерного отвалообразования при железнодорожном транспорте обеспечит возможность бесперебойной работы при выполнении горно-капитальных работ мощными драглайнами.

Technological schemes of bulldozer dumping in railway transport are considered and technical solutions for conducting dump operations with powerful bulldozers during the intensification of overburden or mining and capital works during the construction of a quarry are given. The use of bulldozer dumping in railway transport will ensure the possibility of uninterrupted operation when performing mining and capital works with powerful draglines.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

БУЛЬДОЗЕРНОЕ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕ, ОТВАЛЬНЫЙ ТУПИК, ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ, ДРАГЛАЙН, СТРОИТЕЛЬСТВО КАРЬЕРА

BULLDOZER DUMPING, DUMP DEAD END, RAILWAY TRANSPORT, DRAGLINE, QUARRY CONSTRUCTION

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Деревяшкин И.В., Садыков А.А. Повышение производительности бульдозерного отвалообразования от железнодорожного транспорта при интенсификации горно-капитальных работ. Технический оппонент. 2024; 1 (13): 6–11. [Derevyashkin I. V., Sadykov A. A. Increasing the productivity of bulldozer dumping from railway transport when intensification of mining and capital works. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024; 1 (13): 6–11. (In Russ.)].

Введение

Поддержать объем добычи железных руд и обеспечить повышение уровня добычи металлургического сырья возможно только при ускоренном строительстве новых карьеров на перспективных месторождениях Курской магнитной аномалии (КМА).

В условиях рыночной экономики вложение капитала в новостройки железорудной промышленности рационально при условии ввода предприятия в эксплуатацию через 3–4 года, после чего инвестиции начнут давать прибыль.

Новые карьеры могут быть построены только тогда, когда темпы углубки будут значительно увеличены. Достигнуть необходимых сроков ввода в строй

перспективных месторождений КМА возможно при новом подходе к решению технологических, технических и организационных задач при строительстве глубоких карьеров ускоренными темпами [2].

В результате анализа проектных проработок и практики строительства железорудных карьеров было выявлено, что максимальная скорость подвигания фронта работ не превышает 160 м/год и обеспечивает средние темпы углубочных работ до 15 м/год.

Значительное увеличение годового подвигания фронта работ и темпов углубки с применением традиционных технологий (используемых в практике строительства и в проектных решениях) и серийно выпускаемыми комплексами непрерывного действия



невозможно. Достигнутые темпы продвижения фронта работ 210 м/год обеспечивают темпы углубки до 30 м/год [2, 3, 4].

Моделирование взаимосвязи основных параметров горно-капитальных работ выполнено при изменении скорости продвижения фронта работ, темпов углубки и длины фронта работ. При этом принималось, что темп углубочных работ изменяется в пределах от 20 до 120 м/год.

Моделирование параметров горно-капитальных работ выполнено на любом горизонте и при темпах углубки больше 20 м/год. При заложенных темпах углубки принимались необходимые параметры рабочих площадок, скорости продвижения и длины фронта работ на верхних уступах для нормального ведения горных работ по разному рабочему борту карьера. Эти параметры отражались в различных углах наклона рабочего борта карьера, определяемого техникой и технологией ведения горных работ.

Достижение высоких показателей горно-капитальных работ возможно моделированием строительства карьера при различных технологических схемах и различном горном оборудовании. Сравнительный анализ вариантов технологических схем выемочно-погрузочных работ показал, что при вскрытии новых горизонтов наилучшие показатели достигаются применением драглайнов с работой внавал и перегрузкой в железнодорожный транспорт [2].

При этой технологической схеме угол откоса рабочего борта составил $\gamma = 26^\circ$ в отличие от других технологических схем («ЭКГ — железнодорожный транспорт» ($\gamma = 13^\circ$), «ЭРГ — конвейерный транспорт» ($\gamma = 11^\circ$) и «ЭШ — автотранспорт» ($\gamma = 14^\circ$)).

Выполнение горно-капитальных работ с высокой интенсивностью и большими объемами показало необходимость поиска технологических решений по производству отвальных работ, чему и посвящены теоретические изыскания данной публикации.

Сократить количество отвальных тупиков и время разгрузки составов на отвале возможно за счет применения бульдозерного отвалообразования.

В своих работах профессор И.И. Русский доказал, что отвалообразование с применением бульдозерного агрегата экономически выгоднее экскаваторного отвалообразования. При бульдозерном отвалообразовании удельные затраты снижаются в 1,85 раза при уменьшении капитальных затрат в 3,5 раза [10, 11, 12].

Результаты исследований профессора И.И. Русского по технико-экономическому обоснованию выбора технологических схем и способов механизации отвальных работ на примере Соколовского карьера ССГОКа показали, что технология укладки породы в отвал с помощью бульдозеров имеет следующие преимущества по сравнению с экскаваторным отвалообразованием:

- организация и управление работами значительно проще;
- нет надобности строить линии электропередач и применять металлоемкие экскаваторы;
- возможно разгружать составы по всему фронту, что обеспечивает увеличение производительности породных отвалов;

- значительный шаг переукладки путей в новое положение, что позволяет экономически оправданно делать балансировку отвальных путей;

- большая мобильность бульдозера и меньшая энергоемкость при складировании пород в отвал.

Классификация технологических схем бульдозерного отвалообразования при железнодорожным транспорте (по профессору И.И. Русскому) [12] представлена в **табл. 1**.

Как показала практика, применение фронтальных схем затруднительно: конструктивные особенности бульдозеров не позволяют разворачиваться на месте под нагрузкой [11]. Угол φ между касательной к траектории движения и нижней бровкой приемного откоса (угол выхода из навала) не превышает 41° (**табл. 2**) и зависит от климатических и горно-геологических условий, физико-механических свойств пород, типа бульдозерного оборудования, технического состояния бульдозера и квалификации оператора.

Во всех случаях $\varphi \leq 90^\circ$, вследствие чего расстояние перемещения породы бульдозером всегда больше ширины заходки, что в 1,4–1,5 раза снижает сменную производительность бульдозера [11]. Поэтому в дальнейшем рассматриваем торцевые и смешанные схемы бульдозерного отвалообразования.

Продолжительность рабочего цикла бульдозера для торцевой схемы определяется по формуле

$$T_{u\text{торц}} = \frac{L_n}{v_n} + \frac{B}{v_z \sin \varphi} + \frac{\sqrt{B^2 + B(\operatorname{ctg} \varphi + L_n)^2}}{v_n} + t_n, \text{ с}, \quad (1)$$

где L_n — длина пути набора породы в объеме призмы волочения, м (принимается $L_n \approx 6$ с); t_n — время на переключение передач при маневрах, с (принимается $t_n \approx 10$ с); v_n, v_z, v_n — скорость движения бульдозера соответственно при наборе породы, движении с грузом и без груза, м/с.

Продолжительность рабочего цикла для смешанной схемы с использованием одного бульдозера определяется из выражения

$$T_{u\text{см}} = \frac{L_n}{v_n} + \frac{(B - B_{\min}) \sin \varphi + B_{\min}}{v_z \sin \varphi} + \frac{\sqrt{B^2 + (B_{\min} \operatorname{ctg} \varphi + L_n)^2}}{v_n} + 2t_n, \text{ с}, \quad (2)$$

где B_{\min} — минимальное расстояние от нижней бровки навала до промежуточного штабеля, м (принимается $B_{\min} \leq 8$ м).

Для бульдозера, штабелирующего породу, продолжительность рабочего цикла составит

$$T_u = \frac{L_n}{v_n} + \frac{B_{\min}}{v_z \sin \varphi} + \frac{\sqrt{B_{\min}^2 + (B_{\min} \operatorname{ctg} \varphi + L_n)^2}}{v_n} + t_n, \text{ с}. \quad (3)$$

Для бульдозера, перемещающего породу из штабеля, продолжительность цикла определяется как

$$T_u = \frac{L_n^1}{v_n^1} + \frac{B - B_{\min} - L_n^1}{v_z \sin \varphi} + \frac{\sqrt{l_o^2 + (B - B_{\min})^2}}{v_n} + t_n, \text{ с}, \quad (4)$$

где L_n^1 — длина пути набора породы из штабеля, м (принимается $L_n^1 = 2-2,5$ м); l_o — длина отвала бульдозера, м; v_n^1 — скорость движения при наборе породы, м/с (принимается $v_n^1 = 1$ м/с).



ТАБЛИЦА 1. Классификация технологических схем бульдозерного отвалообразования при железнодорожном транспорте

TABLE 1. Classification of technological schemes of bulldozer dumping in railway transport

Группа схемы отвалообразования Dumping scheme group	Наименование технологической схемы и число одновременно работающих бульдозеров Name of technological scheme and number of simultaneously operating bulldozers
Схемы работы с торцевой укладкой породы в отвал (Т) Schemes of work with end placement of rock into a dump (T)	1(Т). Укладка породы без оставления предохранительной бермы одним бульдозером, разгрузка по одному думпкару 1(T). Laying rock without leaving a safety berm with one bulldozer, unloading one dump car at a time
	2(Т). Укладка с оставлением предохранительной бермы одним бульдозером, разгрузка по одному думпкару 2(T). Laying with leaving a safety berm with one bulldozer, unloading with one dump car at a time
Схемы работы с фронтальной укладкой породы в отвал (Ф) Schemes for working with frontal placement of rock into a dump (F)	1(Ф). Укладка породы одним бульдозером с регулируемым ножом, разгрузка составом 1(F). Laying rock with one bulldozer with an adjustable knife, unloading with a composition
	2(Ф). Укладка породы двумя независимыми бульдозерами с регулирующим ножом без разделения технологических операций, разгрузка составом 2(F). Laying rock with two independent bulldozers with a regulating knife without separating technological operations, unloading with a composition
Схемы работы со смешанной укладкой породы в отвал (См) Schemes of work with mixed placement of rock in a dump (Sm)	1(См). Укладка породы двумя бульдозерами в перпендикулярном направлении с разделением технологических операций, разгрузка составом 1(Sm). Laying rock with two bulldozers in a perpendicular direction with separation of technological operations, unloading with a composition
	2(См). Укладка породы двумя бульдозерами в параллельном направлении с разделением технологических операций, разгрузка составом 2(Sm). Laying rock with two bulldozers in a parallel direction with separation of technological operations, unloading with a composition
	3(См). Укладка породы одним бульдозером и отвальным плугом в перпендикулярном направлении с разделением технологических операций, разгрузка составом 3(Sm). Laying rock with one bulldozer and a moldboard plow in a perpendicular direction with separation of technological operations, unloading with a train

ТАБЛИЦА 2. Угол φ между касательной к траектории движения и нижней бровкой приемного откоса

TABLE 2. The angle φ between the tangent to the trajectory and the lower eyebrow of the receiving slope

Породы/Rocks	Угол выхода из навала, φ Angle of exit from the pile, φ , degrees
Крупновзорванные скальные породы ($f = 10-16$) Coarsely blasted rocks ($f = 10-16$)	22–29
Рыхлые глины ($f = 1-2$) Loose clays ($f = 1-2$)	35–38
Песчаные и глинистые породы ($f = 1-2$) Sandy and clayey rocks ($f = 1-2$)	36–41
Мелковзорванные аргиллиты и алевролиты ($f = 4-6$) Finely blasted mudstones and siltstones ($f = 4-6$)	30–32

Сопоставление продолжительности рабочего цикла бульдозера при различных схемах показало, что смешанные схемы по сравнению с торцевыми обеспечивают увеличение производительности бульдозера в 1,35 раза [1, 4, 6].

Расчетные скорости движения бульдозеров при выполнении отдельных операций взяты из работы В.В. Ржевского и В.Н. Сиренко [13].

Технические характеристики мощных гусеничных бульдозеров, использующихся на отвальных работах, представлены в [7, 8]. Вместимости отвалов определены по рекомендованной SAE (Общество автотракторных инженеров) методике J1265 [8].

Исследования выбора технологических схем бульдозерного отвалообразования при одновременной разгрузке железнодорожного состава показали рациональность применения торцевых схем. Прежде всего это обусловлено сокращением энергетических затрат при выполнении отвальных работ, так как при смешанных схемах предусматривается штабелирование породы одним из бульдозеров, а другим — перемещение ее из штабеля.



К исследованию принимается торцевая схема бульдозерного отвалообразования с применением двух бульдозеров и предлагается диагональная торцевая схема.

При выбранной схеме отвалообразования дальность перемещения породы не является постоянной величиной и зависит от угла между кромкой отвального уступа и осью железнодорожных путей γ , который в свою очередь определяется шириной отвальной заходки (технической), принимаемой в расчетах $B_{\text{зах техн}}$.

В публикациях [10–12] указывается, что рациональная ширина отвальной заходки при бульдозерном отвалообразовании может достигать 100 м. Соответственно, для проведения инженерных расчетов угол γ составит

$$\gamma = \arctg \frac{B_{\text{зах техн}}}{L_{\text{сост}}} = \frac{100}{150} = 0,6666 = 33,2^\circ, \quad (5)$$

где $L_{\text{сост}}$ — длина разгружающегося на отвале состава, м; для состава, состоящего из 10 105-тонных думпкаров, $L_{\text{сост}} \approx 150$ м.

Сменная (техническая) производительность бульдозера определяется по формуле

$$Q_6 = \frac{3600 T_{\text{см}} V K_6 K_z}{T_{\text{ц}} K_p}, \quad \text{м}^3, \quad (6)$$

где $T_{\text{см}}$ — продолжительность рабочей смены, ч; $V_{\text{вол}}$ — объем призмы волочения, м^3 ,

$$V_{\text{вол}} = \frac{h_0^2 l}{2 \text{tg} \alpha}, \quad \text{м}^3, \quad (7)$$

где h_0 — высота отвала бульдозера, м; l — длина отвала бульдозера, м; K_6 — коэффициент использования машины во времени в течение смены ($K_6 = 0,8–0,9$); K_z — коэффициент, учитывающий изменение производительности бульдозера из-за наличия крупных кусков в навале ($K_z = 0,8–0,98$); K_p — коэффициент разрыхления породы ($K_p = 1,1–1,3$); $T_{\text{ц}}$ — время цикла, с; α — угол откоса развала, град.

Время цикла для предложенной диагональной торцевой схемы бульдозерного отвалообразования рассчитывается по формуле (1). Но при этом для инженерных расчетов дальность перемещения породы B принимается средней $B_{\text{ср}}$ по отношению к ширине заходки (технической) $B_{\text{зах техн}}$ [1].

Расчеты по формулам (1), (5), (6), (7) для мощных бульдозеров при перемещении различных пород (при расчетах величина угла ϕ из табл. 2 принимается средней) представлены в табл. 3.

Показатели часовой производительности бульдозера $Q_{6, \text{час}}$ (в пересчете на целик), необходимые в дальнейших расчетах для сравнения показателей часовой производительности драглайна и часовой приемной способности отвального тупика, приводятся как часовые по той причине, что в течение смены возможны остановки оборудования и коэффициент использования машин во времени гораздо меньше, чем при расчете за час работы. Часовую производительность пересчитывали по породам, физико-механические свойства которых близки к вскрышным

породам железорудных месторождений Курской магнитной аномалии.

Суточная приемная способность бульдозерного отвального тупика определяется по формуле

$$W = N n_6 q, \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8)$$

где N — число составов, подаваемых на отвальный тупик в сутки; $n_6 q$ — емкость породного состава, м^3 .

Число составов определяется по формуле

$$N = \frac{Tf}{\frac{2L_c}{v_c} + \frac{2L_m}{v_m} + n_6 t_p + t_c}, \quad (9)$$

где T — число часов работы отвального тупика в сутки (принимается $T = 21$ ч); f — коэффициент неравномерности подачи составов на тупик (принимается $f = 0,85$); L_c — длина соединительных путей, км (принимается $L_c = 1$ км); v_c — средняя скорость движения породного состава по соединительным путям, км/ч (принимается $v_c = 20$ км/ч); L_m — длина тупика, м (принимается $L_m = 1,2$ км); v_m — средняя скорость движения состава по тупику с учетом разгона и замедления, км/ч (принимается $v_m = 10$ км/ч); n_6 — число вагонов в составе (принимается $n_6 = 10$); t_p — время разгрузки одного думпкара, ч (принимается $t_p = 0,02$ ч); t_c — время на связь, ч (принимается $t_c = 0,05$ ч).

В формулу (9) заложены показатели, используемые для расчета при схемах разгрузки железнодорожного состава на отвальном тупике, применяющиеся в настоящее время на практике. При существующих показателях суточное число составов N составит:

$$N = \frac{21 \cdot 0,85}{\frac{2}{20} + \frac{2,4}{10} + 0,2 + 0,05} = 30 \text{ сост/сут}. \quad (10)$$

Соответственно, суточная приемная способность бульдозерного отвала при разгрузке думпкаров марки BC-105 (105 т) составит порядка $W = 15\,000 \text{ м}^3$. Это не обеспечивает необходимых объемов горно-капитальной вскрыши при высоких темпах углубочных работ и приводит к увеличению приемных отвальных площадок, что является нерациональным и неэкономичным [1].

Одним из возможных вариантов увеличения приемной способности отвального тупика является прокладка двух железнодорожных путей по всей длине отвала: грузового и порожнякового. Оба пути через $\sim 400–450$ м должны быть соединены между собой стрелочными переводами, расстояние между которыми принимаем как длину блока отвального тупика $l_{\text{бл. м}}$ (для расчетов принимается $l_{\text{бл. м}} = 400$ м).

Сократить время разгрузки состава можно за счет одновременной разгрузки всех его вагонов, которую обеспечивает полустационарная компрессорная установка с производительностью в 8–10 раз больше производительности локомотива, что обеспечит разгрузку всего состава за 2–6 мин. Компрессорная установка располагается на отвальном уступе (воздуховод прокладывается между грузовым и порожняковым путями).

С учетом указанных предложений расчетная формула будет иметь вид



ТАБЛИЦА 3. Расчеты для мощных бульдозеров при перемещении различных пород

TABLE 3. Calculations for powerful bulldozers when moving various rocks

Фирма-производитель, страна Company manufacturer, a country	Модель Model	$V_{ср.}$ м	$T_{цг}$ с	$V_{вол.}$ м	$Q_{б.сутг}$ м ³	$Q_{б.часг}$ м ³
Крупновзорванные скальные породы ($f = 10-16$), ф						
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D10N	50	275,0	17,0	1047,6	—
Россия Russia	ДЗ-159УХЛ			24,6	1516,0	—
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D11N			26,3	1620,8	—
«Комацу», Япония Komatsu, Japan	D575A-2			31,4	1935,1	—
Мелковзорванные аргиллиты и алевролиты ($f = 4-6$), ф						
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D10N	50	155,6	17,0	1851,6	—
Россия Russia	ДЗ-159УХЛ			24,6	2679,4	—
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D11N			26,3	2864,5	—
«Комацу», Япония Komatsu, Japan	D575A-2			31,4	3420,0	—
Рыхлые глины ($f = 1-2$), ф						
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D10N	50	83,8	17,0	4063,1	638,48
Россия Russia	ДЗ-159УХЛ			24,6	5879,7	923,9
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D11N			26,3	6285,9	987,8
«Комацу», Япония Komatsu, Japan	D575A-2			31,4	7504,9	1179,0
Песчаные и глинистые породы ($f = 1-2$), ф						
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D10N	50	80,5	17,0	4652,7	731,1
Россия Russia	ДЗ-159УХЛ			24,6	6732,7	1057,9
«Катерпиллер», США Caterpillar, USA	D11N			26,3	7198,0	1131,1
«Комацу», Япония Komatsu, Japan	D575A-2			31,4	8593,8	1350,5

$$N = \frac{Tf}{\frac{2L_c}{v_c} + \frac{l_{бл.м}}{v_m} + t_{сост} + t_g} = 78 \text{ сост /сут,} \quad (11)$$

где T — число часов работы отвального тупика в сутки (принимается $T = 21$ ч); f — коэффициент неравномерности подачи составов на тупик (принимается $f = 0,85$); L_c — длина соединительных путей, км (принимается $L_c = 0,4$ км); v_c — средняя скорость движения породного состава по соединительным

путям, км/ч (принимается $v_c = 20$ км/ч); $l_{бл.м}$ — длина блока отвального тупика, м (принимается $L_m = 0,4$ км); v_m — средняя скорость движения состава по тупику с учетом разгона и замедления, км/ч (принимается $v_m = 10$ км/ч); $t_{сост}$ — время разгрузки состава, ч (принимается $n_g t_p = 0,1$ ч); t_c — время на связь, ч (принимается $t_c = 0$ ч, так как связь автоматическая); t_g — время подключения и отключения воздухопровода компрессорной установки к составу, ч (принимается $t_c = 0,05$ ч).

$$W = 78 \cdot 10 \cdot 45 = 35\ 100 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (12)$$

Предложенные решения повышают приемную способность одного отвального тупика и обеспечивают только до 0,5 суточной производительности драглайна. Соответственно, один мощный драглайн должны обслуживать два бульдозерных отвальных тупика.

Литература/References

1. Деревяшкин И.В. Резервы повышения производительности отвального тупика при бульдозерном отвалообразовании. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Инженерные исследования. 2000; 2. [Derevyashkin I.V. Reserves for increasing the productivity of a dump impasse during bulldozer dumping. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Engineering Research series. 2000; 2. (In Russ.)].
2. Деревяшкин И.В., Фидель Р.А., Корчагин С.Е. Строительство мощных железорудных карьеров. Проектирование, практика строительства, теоретические изыскания новых технологических решений. М.: РУДН, 1998. [Derevyashkin I.V., Fidel R.A., Korchagin S.E. Construction of powerful iron ore quarries. Design, construction practice, theoretical research of new technological solutions. Moscow: RUDN, 1998. (In Russ.)].
3. Деревяшкин И.В., Кашпар Л.Н. Условия эффективного применения драглайнов на горно-капитальных работах. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008; 7. [Derevyashkin I.V., Kashpar L.N. Conditions for the effective use of draglines in mining and capital works. Mining Information and Analytical Bulletin. 2008; 7. (In Russ.)].
4. Деревяшкин И.В., Кашпар Л.Н. Перспективы применения драглайнов на железорудных карьерах России. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006; 8. [Derevyashkin I.V., Kashpar L.N. Prospects for the use of draglines in the iron ore quarries of Russia. Mining Information and Analytical Bulletin. 2006; 8. (In Russ.)].
5. Деревяшкин И.В. Драглайны: шаги из прошлого в будущее. Мировая горная промышленность 2004–2005, история, достижения, перспективы. Под ред. Ю.Н. Малышева. М.: Горное дело, 2005. [Derevyashkin I.V., Malyshev Yu.N. (Ed.). Draglines: steps from the past to the future. The world mining industry 2004–2005, history, achievements, prospects. Moscow: Mining, 2005. (In Russ.)].
6. Открытые горные работы. Справочник. М.: Горное бюро, 1994. [Open-pit mining. Handbook. Moscow: Mining Bureau, 1994. (In Russ.)].
7. Technical and operational characteristics of Caterpillar machines. USA, 2006.
8. Methodology J1265 for calculating the productivity of bulldozers recommended by SAE (Society of Automotive Engineers), 2016.
9. Кумачев К.А., Майминд В.Я. Проектирование железорудных карьеров. М.: Недра, 1993. [Kumachev K.A., Maymind V.Ya. Design of iron ore quarries. Moscow: Nedra, 1993. (In Russ.)].
10. Русский И.И. Отвальное хозяйство карьеров. М.: Недра, 1971. [Russian I.I. Dump management of quarries. Moscow: Subsoil, 1971. (In Russ.)].
11. Русский И.И. Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах. М.: Недра, 1979. [Russian I.I. Technology of dump operations and reclamation at quarries, Moscow: Subsoil, 1979. (In Russ.)].
12. Русский И.И. Бульдозерное отвалообразование при железнодорожном транспорте. Горный журнал. 1971; 9. [Russky I.I. Bulldozer dump formation at railway transport. Mining Magazine. 1971; 9. (In Russ.)].
13. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 1, 2. М.: Недра, 1985. [Rzhevsky V.V. Open-pit mining. Part 1, 2. Moscow: Nedra, 1985. (In Russ.)].

Вклад авторов. И.В. Деревяшкин, А.А. Садыков: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. I.V. Derevyashkin, A.A. Sadykov: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.

Принята к публикации: 22.02.2024.

Article received: 12.01.2024.

Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Деревяшкин Игорь Владимирович, д.т.н., профессор, профессор кафедры техники и технологии горного и нефтегазового производства. Московский политехнический университет. Адрес: Россия, 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38. Профессор кафедры горного дела, филиал

Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Адрес: Россия, 309186, Белгородская область, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16.

Телефон: +7 499 649-44-80. E-mail: vopros@misis.ru. ORCID: 0000-0002-1520-34550.

Садыков Артур Алексович, к.т.н., доцент кафедры открытых горных работ и электромеханики. Сибирский государственный индустриальный университет. Адрес: Россия, 654007, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кирова, д. 42. ORCID: 0000-0002-9068-800X.

AUTHORS INFORMATION

Derevyashkin Igor Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Engineering and Technology of Mining and Oil and Gas Production of Moscow Polytechnic University. Address: 38 Bolshaya Semyonovskaya str., Moscow, 107023, Russia. Professor of the Department of Mining, Branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: Russia, 309186, Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16. Phone: +7 499 649-44-80. E-mail: vopros@misis.ru. ORCID: 0000-0002-1520-34550.

Sadykov Artur Aleksovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Open-pit Mining and Electromechanics of Siberian State Industrial University. Address: 42 Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo region, 654007, Russia. ORCID: 0000-0002-9068-800X.



УДК 621.039.009
UDC 621.039.009

Оценка последствий в результате сброса жидких радиоактивных отходов в Тихий океан с аварийной АЭС «Фукусима»



Assessment of the Consequences Resulting from the Dumping of Liquid Radioactive Waste into the Pacific Ocean from the Emergency Fukushima Nuclear Power Plant

АВТОРЫ

AUTHORS

В.М. Кузнецов¹, д. т. н., профессор,
В.В. Спиридонова²

¹ ООО «Группа компаний "ИнтеллектСервис"», г. Москва, Россия

² ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва, Россия

V.M. Kuznetsov¹, V.V. Spiridonova²

¹ LLC Group of companies Intellectualservice, Moscow, Russia

² Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI Federal State Budgetary Institution, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

С момента радиационной аварии на АЭС «Фукусима-1» прошло более 10 лет. Вызывают вопросы не только технические аспекты, но и целесообразность, своевременность и эффективность ряда организационных решений. В связи с этим особенно важно прийти к пониманию того, какие стратегические ошибки вызвали неблагоприятный сценарий развития аварии и ликвидации ее последствий. Для коренного перелома положения дел на аварийной АЭС «Фукусима-1» и прекращения сброса жидких радиоактивных отходов (ЖРАО) в Тихий океан предлагаются подходы по реализации поставленных целей. Подходы основываются на многократно апробированных технологических решениях, которые дали исключительно положительный результат при ликвидации последствий радиационных аварий, инцидентов и не требуют дополнительной апробации.

More than 10 years have passed since the radiation accident at the Fukushima-1 nuclear power plant. Not only technical aspects raise questions, but also the expediency, timeliness and effectiveness of a number of organizational decisions. In this regard, it is especially important to come to an understanding of what strategic mistakes caused the unfavorable scenario of the accident and the elimination of its consequences. In order to radically reverse the situation at the emergency Fukushima-1 nuclear power plant and stop the dumping of liquid radioactive waste (LRW) into the Pacific Ocean, approaches are proposed to achieve the goals set. The approaches are based on repeatedly tested technological solutions that have yielded exceptionally positive results in eliminating the consequences of radiation accidents and incidents and do not require additional testing.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, АЭС «ФУКУСИМА-1, -2», ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР, ЖИДКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ, СПЕЦАВТОТРАНСПОРТ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЖРАО, РАДИОАКТИВНОСТЬ, ТРИТИЙ, ОЧИСТКА

NUCLEAR POWER ENGINEERING, FUKUSHIMA-1, -2, NUCLEAR POWER PLANT, NUCLEAR REACTOR, LIQUID RADIOACTIVE WASTE, SPECIAL VEHICLES FOR THE TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE WASTE, RADIOACTIVITY, TRITIUM, PURIFICATION

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Кузнецов В. М., Спиридонова В. В. Оценка последствий в результате сброса жидких радиоактивных отходов в Тихий океан с аварийной АЭС «Фукусима». Технический оппонент. 2024. 1 (13): 12–21. [Kuznetsov V. M., Spiridonova V. V. Assessment of the consequences resulting from the dumping of liquid radioactive waste into the Pacific Ocean from the emergency Fukushima nuclear power plant. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 12–21. (In Russ.)].

Введение

Компания-оператор атомной электростанции (АЭС) «Фукусима-1» ТЕРСО 24 августа 2023 г. начала сброс в Тихий океан воды, которая до этого служила для охлаждения поврежденных реакторов,

а затем прошла очистку в системе ALPS. Система позволяет очистить ее от 62 видов радионуклидов, за исключением трития. Эта вода хранится в гигантских резервуарах на территории станции. К настоящему времени почти 90% от их объема в 1,37 млн т заполнены.



Общий объем сброшенной в течение 2023 финансового года, который завершится 31 марта 2024 г., воды с аварийной АЭС «Фукусима-1» в Японии составит 31,2 тыс. т с концентрацией радиоактивного трития 5 трлн беккерелей.

Китай и ряд других стран выступают с острой критикой подобных действий. В частности, КНР запретила импорт всей японской продукции морского промысла и усилила таможенный контроль других продуктов из Японии. О присоединении к ограничительным мерам Китая в отношении поставок рыбной продукции из Японии 16 октября 2023 г. заявил Россельхознадзор.

Согласно анализу, опубликованному ТЕРСО, на первом этапе будет сброшена вода из трех отдельных групп резервуаров, для которых проведен анализ по содержанию 64 радионуклидов. Эта вода будет разбавляться морской водой в отношении не менее чем 100 : 1, поэтому концентрация трития (в пересчете на создаваемый им радиоактивный фон) будет не более 1500 беккерелей на литр (Бк/л).

Это в идеале, а как будет в реальности, не знает никто. Кто будет в течение 10 лет контролировать этот сброс? Фирма, которая допустила радиационную аварию и до сих пор не может с ней справиться.

Скорее всего, этот сброс будет более длительным, так как у оператора АЭС будут развязаны руки, поскольку сброс — это самый экономичный способ избавиться от жидких радиоактивных отходов (ЖРАО) с аварийной АЭС. К слову, притязания Японии на Курилы обострились еще и по той причине, что всю свою прибрежную зону они варварски «вычистили» до «доньшка», и их манит богатая фауна в водах Курильских островов. Отсюда никакого доверия к обещаниям японцев очистить сбрасываемую воду от радиоактивных элементов нет. Интересен исторический факт об имевшей место в середине 1950-х гг. истории с болезнью Минамата («болезнь кошачьего танца»), когда из-за сбросов в океан японской химической компанией Chisso Corporation промышленных вод в небольшом приморском городе Минамата пострадало более 2 тыс. человек, были умершие. Пострадали и животные (птицы буквально падали с неба). Новый вид болезни поражал нервную систему и влиял на наследственность. «Танец смерти» в течение 30 лет уносил жизни людей, а убийцы хранили молчание (tsargrad.tv).

Итак, известно, что накоплено больше 1,37 млн м³ жидких радиоактивных отходов.

Морские течения на поверхности и на глубине разные. Из некоторых точек тритий может разнести по всему Мировому океану, что окажет влияние не только на рыбные ресурсы, но и на беспозвоночных и другую на морскую фауну.

При выборе места сброса необходимо учитывать пути миграции морских биоресурсов. Так, например, через район «Фукусимы» мигрируют многие виды рыб — та же любимая россиянами сайра, которая потом идет к южным берегам Курил, где ее и ловят. Через эти места мигрирует тихоокеанский кальмар, так что и он может получить некоторую дозу. Лососевые нерестятся в верховьях рек, а растут в открытом море, переходя в северную часть Тихого океана,

в районы Командорских и Курильских островов, Камчатки, где откармливаются три-четыре года. Если в это время они попадут (даже ненадолго!) в струю течения, где в значительных концентрациях есть тритий и еще какие-то дополнительные элементы, они могут их накопить, в том числе через пищевую цепочку (фито- и зоопланктон). Возможно, дозы радиации будут неопасны для употребления рыбы в пищу, но неизвестно, как в будущем они отразятся на репродуктивных способностях популяции лососевых.

Сайра, минтай, сельдь и многие другие рыбы не только мигрируют, но и питаются мелкими планктонными животными, которые при фильтрационном питании могут накопить в себе различные радиоактивные изотопы. Даже донные — моллюски, крабы, кукумария, морские ежи — через существующую цепочку пищевых связей могут получить подобные загрязнения.

Мигрирующие рыбы движутся вдоль берега и придерживаются береговой линии. По сути, прибрежная зона — это полоса над шельфом от 100 до 200 км от берега, где сосредоточены основные скопления промысловых животных.

Группа океанологов под руководством Ху Чжэнь-Чжуна, доцента университета Цинхуа в Пекине (Китай), провела детальные подсчеты последствия слива этих загрязненных вод и проследила за тем, как присутствующие в них радионуклиды будут распространяться по акватории Тихого океана в ближайшие 10 лет. Исследования показали, что радиоактивные вещества будут быстро распространяться по всей северной акватории Тихого океана. В первые три месяца они достигнут тропиков и выйдут в срединные регионы океана, а в последующие три года дойдут до берегов Северной Америки и Австралии. В результате повышенный уровень трития и других радионуклидов будет наблюдаться почти на половине акватории Тихого океана.

Особенно высокий уровень загрязнения, как прогнозируют китайские океанологи, будет в окрестностях Калифорнии, где концентрация трития станет значительно выше, чем у берегов Японии, примерно через шесть лет после слива воды. Ученые связывают это с характером движения течений в Тихом океане, благоприятствующим транспортировке радионуклидов от берегов Японии в сторону США.

Так что необходимо сделать до сброса ЖРАО? Прежде всего провести исследования влияния воды, которую планируется сбросить в океан, того же трития, на развитие эмбрионов лососевых и других морских обитателей. К сожалению, публикаций на эту тему в международной научной литературе практически нет, а «атомные ведомства» не заинтересованы в таких исследованиях.

Масштаб катастрофы на «Фукусиме» намного серьезнее. Неслучайно Китай, Корея и наша страна выразили озабоченность планами Японии. Думаем, что нужно создавать международную лабораторию (даже несколько!) для исследований влияния «тритиевой воды» на морские организмы. Функционирование лаборатории должно быть независимым от деятельности ТЕРСО и правительства Японии,



а ее финансирование осуществляться Японией по каналам ООН.

Это поможет не только оценить нанесенный экологический ущерб, но и разработать мероприятия по предотвращению загрязнения Мирового океана радиоактивными отходами.

Заявления японской стороны, что уровень загрязнения будет в 40 раз ниже безопасного, принятого у них в стране, нас, как авторов этой статьи, абсолютно не убеждает. Для сравнения — национальный нормативный стандарт Японии составляет уровень не более 60 000 Бк/л, а рекомендации Всемирной организации здравоохранения по качеству питьевой воды — не более 10 000 Бк/л. Для человека эта доза может быть безопасна, а для какого-то обитающего в море чувствительного организма смертельна и будет способствовать генетическим нарушениям. Необходимо минимизировать ущерб океану не на словах, а на деле. Поэтому считаем, что нужно наладить международный мониторинг с участием специализированных океанологических институтов, чтобы понимать, в каком возможном направлении эта вода будет разнесена.

Ну а как реагирует на эти действия японского правительства мировое сообщество? Практически никак, отдельные возражения есть у Южной Кореи и Китая. Бездействуют Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Всемирный фонд дикой природы (WWF), Международный трибунал по морскому праву (МТМП), и, наконец, молчит Совет безопасности ООН.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) вообще решило поддержать сброс радиоактивных отходов (РАО) с АЭС. Почему не возражает МАГАТЭ, понятно, ведь эта организация функционирует на деньги стран, которые входят в нее и которые десятилетиями сбрасывают РАО в Мировой океан.

МАГАТЭ было создано ООН в 1957 г. после известной речи Дуайта Эйзенхауэра «Атомы для мира», в которой он сказал о необходимости распространения мирного атома и контроля за военным применением атомной энергии. Это уникальное подразделение ООН — единственное, призванное способствовать распространению одной технологии. Все остальные агентства ООН связаны с такими проблемами, как культура (ЮНЕСКО), сельское и лесное хозяйство (ФАО), охрана окружающей среды (ЮНЕП), здоровье (ВОЗ), проблемы беженцев, развивающиеся страны, демография, голод, климат, метеорология. Естественно, что технологии в решении всех этих глобальных проблем являются подчиненными, вторичными: сегодня одни, завтра, по мере развития науки и техники, — другие. МАГАТЭ же как будто застыло на уровне менталитета 50-х гг. прошлого века: атомная энергия несет избавление человечеству от всех бед, и нужно только получше присматривать за ядерным оружием, которое разрешено иметь пяти избранным странам. Организация олицетворяет собой осуществление в международном масштабе порочного принципа «козла в огороде»: одновременной поддержки распространения ядерных технологий и регулирования использования атомной энергии.

МАГАТЭ давно себя дискредитировало подходами к проблемам обеспечения безопасности использования атомной энергии. Атомным ведомствам можно (разрешено) систематически нарушать международное законодательство. Организация абсолютно политизирована и выполняет указания США, так как США являются ее основным донором. США диктуют Японии выбор стран-помощников, выбор применяемых АЭС технологий и многое другое. От русской помощи с активом в виде огромного опыта ликвидации чернобыльской аварии японцы отказались.

Интересен факт, что бывший генеральный директор МАГАТЭ Юкия Аmano, который возглавлял эту организацию с 2009 г., так ни разу и не появился у себя на родине в Японии на аварийной АЭС.

Ну а почему молчат российские государственные организации в лице Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), Министерства иностранных дел Российской Федерации (МИД России), Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России), Ростехнадзора, Росприроднадзора, Роспотребнадзора и многие другие? Как ни прискорбно, никто и никогда в России не работает на опережение аварий или катастроф, которые могут произойти. Все ждут команды, которая если и поступает, то с большой задержкой, вот тогда все забегает. Но поздно: люди погибли, природная окружающая среда безвозвратно потеряна, и таких примеров можно привести много. Отсутствие инициативы, техническая безграмотность, коррупция — вот основные причины подобного состояния дел. А ведь после слива ЖРАО с аварийной АЭС будет поздно.

А где российские общественные организации? Их вообще не видно на горизонте вышеобозначенных событий. Это или безграмотные крикуны, которые лезут в политику, или организации, сидящие на двух стульях. И нашим и вашим!

Не молчит только Российская академия наук в лице научного руководителя ИБРАЭ РАН академика Л.А. Большова, который, как США и МАГАТЭ, решил поддержать идею сброса ЖРАО с АЭС «Фукусима» в Тихий океан. Как можно делать такие заявления? Без проведения самостоятельных натурных исследований, без расчетов радиационного риска последствий предполагаемого сброса ЖРАО с АЭС «Фукусима-1» для человека, а также морской фауны и флоры, не имея результатов десятилетнего радиационного мониторинга акваторий Японского, Охотского морей и акватории Тихого океана, находящегося в российской экономической зоне влияния, без всестороннего научного обсуждения, опираясь только на данные оператора АЭС — фирмы ТЕРСО. Тема для обсуждения крайне сложна и глобальна для России, как, впрочем, и других стран, как, например, Северная и Южная Корея, Китай, Канада, США и др. Ведь на карте стоит вопрос о возможной потере на сотни лет биоресурсов Тихого океана. Нам видится, что давно назрела необходимость выступить единым фронтом против действий японского правительства и провести международное обсуждение вопроса сброса ЖРАО с аварийной АЭС.



Практика затопления и сброса радиоактивных отходов в Мировой океан была общепринятой в 40–80-х гг. прошлого века в странах, развивающих мирное и военное использование ядерной энергии, и такая практика существует по настоящее время. Интересен тот факт, что ни одна из государственных и общественных природоохранных организаций не обращает внимания на противозаконные действия атомных ведомств стран, которые десятилетиями сбрасывают РАО в Мировой океан.

Первую операцию по сбросам радиоактивных отходов провели США в 1946 г. в северо-восточной части Тихого океана, затопив твердые радиоактивные отходы (ТРО) в 80 км от побережья Калифорнии. Убеждение в безопасности этих операций было настолько сильным, что даже не были надежно зафиксированы данные ни об их активности, ни о радионуклидном составе. Вскоре к такой же практике захоронения радиоактивных отходов прибегли и другие государства: Великобритания, затопившая их в Северной Атлантике с 1949 г., а затем с 1960 г. Бельгия, избравшая для этой цели пролив Ла-Манш рядом с побережьем Франции, и многие другие. Новая Зеландия и Япония осуществляли такие работы вблизи своих берегов в Тихом океане начиная с 1954 г. В 1959 г. США впервые затопили в Атлантическом океане корпус корабельного ядерного реактора, демонтированного с атомной подводной лодки *Seawolf* [1].

Эволюция разработки международных документов по сбросу РАО

• С 1957 г. МАГАТЭ стало разрабатывать методологию безопасного удаления радиоактивных отходов в морях.

• 1957 г. — первое совещание Консультативной группы МАГАТЭ по сбросу радиоактивных отходов в море.

• 1958 г. — первая Конференция Организации Объединенных Наций по морскому праву (ЮНКЛОС I).

• 1972 г. — принятие Конвенции о предотвращении загрязнения моря сбросами отходов и других материалов (Лондонская конвенция 1972 г.).

• 1975 г., Лондон — вступила в силу Конвенция 1972 г. (запрещение захоронения высокоактивных радиоактивных отходов).

• 1983 г. — мораторий на сброс низкоактивных радиоактивных отходов.

• 1988 г. — оценка воздействия глубоководного захоронения низкоактивных радиоактивных отходов на живые морские ресурсы, Серия технических отчетов МАГАТЭ, № 288.

• 1990 г. — оценка радиационных рисков при малых дозах, IAEA-TECDOC-557.

• 20 февраля 1994 г. — вступил в силу полный запрет на захоронение радиоактивных отходов в море.

Всего в 1946–1982 гг. (в основном во время действия Лондонской конвенции) затопление радиоактивных отходов осуществляли 14 стран в 47 районах Атлантического и Тихого океанов. По обобщенным

данным первой инвентаризации, выполненной экспертами МАГАТЭ в 1991 г., за 36 лет в морях Мирового океана было затоплено 1,24 МКи (46 ПБк) радиоактивных отходов без учета вклада СССР. Подавляющая их часть (~ 98%) приходится на северную часть Атлантики. Здесь в 15 районах было затоплено 1,22 МКи (45,31 ПБк) РАО, главным образом за счет твердых радиоактивных отходов (ТРО), удаленных Великобританией (~ 78%). В Тихом океане доминирует доля отходов США (~ 97%). В Дальневосточном регионе, кроме упомянутых выше Новой Зеландии и Японии, затопление радиоактивных отходов проводила Южная Корея вблизи своего побережья в Японском море. В 1983 г. страны — участницы Лондонской конвенции, в основном под давлением зеленого движения, приняли решение о моратории — добровольной приостановке захоронения РАО в моря. В то же время эта конвенция, разрешающая и регулирующая дампинг отходов, в том числе и радиоактивных, была переименована в Конвенцию по предотвращению загрязнения морей сбросами отходов и других материалов. В 1993 г. страны — участницы Лондонской конвенции запретили затопление любых РАО в морях, ссылаясь на недостаточную изученность радиоэкологических последствий операций по удалению отходов в Мировой океан. Впервые сведения об удалении РАО в омывающие нашу страну моря были опубликованы в 1993 г. в материалах Правительственной комиссии, более известных как «Белая книга 1993 г.» [2].

Поступление РАО с западноевропейских радиохимических заводов (в основном в Ирландское море с английского завода «Селлафилд» и в пролив Ла-Манш с французского радиохимического завода на мысе Ла Аг) оказало заметное влияние на техногенную радиоактивность Атлантического океана. Максимальные объемы сброса отходов отмечены в 1974–1978 гг.

Великобритания, сбросы РАО в Ирландское море с завода «Селлафилд». Начиная с 1952 г. комплекс «Селлафилд» проводит регулярный сброс низкоактивных радиоактивных отходов (НАО) в Ирландское море посредством системы трубопроводов, проложенной на глубине 2,5 км от уровня наибольшего прилива. Система трубопроводов была сооружена еще в 1950 г., и при ее проектировании использовались данные по изучению движения морских течений и экспериментов по разбавлению радиоактивных веществ, полученные в 1947 г. в ходе исследований ВМС Великобритании. Дальнейшие исследования приливных явлений, миграции рыбы, а также поглощения радионуклидов рыбой и морскими растениями позволили установить допустимые нормы сброса в море. В 1952 г. суммарная активность сброса составила 370 ТБк. Между тем официальные данные об объемах и активности ЖРО, ежегодно сбрасываемых в Ирландское море, стали открыто публиковаться лишь с 1979 г. В 1970–1975 гг. доминирующими радионуклидами в выбросах были плутоний и америций, что было обусловлено увеличением объема переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Сегодня активность сбросов в Ирландское море значительно снизилась: об этом свидетельствуют данные, представленные



в отчетности к Конвенции по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики (ОСПАР).

Основными источниками выбросов продолжают оставаться заводы по переработке ОЯТ (THORP и В-205). Еще один источник сброса ЖРО — работы по выводу из эксплуатации исторических установок «Селлафилда», в том числе хранилищ ОЯТ. Жидкие среднеактивные радиоактивных отходов (САО) и НАО от переработки ОЯТ подлежат предварительной обработке на установке по удалению актинидов (Enhanced Actinide Removal Plant), а ЖРО от вывода из эксплуатации бассейнов-хранилищ ОЯТ направляются на установку по ионно-обменной очистке (SIXER). Среди радионуклидов следует особо выделить Тс-99, присутствие которого в выбросах ЖРО обусловлено переработкой ОЯТ «Магнокс». Удалять этот радионуклид установка для удаления актинидов не позволяет, а сооружение отдельной установки по удалению технеция было признано нецелесообразным. Поэтому он сбрасывается непосредственно в Ирландское море. Радует тот факт, что начиная с 2023 г. деятельность этого предприятия остановлена.

Франция, сбросы РАО с комплекса Ла Аг. Комплекс занимает площадь 300 га и расположен в 25 км от г. Шербурга и в 5 км к югу от мыса Ла Аг на полуострове Котантен (Ла-Манш). Основные установки комплекса Ла Аг — действующие заводы по переработке ОЯТ UP-2 и UP-3, а также закрытый в 1979 г. опытный перерабатывающий завод. Здесь же находится хранилище оружейного плутония и несколько пунктов временного хранения РАО (в том числе здесь хранится 10 000 т ОЯТ, а также ЖРО от переработки ОЯТ). На востоке комплекса расположен пункт хранения Манш (15 га), действовавший с 1969 по 1992 г. и принимавший короткоживущие САО и НАО со всей Франции.

Необходимо отметить два основных источника радиоактивного загрязнения окружающей среды на площадке — это 285-метровая отводная труба и подземный трубопровод, собирающий жидкие отходы со всей территории площадки и отводящий их в Ла-Манш. Известно, что всего за один год (с 1976 по 1977 г.) было зафиксировано 39 протечек этого трубопровода, которые привели к значительному загрязнению побережья и пресноводных источников. Долгое время официальных лимитов по объемам и активности выбросов и сбросов РАО Ла Ага не существовало, и только 22 октября 1980 г. такие нормы были утверждены.

Объемы сброса ЖРО в море за 22 года постепенно выросли с 30 000 до 130 000 м³ в год, что объяснялось увеличением объемов переработки ОЯТ с 400 т в год в 1967 г. до 800 т в год в 1987 г. Регулярный сброс низкоактивных ЖРО в море продолжается в Ла Аге до сих пор.

Инциденты при сбросе ЖРАО

02.01.1980 г. В 200 м от побережья обнаружена трещина протяженностью 1 м в трубе, отводящей ЖРО в море. Результаты более поздних исследований показали, что в отчете комиссии данные по сбросу стронция были занижены почти в 200 раз

по сравнению с реальными: 407 Бк/кг Sr-90 вместо заявленных 2 Бк/кг. Согласно оценкам, дозовая нагрузка на лица из критической группы населения (рыбаки) в 3,5 раза превысила установленные пределы (3,486 мЗв вместо действующего предела 1 мЗв в год).

11.03.1997 г. Результаты исследований независимой лаборатории зафиксировали повышенную мощность эквивалентной дозы вблизи трубы для отвода ЖРАО в низшей точке отлива. Инциденту присвоен 1-й уровень по шкале ИНЕС. СОГЕМА подтвердила значение мощности дозы 0,3 мЗв в год, что свидетельствовало о том, что концентрация Sr-90 внутри трубы достигает уровня, при котором в соответствии с действующей во Франции классификационной системой территории вблизи трубы относятся к категории «ядерная установка».

Сбросы Японии

В период 1955–1969 гг. Японией к югу от о. Хонсю, где расположены шесть площадок, в общей сложности был сброшен 3031 контейнер объемом 606 000 м³. Сбросы производились 15 раз.

С момента ввода в эксплуатацию первого блока АЭС «Фукусима-1» (26.03.1971 г.), как, впрочем, и последующих блоков АЭС, со сбросными водами осуществлялся сброс трития и других радионуклидов в воды Тихого океана.

Только за три месяца после катастрофы, с 11 марта по 1 июля 2011 г., в Тихий океан были сброшены радиоактивные химические вещества в объемах, превышающих выброс во время чернобыльской катастрофы. Уже тогда целый ряд известных в мире ученых доказали, что официальные японские оценки не соответствуют действительности. То есть выбросы были еще объемнее. Да и как иначе, если с места аварии ежедневно стекало в Тихий океан 300 т радиоактивных отходов. В итоге и военные, и гражданские службы мониторинга, в том числе и в России, уже через пять лет после аварии отмечали повышенную радиоактивную картину по всей площади Тихого океана.

В период с июля по август 2011 г. с баржи «Мегафлот» произведен сброс 60 000 м³ ЖРАО. Размеры баржи: 136 × 46 × 3 м. Сброс произведен без указания района сброса, химического и радионуклидного состава. ТЕРСО уверяло, что больше подобных сбросов не будет, но история повторяется.

Информация об АЭС

«Фукусима-1» — атомная электростанция, расположенная в г. Окума уезда Футаба префектуры Фукусима. Получила известность после аварии, произошедшей 11 марта 2011 г. До аварии шесть ее энергоблоков мощностью 4,7 ГВт делали «Фукусиму-1» одной из 25 крупнейших атомных электростанций в мире. «Фукусима-1» — первая АЭС, построенная и эксплуатируемая токийской энергетической компанией ТЕРСО. В декабре 2013 г. станция была официально закрыта. Проект разработан компанией General Electric (США), реакторы построены General Electric, Toshiba и Hitachi. Расположенная в 11,5 км



к югу АЭС «Фукусима-2» также эксплуатировалась компанией ТЕРСО.

Реакторные установки для первого, второго и шестого энергоблоков были сооружены американской корпорацией General Electric, для третьего и пятого — Toshiba, для четвертого — Hitachi. Все шесть реакторов спроектированы компанией General Electric. Архитектурное проектирование для энергоблоков General Electric выполнила компания Ebasco, все строительные конструкции возвела японская строительная компания Kajima. Тип, мощность и ввод в эксплуатацию энергоблоков приведены в **табл. 1**.

«Фукусима-2» — атомная электростанция, расположенная рядом с г. Нараха и поселком Томиока в уезде Футаба префектуры Фукусима. Расположенная в 11,5 км севернее АЭС «Фукусима-1», эта АЭС построена и эксплуатировалась токийской энергетической компанией ТЕРСО. В 2018 г. компания ТЕРСО заявила о выводе «Фукусимы-2» из эксплуатации. Тип, мощность и ввод в эксплуатацию энергоблоков приведены в **табл. 2**.

Авария на АЭС «Фукусима-1» 11 марта 2011 г. стала третьей крупной аварией в истории атомной энергетики после аварий на АЭС «Тримайл Айленд» в марте 1979 г. и ЧАЭС в апреле 1986 г.

Непосредственной причиной аварии на АЭС «Фукусима-1» стало мощное цунами, возникшее в результате крупнейшего в истории Японии зем-

летрясения. Однако детальный анализ событий однозначно показывает, что неблагоприятное развитие аварии было полностью обусловлено как ошибками в проекте станции, так и неготовностью руководства и персонала АЭС к управлению в аварийных условиях, которая не позволила оперативно принять меры по охлаждению активных зон, остановленных автоматическими системами реакторов АЭС. Результатом стало расплавление трех активных зон реакторов и взрывы образовавшегося при этом водорода. Среди стратегических ошибок оператора часто выделяют недостаточное внимание к ликвидации последствий радиационной аварии на Чернобыльской АЭС.

На 55-й генеральной конференции МАГАТЭ (октябрь 2011 г.) президент японского Агентства по атомной энергии Ацуюки Судзуки говорил о том, что «в отличие от других государств Япония не отнеслась с нужной серьезностью к изучению аварии на Чернобыльской АЭС. В частности, японские специалисты так и не осознали того факта, что запроектная авария может произойти в реальности».

Председатель Комиссии по ядерной безопасности (2010–2012) Мадараме Харуки сказал, что «японские правила атомной безопасности уступают мировым стандартам и сделали страну неподготовленной к ядерной катастрофе на "Фукусиме"». Были не-

ТАБЛИЦА 1. Тип, мощность и ввод в эксплуатацию энергоблоков

TABLE 1. Type, capacity and commissioning of power units

Энергоблок Power unit	Тип реакторов Reactor type	Мощность, МВт Power, MW		Начало строительства Start of construction	Энергетический пуск Energy start	Ввод в эксплуатацию Commissioning	Закрытие Closing
		Чистый Clean	Брутто Gross				
Фукусима I-1 Fukushima I-1	BWR-3	439	460	25.07.1967	17.11.1970	26.03.1971	19.05.2011
Фукусима I-2 Fukushima I-2	BWR-4	760	784	09.06.1969	24.12.1973	18.07.1974	19.05.2011
Фукусима I-3 Fukushima I-3	BWR-4	760	784	28.12.1970	26.10.1974	27.03.1976	19.05.2011
Фукусима I-4 Fukushima I-4	BWR-4	760	784	12.02.1973	24.02.1978	12.10.1978	19.05.2011
Фукусима I-5 Fukushima I-5	BWR-4	760	784	22.05.1972	22.09.1977	18.04.1978	17.12.2013
Фукусима I-6 Fukushima I-6	BWR-5	1067	1100	26.10.1973	04.05.1979	24.10.1979	17.12.2013
Фукусима I-7 (план) Fukushima I-7 (plan)	ABWR	1339	1380	Планы отменены 04.2011 Plans canceled 04/2011			
Фукусима I-8 (план) Fukushima I-8 (plan)	ABWR	1339	1380	Планы отменены 04.2011 Plans canceled 04/2011			



ТАБЛИЦА 2. Тип, мощность и ввод в эксплуатацию энергоблоков

TABLE 2. Type, capacity and commissioning of power units

Энергоблок Power unit	Тип реакторов Reactor type	Мощность Power, MW		Начало строительства Start of construction	Энергетический пуск Energy start	Ввод в эксплуатацию Commissioning	Закрытие Closing
		Чистый Clean	Брутто Gross				
Фукусима II-1 Fukushima II-1	BWR	1067	1100	16.03.1976	31.07.1981	20.04.1982	30.09.2019
Фукусима II-2 Fukushima II-2				25.05.1979	23.06.1983	03.02.1984	30.09.2019
Фукусима II-3 Fukushima II-3				23.03.1981	14.12.1984	21.06.1985	30.09.2019
Фукусима II-4 Fukushima II-4				28.05.1981	17.12.1986	25.08.1987	30.09.2019

достатки и слабое соблюдение правил безопасности, регулирующих деятельность японских атомных компаний, в том числе недостаточная защита от цунами. По его словам, атомная энергетика решительно выступала против принятия более строгих международных стандартов безопасности. Говоря о должностных лицах, игнорирующих ядерные риски, он также сказал: *«В итоге мы зря потратили время в поисках оправданий тому, что эти меры не нужны в Японии»*. Мадараме утверждал, что технология мониторинга безопасности в Японии устарела, признавая при этом, что Комиссия по ядерной безопасности *«поддалась слепой вере в техническое мастерство страны и не смогла тщательно оценить риски строительства ядерных реакторов в стране, подверженной землетрясениям»*. Регулирующие органы и коммунальные службы упустили много возможностей улучшить стандарты безопасности при эксплуатации и предупредили, что правила техники безопасности в основном неадекватны и соблюдаются в минимальной степени. Регулирующие органы обладали небольшой властью и часто подчинялись интересам коммунальных предприятий. По мнению Мадараме, *«наблюдалось коллективное невнимание к вопросам безопасности и неадекватное управление рисками»*.

В японском обществе наблюдается рост недовольства из-за многочисленных сообщений о проблемах с безопасностью, остановках реакторов и сокрытии информации в результате неэффективной деятельности фирмы ТЕРСО (Токуо Electric Power Co.) по ликвидации последствий аварии. Так, компания — оператор АЭС «Фукусима» неоднократно признавала, что на протяжении трех десятилетий фальсифицировала данные по всем своим АЭС с целью ослабить контроль со стороны правительственных инспекторов, и подтвердила 200 случаев подлогов в технической информации на трех АЭС в период с 1977 по 2002 г. В декабре 2006 г. Министерство экономики, торговли и промышленности Японии потребовало от ТЕРСО

проведения ревизии данных прошлых лет, после того как вскрылся факт фальсификации на АЭС «Фукусима», допущенный еще в конце 1980-х гг. Кроме того, компания в 1992 г. сфабриковала результаты испытаний на АЭС Kashiwazaki Kariwa, когда прямо в ходе правительственного инспектирования произошел сбой одного из насосов. А в 2002 г. председателю и президенту ТЕРСО пришлось подать в отставку из-за скандала, связанного с сокрытием информации. В 2007 г. компания объявила ответственности, что внутреннее расследование выявило большое количество незарегистрированных инцидентов. Наряду со скандалами в других японских электроэнергетических компаниях эта неспособность обеспечить соблюдение корпоративных требований вызвала резкую общественную критику электроэнергетической отрасли Японии и политики страны в области ядерной энергетике. И вновь компания не предприняла никаких попыток установить виновных. Каждый такой факт, безусловно, подрывает доверие японцев к атомной энергетике и создает определенные трудности при попытках энергетических компаний заручиться поддержкой местных властей при вводе АЭС после аварии.

Фирма даже при ликвидации аварии на АЭС экономит на всем: средствах индивидуальной защиты для персонала, занятого на работах по ликвидации аварии, средствах измерения радиационной обстановки, профилактическом питании работников; привлекается неквалифицированная рабочая сила, что приводит к повышенным дозовым нагрузкам. Фирму неоднократно пытались национализировать, оштрафовать, возбудить судебные иски, и каждый раз она уходила от наказания.

Уже при проектировании и строительстве АЭС были заложены «мины», которые через 40 лет и привели к тяжелой аварии. Первая из них сработала в результате подземных толчков еще до появления цунами. Как уже указывалось, в результате разрушений, вызванных землетрясением, прекратилось



внешнее электроснабжение АЭС. При этом разрушения возникли не только на площадке станции (примерно через 50 мин она все равно приняла на себя сильнейший удар цунами). Землетрясение повредило линии электропередач и подстанции вне территории затопления на несколько километров вглубь.

Если бы элементы этой линии были спроектированы с учетом возможных толчков магнитудой 6 и более, оставалась бы возможность восстановить внешнее электропитание за приемлемое время и предотвратить развитие аварии. Вторая «мина» была заложена при подготовке площадки станции, когда высокий 34-метровый берег был частично срыт. Окончательная высота берега в районе расположения первых четырех блоков АЭС составила 10 м от уровня моря.

Уровень берега для блоков 5 и 6 составил 13 м. Работы по понижению берега обосновывались по крайней мере тремя причинами. Во-первых, значительным упрощением (и удешевлением) доставки на площадку тяжелого оборудования, которое привозилось морским путем. Во-вторых, облегчением закачки охлаждающей морской воды. В-третьих, защитой от землетрясений. Поскольку часть грунта была срыта, блоки АЭС стали опираться на скальное основание. А как же защита от цунами? В заявке на тысячу страниц, поданной ТЕРСО в 1966 г. с просьбой разрешить компании строительство АЭС, большое место уделялось проблемам сейсмостойкости. При этом опасности цунами в документе практически не упоминаются. Указывается только, что нет исторических сведений о цунами большой высоты в районе станции.

Остановимся на этом подробнее. В документах, представленных ТЕРСО при получении лицензии, компания ориентировалась на крупнейшее землетрясение магнитудой 9,5, произошедшее в Чили в 1960 г. Отсюда проектную высоту цунами для АЭС приняли равной 3,1 м [3]. В 2002 г. эта оценка была пересмотрена. По рекомендации Японского общества гражданских инженеров в качестве опорных данных были приняты параметры землетрясения, произошедшего в 1938 г. и имевшего магнитуду 8. В результате максимальный ожидаемый уровень воды при цунами был принят равным 5,4–5,7 м.

Были и более поздние работы, в которых обращалось внимание на необходимость серьезно усилить защиту прибрежных АЭС от цунами. Так, в 2009 г. известный сейсмолог Юкинобу Окамура предупреждал оператора АЭС — компанию ТЕРСО о «неготовности прибрежной атомной станции к сильному цунами и землетрясению». В своем докладе он настаивал на том, что в скором времени район расположения станции подвергнется аналогичному удару природной стихии. 13 июля 2009 г. Агентство по ядерной и промышленной безопасности Японии (Nuclear and Industrial Safety Agency — NISA) потребовало, чтобы ТЕРСО учла полученные данные о землетрясениях при оценке проектной высоты цунами, когда будет получена более полная информация в отношении этого землетрясения.

Строительство первых реакторов АЭС выполнялось по проекту General Electric американскими специалистами более полувека назад. Тогда в целях экономии их прочные здания делались минимальных

размеров, чтобы вмещать только собственно реактор и наиболее важные обслуживающие его системы. Аварийные дизель-генераторы (ДГ) и сопутствующее им оборудование были вынесены из зданий реакторов и помещались на нижних этажах машинного зала (МЗ) и других зданий. Перед аварией на блоках АЭС было 13 ДГ, восемь из них были расположены в подвалах машинных залов, два — на нижнем этаже здания общего бассейна отработавшего ядерного топлива за энергоблоком 4, три — внутри и вне энергоблока 6, в том числе в пристройке к зданию реактора и в специальном здании для ДГ.

Казалось бы, система аварийного электроснабжения была достаточно надежна. Однако после прихода цунами в течение нескольких минут шесть ДГ были затоплены. Еще шесть ДГ не пострадали и могли бы продолжать работать, однако другое оборудование, в том числе 36 распределительных щитов системы аварийного энергоснабжения, в результате затопления было выведено из строя. Насосы, подающие морскую воду для охлаждения реактора и силовых механизмов (в том числе и дизель-генераторов), были затоплены на всех энергоблоках, кроме третьего, где насос затоплен не был и продолжал функционировать. В результате еще и по этой причине работа всех охлаждаемых водой ДГ была нарушена. Только один охлаждаемый воздухом дизель-генератор не пострадал и снабжал электроэнергией блок 6, а потом и блок 5. Он работал, используя один из трех уцелевших силовых распределительных щитов, вплоть до 21 марта, когда удалось подключить внешние источники. В результате прихода цунами: 1) на всех блоках электропитание переменным током полностью отключилось; 2) погасло освещение, приходилось использовать ручные электрические фонари; 3) практически перестали работать приборы и связи; 4) операторы станции потеряли возможность следить за параметрами происходящих процессов и дистанционно управлять аппаратурой; 5) надвигалась угроза того, что в активных зонах реакторов и бассейнах выдержки при потере охлаждения начнется разрушение ядерного топлива; 6) нарушилось сообщение между зданиями на площадке станции; 7) большая волна сорвала с основания тяжелые механизмы, баки с топливом, разрушила легкие постройки, оставила на подъездных путях большое количество мусора.

Неэффективность принимаемых мер

Сооружение вокруг зданий АЭС водонепроницаемой стены из замороженного грунта. Специалисты фирмы ТЕРСО пришли к выводу, что ранее предпринимаемые меры, которые должны воспрепятствовать попаданию воды в океан, являются необходимыми и недостаточными. Японское правительство одобрило масштабное мероприятие, направленное на выполнение этой задачи. Было решено возвести по периметру первых четырех блоков стену из замороженного грунта. Эта стена (в переводах — «ледяная стена», «береговая стена», «береговая непроницаемая стена») должна была



представлять собой слой искусственной вечной мерзлоты, которая не позволяла бы грунтовыми водам проникать на нижние этажи зданий и одновременно препятствовала бы распространению загрязненной воды и ее попаданию в океан. В атомной отрасли подобная технология использовалась лишь однажды — в конце 1996 г. Министерство энергетики США применило ее в Национальной лаборатории в Ок-Ридж (штат Теннесси), чтобы препятствовать утечке радиоактивных отходов. Стена замороженного грунта имела 100 м в длину при высоте около 10 м. Ледяной барьер просуществовал шесть лет, после чего от технологии замораживания отказались.

Строительство стены началось летом 2014 г. В качестве основного подрядчика была выбрана компания Kajima Corporation, имеющая многолетний опыт работы с холодом. Согласно проекту предполагалось вырыть 1550 колодцев глубиной около 30 м каждый, в которых по специальным трубам будет циркулировать охлажденная жидкость. Полная длина стены составит 1,5 км. Общий объем замороженного грунта — 70 тыс. м³. В составе холодильной установки — 30 холодильных аппаратов. Согласно оценкам, после начала замораживания грунт вместе с содержащейся в нем водой должен промерзнуть вплоть до слоя глины с низкой проницаемостью и твердой породы. При замерзании ледяные колонны от отдельных скважин постепенно увеличатся в размерах и образуют сплошную стену. Из государственного бюджета на работы было выделено более 300 млн долл. Как ожидалось, благодаря стене из замороженного грунта и другим описанным мерам объемы протекающей под станцией воды удастся уменьшить в 8 раз — с 400 до ~ 50 т в сутки.

С апреля 2015 г. проводились тестовые испытания технологии замораживания на отдельных участках будущей стены. С северной, южной и западной сторон объекта прокладка труб была завершена к сентябрю, в то время как на восточной (со стороны моря) они были заглублены в землю в ноябре. Главные блоки системы были готовы в декабре. К 9 февраля 2016 г. компания полностью завершила подготовительные работы. Заморозку решено было начать с восточной стороны станции. Вслед за этим будет возведена западная стена, обращенная к горной части, затем северная и южная. 31 марта специалисты ТЕРСО приступили к созданию вокруг реакторов стены из замороженного грунта.

В июне 2016 г. количество грунтовых вод, выкачанных из скважин вокруг поврежденных реакторов и зданий, в среднем составляло 321 т в сутки, что всего лишь на 31 т меньше, чем среднесуточное количество в мае. В то же время именно в июне согласно плану стена должна была заработать в полную силу. Однако 18 августа группа экспертов ядерного регулирующего органа Японии заявила, что с тех пор, как ледяная стена была построена (за 344 млн долл.!), она «не показала ожидаемого успеха». Действительно, обследование сооружения, проведенное в августе, выявило, что ряд участков стены содержит строительный мусор. На этих промежутках высокая скорость течения грунтовых вод не позволяет им замерзнуть. Была высказана надежда, что оледенение этих участков — вопрос времени, пока же именно они делают всю конструк-

цию малоэффективной. В ТЕРСО стали предлагать перекрыть проблемные участки бетоном. Оппоненты тут же нашли еще несколько возражений против стены, среди которых высокая вероятность ее разрушения во время землетрясения.

Хранение и очистка ЖРАО. За 10 прошедших лет после аварии на площадке АЭС накоплено более 1,37 млн м³ ЖРАО, и количество отходов будет постоянно увеличиваться, чему будут способствовать грунтовые воды, осадки в виде дождя или снега, постоянные тайфуны, влажный климат, технологическая деятельность на АЭС.

Функционирование системы дезактивации воды. Большинство проблем, возникших при обращении с загрязненной водой на АЭС, связаны с отсутствием достаточно эффективной и высокопроизводительной системы очистки воды от радиоактивности. Запланированная циклическая система очистки воды (СОВ) должна была откачивать загрязненную воду с нижних отметок блоков, обеспечивать ее дезактивацию и вновь подавать для охлаждения реакторов и бассейнов выдержки (БВ). Тем самым решались две важнейшие проблемы: во-первых, обеспечивался отвод тепла практически без дополнительного использования воды от внешних источников, во-вторых, СОВ позволила бы откачать скопившиеся ранее в подвалах и траншеях высокоактивные ЖРО, очистить их и слить воду в океан.

Разработчиками системы стали компании AREVA Inc. (Франция) и Kurion Inc. (США). По плану очистка воды должна была проходить в несколько этапов. На первом вода очищается от масел, затем с помощью цеолита (неорганический силикат, естественный абсорбент) проходит дезактивацию и в конце опресняется. При проектировании специалисты AREVA обещали высокую эффективность СОВ. Утверждалось, что в результате ее работы уровень радиации будет снижен приблизительно в 10 000 раз. Предполагалось, что ежедневно будет проходить обработку 1,2 тыс. т, а к концу года будет очищено до 200 тыс. т воды. Японское правительство возлагало большие надежды на проектируемую систему и выделило на связанные с этим расходы более 660 млн долл. По плану ТЕРСО начало работы СОВ было намечено на 15 июня 2011 г. В ее монтаже участвовали сотни рабочих — только постоянно работающих сварщиков насчитывалось 50 человек.

Общая длина труб и промежуточных резервуаров комплекса составила 4,5 км. Первая попытка запуска системы была предпринята 17 июня, но в заданном режиме она успела проработать всего пять часов. Затем, после десятидневных проверок и устранения недостатков, запуск повторили, но СОВ смогла проработать лишь полтора часа. За следующие два месяца она останавливалась 30 раз, ее пускали, потом вновь останавливали. Система так и не смогла выйти на проектную мощность. Ее эффективная производительность оказалась намного меньше требуемой [4].

ТЕРСО заявила, что планируется монтаж еще одной независимой и значительно более простой установки для очистки воды. Она будет работать параллельно с установкой франко-американского

производства или в дополнение к ней. Новая COB-2 создавалась на базе уже существовавшей системы SARRY (Simplified Active Water Retrieve and Recovery System) [4]. До аварии последняя использовалась для очистки загрязненной воды на АЭС и хорошо себя зарекомендовала. Модернизация системы началась еще в мае, участвовали в ней компании Toshiba (Япония) и Shaw (США).

В SARRY вода сначала также проходит через фильтры для удаления масел. Центральная ее часть представляет собой две цепочки из последовательно соединенных металлических цилиндров диаметром 1,4 м и высотой 3,6 м, наполненных поглотившими цезия. На выходе снова стоят фильтры. Полномасштабная эксплуатация SARRY началась в конце августа после двухдневных испытаний. Обе системы (AREVA и SARRY) были ориентированы в первую очередь на очистку воды от радионуклидов цезия. В течение следующих месяцев установки были усовершенствованы. Параллельно исправлялись обнаруженные недостатки. К концу мая 2012 г. было обработано около 180 тыс. м³ воды, хранившейся на территории станции. Удалось заметно понизить уровни подтопления в зданиях, но проблема окончательной очистки, после которой вода могла бы сливаться в океан, оставалась нерешенной. С этой целью специалисты ТЕРСО решили к уже существующим COB добавить еще одну систему, получившую название ALPS (Advanced Liquid Processing System — мультинуклидная усовер-

шенствованная система обработки ЖРО). Наряду с увеличением производительности она позволяет очистить воду от 62 радионуклидов. Исключение составляет тритий [4]. ALPS была установлена на АЭС в августе — сентябре 2012 г. и, согласно первоначальному плану ТЕРСО, должна была быть полностью введена в эксплуатацию осенью 2013 г. Планировалось также в течение одного года (максимум двух) очистить подавляющую часть загрязненной воды и слить ее в океан. Однако осуществить эти планы в очередной раз не удалось. Многочисленные сбои в работе систем, необходимость переделки и модернизации отдельных узлов, ряд организационных и финансовых проблем, наконец, возникшая потребность наладить очистку воды от трития не позволили добиться окончательных успехов. Сроки постепенно сдвигались. В середине 2016 г. эксперты ТЕРСО считали, что только к 2020 г. на АЭС удастся собрать и переработать все скопления ЖРО вокруг блоков АЭС. Параллельно будет необходимо продолжать очистку воды, поступающей для охлаждения реакторов. 14 сентября 2021 г. оператор станции ТЕРСО сообщил, что практически у всех фильтров в системе очистки радиоактивной воды на АЭС «Фукусима-1» были обнаружены повреждения. Указывается, что повреждения были выявлены у 24 из 25 фильтров, которые должны предотвращать утечку радиоактивных материалов. Аналогичная проблема была и в 2020 г.

Литература/References

1. International Meeting on Assessment of Actual and Potential Consequences of Radioactive Waste into Arctic Seas (Oslo, Norway, 01–05 February 1993). Working Materials of the International Atomic Energy Agency, Vienna, 1993: 194.
2. Факты и проблемы, связанные с захоронением радиоактивных отходов в морях, омывающих территорию Российской Федерации (Материалы доклада Правительственной комиссии по вопросам, связанным с захоронением в море радиоактивных отходов, созданной распоряжением Президента РФ от 24.10.1992 г. за № 613-рп). М.: Администрация Президента РФ, 1993: 108. [Facts and problems related to the disposal of radioactive waste in the seas washing the territory of the Russian Federation (Materials of the report of the Government Commission on Issues Related to the Disposal of Radioactive Waste in the Sea, established by the Decree of the President of the Russian Federation dated 24.10.1992 for No. 613-rp). Moscow: Administration of the President of the Russian Federation, 1993: 108. (In Russ.)].
3. Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations. Nuclear Emergency Response Headquarters; Government of Japan [Electronic resource]. URL: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report>. (accessed 2 July 2023).
4. Fukushima water-treatment-system [Electronic resource]. URL: <http://ex-skf.blogspot.ru/2011/07/fukushima-water-treatment-system.html>. (accessed 2 July 2020).

Вклад авторов. В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.

Принята к публикации: 22.02.2024.

Article received: 12.01.2024.

Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Владимир Михайлович, д.т.н., профессор, ООО «Группа компаний «ИнтеллектСервис». Адрес: Россия, 115088, Москва, ул. Угрешская, 2, стр. 33. ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Спиридонова Валентина Валерьевна, научный сотрудник отдела ГИС и цифровой картографии отделения геоинформатики ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИИГНИ». Адрес: Россия, 117105, Москва, Варшавское шоссе, 8. Телефон: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.

AUTHORS INFORMATION

Kuznetsov Vladimir Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, LLC «Group of companies Intellectualservice». Address: 115088, Moscow, Ugreshskaya str., 2, p. 33. ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Spiridonova Valentina Valeryevna, Senior Researcher of the GIS and Digital Cartography Department of the Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI Federal State Budgetary Institution. Address: 117105, Moscow, Varshavskoe Shosse, 8. Phone: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.



УДК 622.232.5
UDC 622.232.5

Струеформирующие устройства для гидромеханических исполнительных органов и систем высоконапорного орошения горных машин



Jet Forming Devices for Hydromechanical Executive Bodies and High-pressure Systems Irrigation of Mining Machines

АВТОРЫ

AUTHORS

В.Г. Мерзляков, д.т.н., профессор,
И.Е. Бойкова

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия

V.G. Merzlyakov, I.E. Boikova

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Эффективность гидроструйных технологий резания горных пород и твердых материалов зависит от качества высокоскоростных струй воды, которое в свою очередь определяется конструктивными параметрами струеформирующих устройств. На основе выполненных исследований разработаны методы расчета рациональных параметров струеформирующих устройств, позволившие создать малогабаритные струеформирующие устройства для гидромеханических исполнительных органов и систем высоконапорного орошения горных машин, а также метод расчета рациональных параметров гидроабразивного инструмента для резания горных пород и других твердых материалов.

The effectiveness of hydrojet technologies for cutting rocks and solid materials depends on the quality of high-speed water jets, which, in turn, is determined by the design parameters of jet-forming devices. Based on the performed research, methods for calculating the rational parameters of jet-forming devices have been developed, which made it possible to create small-sized jet-forming devices for hydromechanical executive bodies and high-pressure irrigation systems of mining machines, as well as a method for calculating the rational parameters of a waterjet tool for cutting rocks and other solid materials.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ГИДРОСТРУЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ, ГИДРОАБРАЗИВНОЕ РАЗРУШЕНИЕ, МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ, СТРУЕФОРМИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

HYDROJET TECHNOLOGIES, MINING MACHINES, WATERJET DESTRUCTION, METHODS FOR CALCULATING RATIONAL PARAMETERS, JET-FORMING STRUCTURES

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Мерзляков В.Г., Бойкова И.Е. Струеформирующие устройства для гидромеханических исполнительных органов и систем высоконапорного орошения горных машин. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 22–26. [Merzlyakov V.G., Boikova I.E. Jet forming devices for hydromechanical executive bodies and high-pressure systems irrigation of mining machines. *Technicheskiy opponant = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 22–26. (In Russ.).]

Введение

Использование энергии высокоскоростных струй воды для резания горных пород и твердых материалов (гидроструйные технологии) получило признание во всем мире как одно из перспективных направлений развития техники и технологии, способное решать вопросы повышения производительности и безопасности проведения очистных, подготовительных и вспомогательных работ на шахтах. Основными преимуществами этого способа разрушения являются отсутствие контакта режущего инструмента (струи воды) с разрушаемым массивом, возможность снижения металлоемкости забойного оборудования при одновременном увеличении его энерговооруженности за счет дистанционного расположения энерге-

тического оборудования, эффективное обеспечение пылевзрывозащиты.

Создание струеформирующих устройств

Высокая энергоемкость гидравлического разрушения является фактором, сдерживающим его широкое внедрение для создания исполнительных органов породоразрушающих машин. Снижение энергоемкости гидравлического разрушения и максимальное использование его положительных качеств возможно путем создания комбинированных (гидромеханических) способов и средств разрушения горных пород и твердых материалов (совместное



использование механического инструмента горных машин режущего или скальвающего действия и высокоскоростных струй воды давлением $P_0 = 30 \div 70$ МПа и более для разрушения горных пород и твердых материалов) либо систем высоконапорного орошения с подачей на след резцов компактных водяных струй с давлением $P_0 = 10 \div 20$ МПа [1].

Также необходимо отметить, что одним из основных источников взрывов газа и пыли при подземной добыче угля является воспламенение пылегазовоздушной смеси в результате фрикционного контакта режущего инструмента с абразивными породами и их включениями в угольном массиве [1, 2].

В очистных забоях в развитии взрывы переходит до 1,5% локальных вспышек метана, инициированных фрикционными искрами при работе выемочных машин, а в подготовительных выработках во взрывы метана и угольной пыли перерастает до 20% вспышек при работе проходческих комбайнов. Фрикционное искрение по опасности возникновения взрывов (вспышек) метана занимает второе место при работе выемочных, проходческих и буровых машин [3].

Вместо традиционных форсунок, в которых распыление жидкости достигается за счет искусственной турбулизации, в высоконапорных системах используются струеформирующие устройства (рис. 1), обеспечивающие распыление струи за счет естественных процессов, вызванных повышением давления и увеличением скорости истечения. Возрастание скорости водяного потока способствует более эффективному связыванию взрывоопасной пыли тонких фракций, увеличению уноса тепла и, следовательно, более эффективному охлаждению режущего инструмента и его раскаленного следа в горной породе. Исследования показали, что доля пыли, способной проникнуть в легкие, уменьшается на 83,9%, а концентрация крупной пыли — на 92,1% [3]. Высокая эжектирующая способность высокоскоростных струй воды, обеспечивающая вынос из забоя выделяющегося метана и образование вокруг исполнительного органа водяного тумана, резкое (в 1,5÷2 и более раз) снижение нагрузок на механическом инструменте и искрообразования на 90÷100% — все это вместе обеспечивает эффективную взрывозащиту от фрикционного трения.

Несмотря на очевидные достоинства высоконапорного орошения, следует признать, что максимальный эффект пылеподавления и взрывозащиты очистных и проходческих комбайнов может быть достигнут только при использовании гидромеханического комбинированного способа разрушения углеродного массива с использованием компактных струй воды давлением 30÷70 МПа и более [4].

При этом необходимо отметить, что эффективность обоих способов применения в исполнительных органах горных машин зависит от конструкций гидравлических струеформирующих устройств.

Рациональными параметрами струеформирующих устройств являются геометрические размеры отдельных элементов этих устройств и их сочетания, которые обеспечивают формирование компактных высокоскоростных струй воды. За критерий компактности струи с достаточной достоверностью мо-

жет быть принята безразмерная длина начального участка струи l_i/d_0 .

На рис. 1 представлена схема типового полноразмерного струеформирующего устройства, обеспечивающая максимальную компактность высокоскоростных струй воды и рекомендованная для использования в гидравлических и гидромеханических исполнительных органах.

Указанное струеформирующее устройство отличается простотой и надежностью конструкции, и его использование предпочтительнее в тех случаях, когда на исполнительном органе горной машины имеется достаточное пространство для его размещения.

Когда же монтаж полноразмерных струеформирующих устройств на исполнительных органах из-за ограниченности пространства для их размещения не представляется возможным, возникает задача разработки малогабаритных устройств, способных сформировать достаточно компактные водяные струи высокого давления.

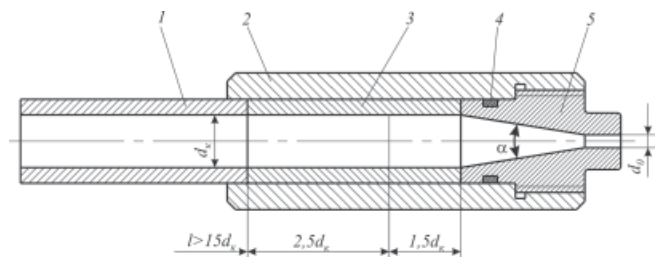
Для решения задач, связанных с оптимизацией габаритов, и обеспечения рационального использования энергии высокоскоростных струй воды создан типовой ряд высокоэффективных конструкций малогабаритных струеформирующих устройств (МСУ) и насадок, которые позволяют получать водяные струи высокой компактности, обеспечивающие максимальную концентрацию энергии в зоне разрушения углеродного массива.

Малогабаритное струеформирующее устройство с радиальным подводом воды предназначено для использования в гидромеханических исполнительных органах и системах высоконапорного пылевзрывозащитного орошения горных машин [1]. Конструкция МСУ позволяет эффективно нейтрализовать турбулентные возмущения, вносимые радиальным подводом воды, за счет использования щелевого подвода на входе в струеформирующее устройство. Кроме того, использование направляющего конуса 7 позволяет обеспечить безударное слияние водяных потоков в основном канале устройства.

Экспериментальные исследования, выполненные совместно с к.т.н. В.Е. Бафталовским, позволили

РИСУНОК 1. Схема типового полноразмерного струеформирующего устройства

FIGURE 1. Diagram of a typical full-size jet-forming device

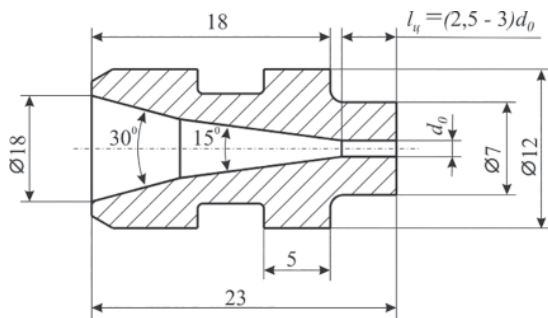


1 — водовод; 2 — корпус; 3 — успокоитель; 4 — уплотнение; 5 — насадка; l — длина подводящего канала; d_0 — диаметр насадки; d_k — диаметр подводящего канала
1 — water duct; 2 — housing; 3 — sediment; 4 — seal; 5 — nozzle; l — length of the supply channel; d_0 — diameter of the nozzle; d_k — diameter of the supply channel

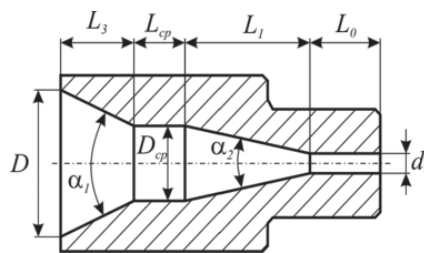


РИСУНОК 2. Струеформирующие насадки для малогабаритных струеформирующих устройств:

FIGURE 2. Jet-forming nozzles for small-sized jet-forming devices:



а — двухконусная / two-cone;



б — двухступенчатая / two-stage

разработать инженерные методы расчета конструктивных параметров струеформирующих устройств и динамических и структурных характеристик формируемых в них высокоскоростных струй воды [2].

При этом должны быть соблюдены следующие требования:

- рациональные параметры элементов МСУ, предназначенных для формирования компактных высокоскоростных струй воды с длиной начального участка $l_i \geq 70 d_0$, должны иметь следующие значения: $D/d_0 = 6 \div 10$, $l_3 = (4 \div 6)D$, $l_2 = (2 \div 4)D$ и $l_1 = (1,0 \div 1,7)D$;

- для подвода высоконапорной струи воды к устройствам рекомендуется применять трубопровод меньшего сечения с соотношением диаметров $D/d_i = 1,4 \div 2,0$;

- в конструкциях устройств рекомендуется использовать насадки с двумя углами конусности. Длина второго конфузора должна быть не менее $(8 \div 10)D_0$ при угле $12 \div 14^\circ$;

- коэффициент поджатия потока в насадке должен составлять $K_n = 6 \div 10$.

Компактность водяных струй, длина начального участка и другие динамические и структурные характеристики водяных струй значительно зависят при прочих равных условиях от формы профиля и качества изготовления струеформирующей насадки. Выполненные экспериментальные исследования [5] позволили установить, что конусно-цилиндрическая форма профиля проточной части насадки (поз. 5 **рис. 1**) с углом конусности $\alpha = 13 \div 14^\circ$ и длиной цилиндрической части $(3 \div 4) d_0$ является наиболее рациональной, так как позволяет добиться наилучшего качества водяных струй.

Необходимость в ряде случаев размещения струеформирующих устройств в ограниченном пространстве, имеющемся для этих целей, например на гидромеханических исполнительных органах, выдвигает задачу установления рациональных параметров конструкций насадок с уменьшенными линейными размерами.

В связи с этим в ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского для существенного уменьшения длины насадки при условии сохранения высокой компактности струи разработаны профиль ее проточной части с двумя углами конусности и двухступенчатый профиль (**рис. 2**) [2].

На **рис. 2, а** приведена схема двухконусной насадки, состоящей из переходного конфузора с углом конусности $30^\circ \geq \alpha \geq 14^\circ$ и основного конфузора ($\alpha_1 \leq 13-14^\circ$) с цилиндрическим участком на выходе. Рекомендуемые параметры проточной части струеформирующих насадок с двухступенчатым профилем (**рис. 2, б**) на давление воды до 250 МПа с выходным диаметром $d_0 = 0,4 \div 0,8$ мм представлены в **табл. 1**.

Качество высокоскоростной струи воды, сформированной в малогабаритном струеформирующем устройстве, оценивается длиной ее начального участка l_n , который определяется по формуле

ТАБЛИЦА 1. Рекомендуемые параметры струеформирующих насадок с двухступенчатым профилем

TABLE 1. Recommended parameters of jet-forming nozzles with a two-stage profile

Параметры Options	Значения параметров Parameter values		
Диаметр насадки d_0 , мм Nozzle diameter d_0 , mm	0,4	0,6	0,8
Давление воды P_0 , МПа Water pressure P_0 , MPa	70÷250	70÷250	70÷250
Диаметр входа D , мм Inlet diameter D , mm	6,0	6,0	6,0
Угол первой ступени α_1 , град. Angle of the first stage α_1 , degrees	30,0	45,0	60,0
Первый переходный диаметр D_{cp}/d_0 First transition diameter D_{cp}/d_0	2,50	2,50	2,50
Длина первого цилиндра L_{cp}/d_0 First cylinder length L_{cp}/d_0	5,0	3,33	2,50
Угол второй ступени α_2 , град. Angle of the second stage α_2 , degrees	12,0	12,0	12,0
Длина второго цилиндра L_0/d_0 Second cylinder length L_0/d_0	4,0	4,0	4,0



$$l_n = 0,214d_0^{0,62} \cdot \left(\frac{P_0}{\rho}\right)^{-0,071} \cdot l_2 \cdot l_3^{0,41} \cdot d_1^{0,52} \cdot D^{-0,13},$$

где ρ — плотность воды, $\rho = 10^4 \text{ Н/м}^3$.

Для численной оценки компактности струй предложено пять уровней безразмерных значений l_n/d_0 длины начальных участков струи воды:

- некомпактные струи — $(l_n/d_0) \leq 30$;
- недостаточно компактные струи — $30 \leq (l_n/d_0) \leq 50$;
- компактные струи — $50 \leq (l_n/d_0) \leq 70$;
- весьма компактные струи — $70 \leq (l_n/d_0) \leq 90$;
- высококомпактные струи — $(l_n/d_0) > 90$.

Одна из важнейших динамических характеристик высокоскоростных струй, определяющих их разрушающую способность, — безразмерное значение осевого динамического давления P_m в зоне контакта струи воды с разрушаемым массивом, которое можно определить с использованием зависимости

$$\frac{P_m}{P_0} = \left(\frac{l}{l_n}\right)^{\left[-0,465 - 0,034 \cdot \left(\frac{l}{l_n}\right) + 0,0088 \cdot \left(\frac{l}{l_n}\right)^2\right]}.$$

Диаметр струи воды D_c в зоне контакта с разрушаемым массивом на расстоянии l от насадки определяется по следующей формуле:

$$\frac{D_c}{d_0} = 0,85 \cdot \left(\frac{l}{l_n}\right)^{0,54} + 1,82.$$

Критерием оценки качества проектирования струеформирующего устройства являются расчетные значения длины начального участка формируемых струй и график изменения осевых динамических давлений по длине струи.

Геометрические параметры насадок с $d_0 = 0,4 \div 0,8 \text{ мм}$, приведенные в **табл. 1**, получены при условии, что длина насадки постоянная ($L_H = \text{const}$). Параметры насадок следующего размерного ряда с $d_0 = 1,0 \div 1,5 \text{ мм}$ могут быть определены с использованием безразмерных соотношений.

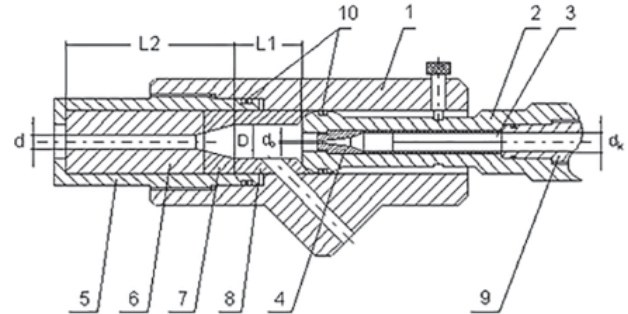
Гидроабразивный способ разрушения твердых материалов

Повышение эффективности гидроструйной технологии также возможно за счет использования гидроабразивных струй, являющихся уникальным инструментом для эффективного разрушения горных пород любой крепости и резания твердых материалов, включая различные композиты, металлы и сплавы [2, 7].

Анализ публикаций зарубежных исследований в области разработки и создания гидроабразивных режущих инструментов показал, что большинство из них имеет следующие параметры: давление воды — $200 \div 250 \text{ МПа}$, диаметр насадок — $0,4 \div 0,6 \text{ мм}$ и расход абразива — $0,5 \div 1,0 \text{ кг/мин}$. Несмотря на высокие эксплуатационные качества, указанные разработки не приспособлены к выполнению специфических задач механизации вспомогательных работ в шахтных условиях, при которых необходимо иметь

РИСУНОК 3. Гидроабразивный инструмент с переменной геометрией проточной части

FIGURE 3. Waterjet tool with variable geometry of the flow part



- 1 — корпус; 2 — струеформирующее устройство; 3 — успокоитель; 4 — насадка; 5 — корпус коллиматора; 6 — коллиматор; 7 — переходник; 8 — камера смешивания; 9 — подводящий водовод; 10 — уплотнение
- 1 — body; 2 — jet forming device; 3 — sediment; 4 — nozzle; 5 — collimator housing; 6 — collimator; 7 — adapter; 8 — mixing chamber; 9 — supply duct; 10 — seal

возможность изменять исходные параметры формирования гидроабразивной струи в широком диапазоне.

На основе результатов выполненных авторами теоретических и экспериментальных исследований формирования абразивных струй была разработана расчетная математическая модель, позволяющая определять рациональные параметры струеформирующих элементов гидроабразивного инструмента и учитывающая не только такие исходные гидравлические параметры водяных струй, как диаметр насадки d_0 и давление воды перед насадкой P_0 , но и их структурные характеристики (например, зависимость изменения диаметра струи $D_{стр}$ по ее длине, зависимость длины начального участка струи от конструкции струеформирующего устройства) и геометрические параметры проточной части гидроабразивного инструмента (диаметр D и длина $l_{кам}$ камеры смешивания, диаметр d и длина $l_{кол}$ коллиматора) [2].

В результате выполненных исследований разработан и запатентован оригинальный гидроабразивный режущий инструмент (Патент 2109950 РФ. Опубл. 27.04.98), позволяющий изменять конфигурацию его проточной части в зависимости от исходных гидравлических параметров высоконапорной водяной струи (представлен на **рис. 3**) [6].

Рациональное значение длины коллиматора может быть определено из экспериментально полученного соотношения $l_{кол} = (20 \div 30)d$.

Аналитическая зависимость для определения диаметра камеры смешивания была получена при допущении подобия процессов формирования абразивных струй в камерах смешивания при использовании различных диаметров струеформирующих насадок [2]:

$$D = 7,6 \left(\frac{d_0}{0,35}\right)^{0,5} + d_0. \quad (1)$$

Достоверность расчетов по формуле (1) была подтверждена результатами экспериментальных исследований с использованием струеформирующих насадок $d_0 = 0,6 \text{ мм}$ и $d_0 = 0,9 \text{ мм}$, выполненных



при шести значениях расхода абразива в диапазоне $Q_a = 0,25 \div 2,0$ кг/мин.

В соответствии с изложенной выше концепцией модели уравнений формирования гидроабразивной струи, а также геометрических параметров переходника и коллиматора зависимость для определения рациональной длины камеры смешивания $l_{кам}$ (мм) имеет следующий вид:

$$D = 7,6 \left(\frac{d_o}{0,35} \right)^{0,5} + d_o,$$

где d_1 — диаметр переходного конфузора.

При расчетном значении длины камеры смешивания $l_{кам} < 12$ мм, с учетом диаметра шланга подачи абразива $d_{ш} = 8$ мм, принимается $l_{кам} = 12$ мм.

Литература/References

1. Мерзляков В.Г., Деревяшкин И.В. Применение гидроструйных технологий в горном производстве. Технический оппонент. 2022; 1 (8): 24–27. [Merzlyakov V.G., Derevyashkin I.V. Application of hydrojet technologies in mining. Technicheskiy opponen = Technical opponen. 2022; 1 (8): 24–27. (In Russ.)].
2. Мерзляков В.Г., Бафталовский В.Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. М.: ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского, 2004. [Merzlyakov V.G., Baftalovsky V.E. Physical and technical foundations of hydraulic jet technologies in mining production. Moscow: NSC GP-IGD named after A.A. Skochinsky, 2004. (In Russ.)].
3. Непецаев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. и соавт. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. М.: Недра, 1992. [Nepetsaev M.I., Lyubimova A.I., Petrukhin P.M. et al. Combating explosions of coal dust in mines. M.: Nedra, 1992. (In Russ.)].
4. Мерзляков В.Г., Деревяшкин И.В. Гидромеханический способ разрушения горных пород и горные машины на его основе. Маркшейдерский вестник. 2014; 2 (100). [Merzlyakov V.G., Derevyashkin I.V. The hydromechanical method of rock destruction and mining machines based on it. Surveying bulletin. 2014; 2 (100). (In Russ.)].
5. Мерзляков В.Г., Бафталовский В.Е., Иванушкин А.В. и соавт. Создание высоконапорных систем орошения для проходческих комбайнов избирательного действия. Горные машины и автоматика. 2002; 10. [Merzlyakov V.G., Baftalovsky V.E., Ivanushkin A.V. et al. Co-building of high-pressure irrigation systems for tunneling combines of selective action. Mining machines and automation. 2002; 10. (In Russ.)].
6. Бафталовский В.Е., Кузьмич И.А., Мерзляков В.Г. Патент 2109950 РФ. Инструмент для гидроабразивной обработки твердых материалов. Заявлено 16.10.95. Приоритет 16.10.95. Опубл. 27.04.98. [Baftalovsky V.E., Kuzmich I.A., Merzlyakov V.G. Patent 2109950 of the Russian Federation. A tool for waterjet treatment of solid materials. Announced on 16/10/95. Priority 16/10/95. Published on 04/27/98. (In Russ.)].
7. Деревяшкин И.В., Тараненко М.Е., Казанцев А.А. Техническое решение адаптивной системы управления сушильным барабаном на обогатительной фабрике «Лебединский ГОК». Технический оппонент. 2022; 1 (8): 34–40. [Derevyashkin I.V., Taranenko M.E., Kazantsev A.A. Technical solution of adaptive control system for drying drum in ore-processing plant JSC Lebedinsky GOK. Technicheskiy opponen = Technical Opponen. 2022; 1 (8): 34–40. (In Russ.)].

Вклад авторов. В.Г. Мерзляков, И.Е. Бойкова: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.
Authors contributions. V.G. Merzlyakov, I.E. Boikova: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.

Принята к публикации: 22.02.2024.

Article received: 12.01.2024.

Accepted for publication: 22.02.2024.

Заключение

Таким образом, использование разработанного инженерного метода расчета [2] позволяет проектировать малогабаритные струеформирующие устройства для гидромеханических исполнительных органов и систем высоконапорного орошения горных машин с учетом различных вариантов свободного пространства на исполнительных органах для их размещения.

Полученные математические зависимости позволили разработать метод расчета рациональных параметров гидроабразивного инструмента для резания горных пород и других твердых материалов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мерзляков Виктор Георгиевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры техники и технологии горного и нефтегазового производства*. ORCID: 0000-0002-0647-259X.

Бойкова Ирина Евгеньевна, зав. лабораторией кафедры техники и технологии горного и нефтегазового производства*. ORCID: 0000-0001-6160-4420.

* ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет». Адрес: 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38, Российская Федерация. Телефон: +7 (495) 223-05-23. E-mail: mospolytech@mospolytech.ru.

AUTHORS INFORMATION

Merzlyakov Viktor Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Engineering and Technology of Mining and Oil and Gas Production*. ORCID: 0000-0002-0647-259X.

Boikova Irina Evgenievna, head of laboratory of the Department of Engineering and Technology of Mining and Oil and Gas Production*. ORCID: 0000-0001-6160-4420.

* Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Polytechnic University. Address: 107023, Moscow, Bolshaya Semenovskaya str., 38, Russian Federation. Phone: +7 (495) 223-05-23. E-mail: mospolytech@mospolytech.ru.

УДК 621.039.7
UDC 621.039.7

Предложения по утилизации жидких радиоактивных отходов с аварийной АЭС

Proposals for the Disposal of Liquid Radioactive Waste from an Emergency Nuclear Power Plant

АВТОРЫ

AUTHORS

В.М. Кузнецов¹, д.т.н., профессор,
В.В. Спиридонова²**V.M. Kuznetsov¹, V.V. Spiridonova²**¹ LLC Group of companies IntellectualService,
Moscow, Russia² Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI
Federal State Budgetary Institution, Moscow, Russia¹ ООО «Группа компаний "ИнтеллектСервис"», г. Москва, Россия² ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Спустя более десяти лет с момента радиационной аварии на АЭС «Фукусима-1» существуют не только технические вопросы по правильной эксплуатации станции, но и вопросы целесообразности, своевременности и эффективности ряда организационных решений. Для понимания положения дел на аварийной АЭС «Фукусима-1», того, какие стратегические ошибки вызвали неблагоприятный сценарий развития аварии и ликвидации ее последствий, и недопущения последующих сбросов жидких радиоактивных отходов (ЖРАО) в Тихий океан, предлагаются решения по реализации поставленных целей. Подходы основываются на многократно апробированных технологических решениях, которые дали исключительно положительный результат при ликвидации последствий радиационных аварий, инцидентов и не требуют дополнительной апробации.

More than ten years after the radiation accident at the Fukushima-1 nuclear power plant, there are not only technical issues regarding the proper operation of the plant, but also the expediency, timeliness and effectiveness of a number of organizational decisions. In order to understand the situation at the emergency Fukushima-1 nuclear power plant, which strategic mistakes caused an unfavorable scenario for the development of the accident and the elimination of its consequences, and to prevent subsequent discharges of liquid radioactive waste into the Pacific Ocean, solutions are proposed to achieve the goals set. The approaches are based on repeatedly tested technological solutions that have yielded exceptionally positive results in eliminating the consequences of radiation accidents and incidents and do not require additional testing.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ЯПОНИЯ, АЭС «ФУКУСИМА-1, -2», ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР, СБРОС ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ, ТРИТИЙ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ, СПЕЦАВТОТРАНСПОРТ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЖРАО, ОЧИСТКА И ХРАНЕНИЕ

JAPAN, FUKUSHIMA-1, -2, NUCLEAR POWER PLANT, NUCLEAR REACTOR, DISCHARGE OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE, TRITIUM, REINFORCED CONCRETE PROTECTIVE CONTAINERS, SPECIAL VEHICLES FOR THE TRANSPORTATION OF WASTE, CLEANING AND STORAGE

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Кузнецов В.М., Спиридонова В.В. Предложения по утилизации жидких радиоактивных отходов с аварийной АЭС. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 27–32. [Kuznetsov V.M., Spiridonova V.V. Proposals for the disposal of liquid radioactive waste from an emergency nuclear power plant. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 27–32. (In Russ.)].

Предлагаемые мероприятия по минимизации накопленного ущерба в результате аварии на АЭС «Фукусима-1»

Реализация целей основополагающей политики планируется в семь этапов:

первый — снижение доз радиационного облучения персонала путем проведения постоянного радиационного мониторинга в зоне воздействия аварийной атомной электростанции (АЭС). Организация мониторинга санитарно-защитной зоны совместно с правительствен-

ными и префектурными органами. Привлечение независимых экспертов и организаций. Использование дистанционных методов работы (дроны, робототехника и др.);

второй — взятие под контроль выбросов, сбросов радиоактивных веществ и (или) их существенное снижение. Предотвращение радиоактивных сбросов и выбросов в окружающую среду: почву, грунтовые воды, океан, атмосферу;

третий — извлечение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), находящегося в бассейнах выдержки энергоблоков 1–3, не пострадавших в результате аварии. Проведенные исследования подтвердили самый пессимистический сценарий: ядерное топливо энергоблоков 1–3 расплавилось, и значительная его часть находится



вне корпусов ядерных реакторов. Поскольку работы по удалению расплавившегося топлива из трех аварийных реакторов относятся к чрезвычайно опасным, предлагается рассмотреть следующее предложение: не удалять расплавившееся топливо из трех аварийных реакторов, а оставить его на контролируемом хранении внутри помещений энергоблоков станции. Для этого необходимо получить образцы кориума, выполнить химический анализ и определить его радионуклидный состав, а также создать условия по недопущению развития самоподдерживающейся цепной реакции деления (СЦР);

четвертый — выполнить проектно-конструкторские работы по созданию технологий заключения всего комплекса АЭС в саркофаг. На данный момент невозможно гарантировать прочность конструкций зданий реакторных отделений и бассейнов выдержки ввиду продолжающихся афтершоков и возможности сильного землетрясения и (или) цунами. В настоящее время не существует технологий, необходимых для безопасного демонтажа трех реакторов с расплавившимся ядерным топливом. Целесообразно использовать положительный опыт, полученный при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС;

пятый — проведение НИОКР по созданию комплекса хранилищ низко- и среднеактивных радиоактивных отходов на месте демонтированного оборудования машинных залов АЭС «Фукусима-1, -2». Объемы радиоактивных отходов (РАО) на аварийных АЭС постоянно растут. Необходимо оценить возможность строительства хранилищ РАО на действующих площадках АЭС и рассмотреть возможность расширения существующих площадок под новые хранилища РАО;

шестой — использовать существующие мощности и технологии по обращению с РАО на площадках АЭС «Фукусима-1, -2». Приступить к дезактивации и демонтажу оборудования машинных залов блоков 5, 6 АЭС «Фукусима-1» и блоков 1–4 АЭС «Фукусима-2» для создания хранилищ, отвержденных РАО с площадки «Фукусима-1»;

седьмой — вернуться к российской разработке системы очистки жидких радиоактивных отходов (ЖРАО) от трития.

Создание защитного барьера, который бы предотвращал миграцию радионуклидов в реку Припять, стало актуальным сразу после анализа радиационной обстановки в районе разрушенного реактора ЧАЭС. Существовала опасность попадания загрязненных грунтовых вод с промплощадки Чернобыльской АЭС в ближайшую водную артерию — реку Припять. Поскольку Припять впадает в Киевское водохранилище, ее экологическое состояние могло оказывать существенное влияние на водоснабжение не только Киевского региона, но и центральной части Украины. Поэтому защита реки от радиоактивных веществ в острый период ликвидации аварии была жизненно необходимой. Такое защитное сооружение называется «стена в грунте».

Для реализации этой задачи были объединены усилия инженеров бывшего СССР и компании Casagrande [1]. Перед началом работ были проведены исследования, которые заключались в определении типов и количества оборудования, расположении и планировании стройплощадки, определении методики работы и решении проблем материально-технического обеспечения персонала, который работал в крайне неблагоприятных радиационных

условиях. Согласно исследованиям фирмы Casagrande, «стена в грунте» должна была иметь толщину 1000 мм и площадь 360 000 м², начинаться от уровня земли и проходить через различные слои песка и песчаной глины. Глубина стены достигала 100 м, а общая длина составляла приблизительно 4000 м. Принципиальным требованием проекта было сооружение непроницаемого барьера в максимально короткий срок.

Метод устройства «стены в грунте» грейферным способом заключается в том, что стены сооружения возводят в узких и глубоких траншеях, заполняемых при выемке грунта бентонитовым раствором, который создает избыточное гидростатическое давление на вертикальные стенки траншеи, благодаря чему они остаются ровными. Затем траншею заполняют заглинизированным грунтом, монолитным бетоном или железобетоном. Использование этого способа вместо традиционных методов выполнения работ при сооружении подземных помещений способствует снижению сметной стоимости до 25%, стоимости подпорных стен и ограждений до 50%, противofильтрационных завес — до 65%. Он позволяет отказаться от дорогостоящих работ по водоотводу, водопонижению, замораживанию и цементированию грунтов, дает возможность экономить дефицитные материалы, металлический шпунт, снижает энергоемкость строительства, а в отдельных случаях является единственно возможным способом возведения подземного сооружения. Наиболее трудоемкой и дорогостоящей операцией этого метода остается образование узкой глубокой траншеи в грунтах на глубину до 80–100 м, шириной 0,5–1,2 м. Для этих целей используют проходческое оборудование.

В течение шести месяцев после катастрофы компания Casagrande доставила на стройплощадку и запустила в эксплуатацию: 14 буровых установок KRC 2/45 и 10 гидравлических фрезеров K3L — машинное оборудование, достаточное для строительства 4500 м³ «стены в грунте» в день. Через 10 месяцев после начала работ было уложено 160 000 м³ «стены в грунте». В течение этого периода компания Casagrande обеспечивала постоянную техническую поддержку и гарантировала проведение тщательно организованной обучающей программы для советских рабочих.

Для АЭС «Фукусима-1» предлагается усовершенствовать технологию компании Casagrande с созданием под аварийными реакторами фундаментной плиты по аналогии с работами, которые были выполнены на ЧАЭС, т.е. объединить технологию «стены в грунте» с технологией «фундаментной подреакторной плиты». В результате получим технологию под названием «стакан в грунте», которая позволит полностью изолировать энергоблоки аварийной АЭС от воздействия грунтовых вод и при совместной работе с «ледяной стеной» прекратить поступление РАО в океан. Основной строительный материал предлагаемого сооружения — бентонитовая глина в сочетании с монолитным бетоном или железобетоном.

В атомной отрасли использование бентонита целесообразно для изоляции объектов ядерного наследия, создания барьеров безопасности при хранении и захоронении РАО, при экологических мероприятиях по ликвидации аварий и восстановлению территорий. Ключевыми характеристиками барьеров безопасности для хранилищ и захоронений РАО являются противofильтрационные и противомиграционные функции. Барьерные материалы



должны не только обладать необходимыми свойствами, но и сохранять их стабильность в течение всего времени эксплуатации. Все эти функции позволяют обеспечить использование бентонитовых глин в качестве инженерных барьеров.

Гидроизолирующая способность бентонита обеспечивается свойствами геля, который он образует при гидратации. Низкая водопроницаемость, упругость и пластичность препятствуют дальнейшему проникновению влаги. При возникновении разрывных нарушений — потенциальных каналов для миграции — будет происходить их залечивание, естественное восстановление изолирующих свойств. Количество циклов высыхания и набухания не ограничено временем. Высокая сорбционная способность бентонитовой глины по отношению к радионуклидам определяется показателем емкости катионного обмена, которая у бентонита выше, чем у других глин. Поэтому высокое содержание монтмориллонита и минимальное количество второстепенных минералов гарантируют необходимые противодиффузионные и противомиграционные функции и обеспечивают надежную долговременную защиту объекта захоронения РАО.

Технологические решения, которые были реализованы на площадке АЭС «Фукусима-1», оказались неэффективны. Для коренного перелома положения дел на аварийной АЭС «Фукусима-1» предлагаются подходы для реализации поставленных целей. Они основываются на многократно апробированных технологических решениях, которые дали исключительно положительный результат в минимизации последствий радиационных аварий и инцидентов и не требуют дополнительных проверок.

Проблема переработки и очистки загрязненной воды, накопленной на АЭС, чрезвычайно серьезна. Для снижения количества ЖРАО необходимо реализовать следующую транспортно-технологическую схему: АЭС «Фукусима-1» — спецкорпус АЭС «Фукусима-2» — переработка ЖРАО — хранение отвержденных радиоактивных отходов в переоборудованных машинных залах АЭС «Фукусима-2». При реализации этой схемы инвестиции — минимальны, безопасность — полная, результат — стабилизация положения с ЖРАО.

Необходимо перепрофилировать уцелевшие турбинные залы энергоблоков 5–6 «Фукусимы-1» и энергоблоков 1–4 «Фукусимы-2», которые имеют защитные стены и приспособленные помещения по обращению с радиоактивными отходами всех степеней активности. Там ЖРАО могли бы обрабатываться, сортироваться и храниться. Эксплуатация установок глубокого упаривания УГУ-500 на действующих АЭС России (Нововоронежской и Балаковской) позволила перерабатывать жидкие радиоактивные отходы в твердый солевой плав, уменьшив их объем в 5–10 раз и повысив безопасность хранения. Усовершенствованный проект установки УГУ-500 разработан фирмой «Нукем» (ФРГ).

Подобная схема позволит создать постоянное хранилище отвержденных РАО, которого на АЭС до сих пор нет, а самое главное — защитить упаковки с РАО от воздействия окружающей среды; значительно сократить финансовые затраты процесса вывода из эксплуатации аварийной АЭС; максимально использовать имеющиеся помещения и мощности по переработке радиоактивных отходов; уменьшить потенциальную опасность воздействия на радиоактивные отходы природных и техногенных катаклизмов. Там же,

на площадке АЭС «Фукусима-2», есть возможность строительства установки по очистке ЖРАО от трития.

Необходимое оборудование для реализации транспортно-технологической схемы. Специализированный автомобиль для перевозки жидких радиоактивных отходов «Панцирь-15 ЖРО»

Спецавтомобиль предназначен для сбора и транспортировки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) от места их образования до места их хранения или переработки в защитном контейнере с цистерной. Необходимое количество автомобилей для транспортировки ЖРАО — 5 шт. (четыре в работе, один в резерве или на профилактике), для возврата очищенной воды — 5 шт. (четыре в работе, один в резерве или на профилактике). Необходимое количество рейсов в день — 10. Перевозка жидких радиоактивных отходов в день — 180 т.

Спецавтомобиль предназначен для транспортирования жидких радиоактивных отходов на территории и за пределами атомной электростанции — от места образования отходов до пункта хранения или переработки (с правом выезда на дороги общего пользования). Спецавтомобиль представляет собой шасси автомобиля Volvo FM грузоподъемностью 11,5 т с установленным на нем упаковочным комплектом для размещения жидких РАО. Скорость движения автомобиля — до 60 км/ч. Продолжительность закачивания (слива) ЖРО — не более 18 мин [2].

Упаковочный комплект

В его состав входят: емкость для ЖРО, транспортный контейнер, системы биологической защиты, закачивания (слива) и перемешивания ЖРО, дезактивации, сбора протечек, вентиляции емкости, обогрева, а также системы обеспечения (энергообеспечения, контроля и автоматики, пульте управления и аварийный комплект). Габариты упаковочного комплекта — 5205 × 2440 × 2380 мм.

Емкость для ЖРО состоит из наружной защитной оболочки и размещенной в ней цистерны. Оболочка представляет собой горизонтальный герметичный цилиндрический сосуд с торосферическими днищами объемом 6,5 м³, изготовленный из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Зазор между стенками цистерны и оболочки заполнен специальным сорбентом для поглощения протечек ЖРО в случае повреждения цистерны или для герметизации образовавшейся пробоины.

Цистерна рабочим объемом 3,6 м³ (4,5 т) оснащена монтажными узлами для крепления в оболочке и волнорезом для предотвращения смещения центра масс при движении спецавтомобиля. В ней размещены датчики уровня ЖРО, а также системы закачивания (слива) и перемешивания ЖРО, вентиляции, сигнализации, отключения подачи ЖРО при несрабатывании датчика уровня отходов, а также обогрева (для подогрева ЖРО и систем упаковочного комплекта при его эксплуатации в автономном режиме в холодное время года). В нижней части цистерны расположено устройство для сбора остатков ЖРО из трубопроводов после слива.

Для сохранения целостности и герметичности при нормальных условиях эксплуатации и возникновении вероятных аварий емкость ЖРО и все системы упаковочного комплекта единым блоком размещены в специальном транспортном контейнере, который представляет собой силовую раму. Верхняя часть контейнера съемная для обеспечения извлечения емкости ЖРО в случае необходимости.



Использование железобетонных защитных контейнеров

После переработки и для дальнейшего долговременного хранения в зданиях машинного зала АЭС «Фукусима-2» предлагается использовать железобетонные защитные контейнеры для отвержденных жидких радиоактивных отходов низкой и средней активности [2].

Железобетонный защитный контейнер ЖЗК-1 предназначен для транспортирования и хранения низкоактивных радиоактивных отходов. Удельная активность (по бета- и гамма-активности) твердых радиоактивных отходов — до 1×10 Бк/кг. Масса загружаемых ТРО в контейнер — 2000 кг [2]. Необходимое количество контейнеров устанавливается после оценки количества переработанных жидких радиоактивных отходов.

ЖЗК-1 является элементом системы обращения с низкоактивными твердыми радиоактивными отходами и соответствует требованиям действующих норм радиационной безопасности. К твердым отходам, которые предназначены для загрузки в ЖЗК-1, относятся цементированные, битумированные и остеклованные РАО, содержащие соли, отработанные сорбенты, перлит, золу, брикеты прессованных ТРО различной формы, фрагментированные твердые материалы, отработавшие изделия. Не допускается загружать в ЖЗК-1: горючие отходы совместно с негорючими; сыпучие отходы без упаковки, предотвращающей пыление и просыпание загружаемых отходов.

ЖЗК-1 выдерживает температурное воздействие окружающей среды от 223 до 343 К. В конструкции его корпуса предусмотрены грузозахватные элементы для перемещения ЖЗК.

В конструкции крышки предусмотрены грузозахватные элементы, обеспечивающие возможность механизированного дистанционного подъема и установки крышки на корпус ЖЗК-1. Конструкция крышки обеспечивает возможность заполнения герметизирующим составом стыка корпус — крышка. Конструкция ЖЗК-1, его форма и качество наружной поверхности обеспечивают возможность его дезактивации.

Бетон, применяемый для изготовления ЖЗК-1, имеет следующие показатели качества: класс по прочности на сжатие — не ниже В 40 (М 550); марка по водонепроницаемости — не ниже W 10; марка по морозостойкости — не ниже F 200.

Железобетонный защитный контейнер ЖЗК-2 предназначен для транспортирования и хранения среднеактивных твердых радиоактивных отходов. Активность (по бета- и гамма-активности) твердых радиоактивных отходов — до 1×10 Бк/кг. Масса загружаемых ТРО в контейнер — 2000 кг.

ЖЗК-2 является элементом системы обращения с твердыми среднеактивными радиоактивными отходами и соответствует требованиям действующих норм безопасности.

К твердым среднеактивным отходам, предназначенным для загрузки в ЖЗК-2, относятся цементированные, битумированные и остеклованные РАО, содержащие соли, отработанный сорбент, перлит, золу; брикеты прессованных ТРО различной формы, фрагментированные твердые материалы, отработавшие изделия. Не допускается загружать в ЖЗК-2: горючие отходы совместно с негорючими; сыпучие отходы без упаковки, предотвращающей пыление и просыпание загружаемых отходов.

Требования надежности. Срок службы ЖЗК-2 для условий временного хранения — 50 лет в условиях, исключая прямое воздействие на контейнер атмосферных осадков, грунтовых вод или каких-либо агрессивных сред. Срок службы ЖЗК-2 для захоронения в приповерхностных или подземных сооружениях — 300 лет в условиях, исключая прямое воздействие на контейнер атмосферных осадков, грунтовых вод или каких-либо агрессивных сред. Хранение ЖЗК-2 — штабельное в 5–6 ярусов, плотное.

Предлагаемые меры по очистке ЖРАО от трития

На АЭС «Фукусима-1» накоплено 1,37 млн м³ ЖРАО. Ежедневное поступление — до 400 м³. Содержание трития — $\sim 5 \cdot 10^6$ Бк/кг. Среднее солесодержание — 10 г/л.

В 2017 г., после отказа от дальнейшей разработки российской установки очистки от трития, ТЕРСО начала протрупуывание почвы относительно слива воды трития в океан.

Воздействие трития на живые организмы. Многие исследователи относят тритий к слабым радиоизотопам. Но эта точка зрения устарела. Радиоактивный ³H выбрасывается из реактора в атмосферу и выделяется в виде водяного пара. Он может поступать в организм с воздухом, пищей, водой, превращаясь при этом в органически связанный тритий. ³H встраивается в протеиновые молекулы и надолго остается в организме. В 1970–80-х гг. проводились исследования на крысах, которым давали тритиевую воду. Эта разовая доза сохранялась в их организмах и через три недели, тритий нигде не вымывался.

Считалось, что этот не очень активный изотоп не представляет особой проблемы. Однако с точки зрения биологии чем изотоп слабее, тем он опаснее. С точки зрения радиационной безопасности тритий как радионуклид (мягкий β -излучатель, $E_{\text{ср.}} = 5,71$ кэВ), на первый взгляд, менее значим, чем, например, Sr-90 или Cs-137. Однако в газовых выбросах он, как правило, содержится в химической форме воды, и его попадание в организм человека может привести к крайне опасным последствиям, в том числе на генетическом уровне.

Интегрированный в живой организм тритий эффективно включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения. Распадаясь, тритий превращается в гелий, выделяя при этом довольно интенсивное бета-излучение. Энергия его бета-частиц относительно невелика, поэтому при нахождении вне организма (внешнее облучение) тритий не представляет серьезной угрозы. Однако при внутреннем облучении (при попадании трития внутрь организма человека с воздухом или водой) он может представлять для здоровья серьезную угрозу. Являясь изотопом водорода, тритий химически ведет себя так же, как водород, и поэтому способен замещать его во всех соединениях с кислородом, серой, азотом, легко проникая в протоплазму любой клетки. В этом случае испускаемое тритием бета-излучение способно серьезно повредить генетический аппарат клеток.

Удельный вклад поступления трития с вдыхаемым воздухом и через кожные покровы составляет от 15 до 20% дозы, обусловленной фактическим содержанием трития в организме. С продуктами питания и питьевой водой поступает от 80 до 85% этого радионуклида, обладающего большой миграционной способностью.



Тритий — «генетически опасный» радионуклид. Требуется также интенсифицировать разработку методики определения в биосредах органически связанного трития, уровни накопления которого в белковых фракциях организма оцениваются нерепрезентативно, а дозы облучения за счет связанной в молекулах ДНК фракции трития могут вносить дополнительно 60% и более к величине дозы, обусловленной поступлением тритированной воды. По современным данным, эти 60% ответственны за вредные последствия для здоровья населения, что заставляет ужесточать нормативы содержания трития в экологических объектах.

Образование трития в ядерных реакторах. При работе АЭС тритий образуется в реакторах:

- как продукт тройного деления ядер горючего (при делении ядер ^{235}U на 1 ГВт эл. мощности в реакторе образуется $1,15 \times 10^{11}$ Бк/сут трития);
- в результате (n, γ)-реакции на ядрах дейтерия, находящегося в теплоносителе — воде;
- при захвате нейтронов ядрами В и Li, находящимися в теплоносителе — воде (при борном регулировании, коррекции водного режима на АЭС с ВВЭР) и в стержнях регулирования;
- в результате реакции ^3He (n, p) Т в газовом контуре (в газе, заполняющем графитовую кладку) АЭС с РБМК;
- в результате (n, Т)- и (n, p)-реакций быстрых нейтронов на ядрах ^{14}N , ^6Li , ^{10}B , ^{40}Ca и др., присутствующих в различных материалах, используемых в конструкции реактора.

Часть реакций образования трития протекает в реакторной воде (в воде первого контура АЭС с ВВЭР, в воде и пароводяной смеси контура многократной принудительной циркуляции АЭС с РБМК), а часть — в твэлах и стержнях регулирования. Тритий из твэлов и стержней регулирования попадает в реакторную воду при нарушении герметичности оболочек твэлов или стержней регулирования, а также вследствие диффузии через оболочки или вследствие утечки через неплотности оболочек.

Между активностью трития в выбросах АЭС с ВВЭР и РБМК одинаковой мощности большой разницы нет. Мощность выброса трития — порядка 10^8 Бк/сут с двух энергоблоков.

При такой объемной активности трития в приземной атмосфере дозовая нагрузка на индивидуума из населения (верхняя оценка) составит не более 10 Зв/год.

Большая часть трития, наработанного на атомной станции, покидает АЭС с жидкими стоками. Содержание трития в жидких стоках при штатной работе АЭС намного превосходит содержание всех остальных нуклидов, а в газообразных выбросах уступает только количеству радиоактивных благородных газов.

Поступление трития в окружающую среду с газообразными и жидкими отходами АЭС, Ки/МВт (эл.)/год представлено в табл. 1.

Тритий обладает большим периодом полураспада (12,32 года), вследствие чего является глобальным загрязнителем природных комплексов. Для большинства АЭС характерно загрязнение тритием грунтовых вод. Контакт воды с РАО в емкостях хранилищ ТРО приводит к образованию жидких тритиевых отходов. Тритий выходит за пределы хранилищ твердых радиоактивных отходов и обнаруживается в воде контрольных скважин санитарно-защитной зоны предприятия.

ТАБЛИЦА 1. Поступление трития в окружающую среду с газообразными и жидкими отходами АЭС, Ки/МВт (эл.)/год

TABLE 1. Tritium release into the environment with gaseous and liquid waste from nuclear power plants, Ci/MW(e)/year

Тип реактора Reactor type	Выброс в атмосферу Release to atmosphere	Сброс в гидросферу Discharge into the hydrosphere
ВВЭР Pressurized water power reactor	0,2–0,9	0,9
РБМК High power channel reactor	0,6	0,04
PWR	0,22	1,4
BWR	0,14	0,1

На данный момент большинство ведущих ядерно-энергетических компаний создали и эксплуатируют специальные установки, предназначенные для удаления трития из сбросных растворов АЭС и радиохимических предприятий. Канадское Агентство по атомной энергии (AECL), Дарлингтон, Онтарио, с 1998 г. для очистки от трития жидких отходов использует установку, работающую по технологии одноконтурного химического изотопного обмена в системе «вода — водород» (СЕСЕ-процесс) [3]. Аналогичные установки существуют в США, Южной Корее, Японии и России. Установка включает колонну химического изотопного обмена, электролизер в качестве нижнего узла обращения потоков и горелку в качестве верхнего узла обращения потоков. Недостатком этой установки являются очень большие затраты электроэнергии для электролитического разложения всего потока очищаемой воды.

На промышленном предприятии «Дженерал Электрик» (GE-Hitachi), Кардифф, Великобритания, для очистки от трития легкой воды используется установка, включающая колонну для ректификации воды (WD-процесс) с целью получения очищенной воды и предварительного концентрирования трития, реактор для каталитической конверсии обогащенной тритием воды в обогащенный тритием водород (PMR-процесс) и термодиффузионные колонны для конечного концентрирования трития (TD-процесс) [4]. К недостаткам данной конструкции относятся необходимость высокой степени разделения в ректификационной колонне и накопление вследствие этого значительных объемов тритиевого концентрата, что не рационально по соображениям радиационной безопасности, и значительные энергетические затраты в узле каталитической конверсии.

Для применения в составе международного термоядерного реактора (ITER) (Кадараш, Франция) разработана установка Trit-Ex® [5], включающая колонны ректификации (WD-процесс), колонны изотопного обмена с электролизером (СЕСЕ-процесс) и каскад газодиффузионных колонн (GD-процесс). Подобная установка рассчитана на получение высокообогащенного трития и требует больших энергетических затрат



на процесс электролиза. Это делает нерациональным ее использование для очистки от трития больших потоков воды со сравнительно невысоким содержанием трития.

Для сокращения энергетических затрат на электролиз, которые являются основной составляющей стоимости очистки от трития, предложены установки, в составе которых используются колонные аппараты для двухтемпературного химического изотопного обмена (BWH-процесс) [6].

В 2014 г. правительство Японии выбрало российские предприятия в качестве партнеров для реализации демонстрационного проекта по очистке радиоактивной воды на АЭС «Фукусима-1». Агентство по природным ресурсам и энергетике Японии инвестировало более 5 млн долл. США в демонстрационную установку с ректификационной колонной высотой 43 м. В колонне происходят реакции изотопного обмена и разделение молекул воды по плотности: более тяжелые молекулы с тритием остаются в нижней части колонны, а более легкие молекулы с водородом поднимаются вверх. Проведенные исследования дали обнадеживающие результаты, но дальше испытаний, закончившихся в 2016 г., дело не пошло. Японские эксперты сочли, что реализовать технологию очень дорого: только строительство очистного предприятия обошлось бы более чем в 300 млн долл., и это не считая эксплуатационных затрат.

Установка для очистки ЖРАО от трития является прототипом разработанной федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-производственное объединение "Радиевый институт имени В.Г. Хлопина"» и федеральным государственным унитарным предприятием «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами "РосРАО"» для реализации полномасштабного проекта и создания установки очистки ЖРАО от трития с производи-

тельностью 480 м³ в день (175 200 м³ в год) для АЭС «Фукусима-1».

Установка для очистки воды от трития по данному техническому решению обладает преимуществами в сравнении с техническим решением по прототипу по степени концентрирования трития (степень сокращения отходов по сравнению с прототипом примерно 70 раз) без увеличения энергетических затрат и обеспечивает экологическую безопасность производства, исключая выброс трития в окружающую среду. Установка также имеет повышенный по сравнению с прототипом ресурс работы. Эффективность и экономичность предлагаемой конструкции свидетельствуют о ее технико-экономических преимуществах в сравнении с конструкцией по прототипу и другими известными техническими решениями, поэтому установка может успешно использоваться для очистки от трития радиоактивных отходов, образующихся на аварийной АЭС «Фукусима-1».

Выводы

Японское правительство, не исчерпав всех методов безопасной утилизации ЖРАО с аварийной АЭС «Фукусима-1», невзирая на сомнения и протесты как внутри страны, так и за рубежом, без проведения всесторонних консультаций с соседними государствами и международным сообществом, в одностороннем порядке произвело сброс радиоактивных отходов в океан.

Сброс Японией ЖРАО в Тихий океан — это крайне безответственное действие, которое нанесет серьезный ущерб безопасности глобальной морской среды, системе международного общественного здравоохранения, а также коренным интересам народов соседних стран.

Япония допустила ряд принципиальных ошибок, которые привели к катастрофическим последствиям.

Литература/References

1. Casagrande. URL: www.casagrandegroup.com (accessed 12 December 2023).
2. Перевозка радиоактивных материалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.inruscom.com/catalog/4> (дата обращения: 12.12.2023). [Transportation of radioactive materials [Electronic resource]. URL: <http://www.inruscom.com/catalog/4> (accessed 12 December 2023). (In Russ.)].
3. Graham W.R.C. et al. 6th International Conference on Tritium Science and Technology, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 2001 November 11–16.
4. Bonnett I. et al. US Patent 7470350, 30.12.2008.
5. Graham W.R.C. et al. US Patent № 6858190, 22.02.2005.
6. Bonnett I., Busigin A., Shapiro A. Tritium Removal and Separation Technology Developments. Fusion Science and Technology. 2008; 54: 209–214.

Вклад авторов. В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.
Authors contributions. V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.
Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.
Статья поступила: 12.01.2024.
Принята к публикации: 22.02.2024.
Article received: 12.01.2024.
Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Владимир Михайлович, д.т.н., профессор, ООО «Группа компаний "ИнтеллектСервис"». Адрес: Россия, 115088, Москва, ул. Угрешская, 2, стр. 33.

ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Спиридонова Валентина Валерьевна, н.с. отдела ГИС и цифровой картографии отделения геоинформатики ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИИГНИ». Адрес: Россия, 117105, Москва, Варшавское шоссе, 8. Телефон: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.

AUTHORS INFORMATION

Kuznetsov Vladimir Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, LLC Group of companies Intellectualservice. Address: 115088, Moscow, Ugreshskaya str., 2, p. 33.

ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Spiridonova Valentina Valeryevna, Senior Researcher of the GIS and Digital Cartography Department of the Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI Federal State Budgetary Institution. Address: 117105, Moscow, Varshavskoe Shosse, 8. Phone: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.

УДК 614.841.45
UDC 614.841.45

Деформационные процессы. Оценка пределов огнестойкости строительных конструкций



Deformation Processes. Assessment of Fire Resistance Limits of Building Structures

АВТОРЫ

AUTHORS

А.А. Копылов, к.соц.н., **В.П. Спиридонов**, к.т.н., профессор, **О.Ю. Маламут**

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

A.A. Kopylov, V.P. Spiridonov, O.Yu. Malamut

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Опасные геологические процессы негативно влияют на общее состояние строений и их конструкции. Для определения зон смещения земной коры, нарушения основания зданий и сооружений необходимо проводить мониторинг деформаций. Согласно действующим техническим нормативным правовым актам требуемые пределы огнестойкости конструкций в жилых и общественных зданиях не зависят от количества пожарной нагрузки в помещении, а определяются степенью огнестойкости здания, зависящей преимущественно от этажности и площади здания (пожарного отсека). В то же время действительная огнестойкость конструкций является функцией мощности возможного пожара в помещении, поэтому необходимо тщательное изучение взаимосвязи степени огнестойкости и требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций. Это является актуальной задачей в связи с наметившимся переходом на гибкое нормирование, когда здание проектируется с учетом реальных воздействий.

Dangerous geological processes negatively affect the general condition of buildings and their structures. To determine the zones of displacement of the Earth's crust, violations of the foundations of buildings and structures, it is necessary to monitor deformations. According to the current technical regulatory legal acts, the required limits of fire resistance of structures in residential and public buildings do not depend on the amount of fire load in the room, but are determined by the degree of fire resistance of the building, depending mainly on the number of floors and the area of the building (fire compartment). On the other hand, the actual fire resistance of structures is a function of the power of a possible fire in the room, therefore, the relationship between the degree of fire resistance and the required fire resistance limits of building structures requires careful study. This is an urgent task in connection with the emerging transition to flexible rationing, when the building is designed taking into account real impacts.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ, ПОЖАР В ПОМЕЩЕНИИ, РАСЧЕТ СТЕПЕНИ И ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЖЕЛЕЗБЕТОННАЯ КОЛОННА

DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES, DEFORMATIONS OF STRUCTURES, INDOOR FIRE, CALCULATION OF THE DEGREE AND LIMITS OF FIRE RESISTANCE OF BUILDING STRUCTURES, REINFORCED CONCRETE COLUMN

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Копылов А.А., Спиридонов В.П., Маламут О.Ю. Деформационные процессы. Оценка пределов огнестойкости строительных конструкций. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 33–40. [Kopylov A.A., Spiridonov V.P., Malamut O.Yu. Deformation processes. Assessment of fire resistance limits of building structures. Technicheskiy opponant = Technical Opponent. 2024. 1 (13): 33–40. (In Russ.)].

Территория и многочисленные объекты хозяйства России подвержены разрушительным воздействиям практически всех известных типов опасных геологических, гидрометеорологических и биологических процессов. Из них наибольшую площадь распространения имеют геокриологические опасности (пучение, термокарст, термоэрозия, солифлюкция), приуроченные к зоне развития многолетнемерзлых пород, занимающей около 65% территории страны.

Почти на 45% территории России периодически происходят лесные и другие природные пожары, а на 34% — землетрясения силой в 6 и более баллов (по шкале MSK-64), каждый раз обуславливающие значительные социально-экономические потери при поражении ими городов и других поселений. Наводнения, оползни и обвалы, техногенное подтопление территорий, карстово-суффозионные и некоторые другие опасные природные и техноприродные (обу-

словленные деятельностью человека) процессы также представляют значительную и увеличивающуюся во времени и пространстве опасность для социально-экономического развития России. Суммарный средне-многолетний экономический ущерб России от этих опасностей достигает в настоящее время 20–26 млрд долл. в год, или 6–7% валового внутреннего продукта России. Это оказывает значительное отрицательное влияние на устойчивость развития и национальную безопасность страны как в среднесрочной, так и особенно в долгосрочной перспективе [1].

Согласно археологическим, палеонтологическим, литературным источникам кардинальные изменения как в биосфере, так и в развитии цивилизации неоднократно инициировались геологическими факторами.

Без учета динамики, механизмов, факторов и закономерностей развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноза их развития, оценки опасности и риска невозможно качественное развитие территории. Высокая антропогенная нагрузка требует применения современных методов геоэкологического картирования, информационных систем для всестороннего изучения природных условий исследуемой территории, что впоследствии может послужить основой для прогноза их изменчивости и обоснования геоэкологической составляющей генерального плана города.

Главная цель анализа и оценки риска состоит в определении путей и средств управления им, а точнее в его снижении до приемлемого уровня. Оценка экологического риска — многоступенчатый процесс, одна из первых стадий которого — идентификация и ранжирование геологических риск-факторов.

По результатам анализа геологических факторов экологического риска строится концептуальная модель в форме карт, а на их базе (в совокупности с другими показателями) выполняется комплексная оценка численных значений экологического риска. Проблемы анализа факторов риска тесно увязываются с проблемами безопасности — национальной, продовольственной, экологической и прочих — и с проблемами принятия рациональных управляющих решений, обеспечивающих экологическую безопасность граждан России [2].

Бурно развивающееся в последние 100–150 лет градостроительство активно затрагивает геологическую среду, вгрызаясь в нее корнями своих подземелий и тесно взаимодействуя с подземными геолого-геоморфологическими процессами, попутно перекарывая рельеф. В узкой 30–80-метровой зоне контакта города и грунтов в обилии образуются рукотворные пустоты, оживляются старые карстовые. Все эти полости, или субрельеф (по терминологии авторов), вместе с антропогенно спровоцированными и некоторыми естественными субтерральными (подземными) процессами становятся полноценными экологическими и геоморфологическими факторами опасностей и рисков в крупных городах [3].

Опасные геологические процессы на городских территориях весьма разнообразны и определяются, с одной стороны, природной обстановкой и, с другой — планировочными решениями и их реализацией в застройке и эксплуатации городских территорий.

Также правомерно говорить о некоторых общих тенденциях изменения геоэкологической обстановки природной территории по мере ее трансформации кварталами городской застройки и частными воздействиями. Наиболее активно воздействие города проявляется в поверхностных слоях земной коры примерно до глубины 60–100 м, хотя в отдельных случаях может простирается до глубины 1,5–2,0 км.

Техногенные процессы усугубляются старением и выходом из строя инженерных сетей и коммуникаций. По данным инспекционных служб, в Москве до 20% объема питьевой воды теряется из-за разрывов или естественного износа трубопроводных сетей, что в конечном итоге ведет к усилению процессов подтопления зданий и сооружений. Общий ущерб от подтопления 1 га городских территорий оценивается в 30–460 млн руб. (в ценах 1997 г.). Согласно оценке Госстроя России в целом по стране ущерб от подтопления застроенных городских территорий составляет около 60 трлн руб. в год (в ценах 1997 г.) [4].

Геологические и инженерно-геологические, в частности гидрометеорологические, явления негативно влияют на общее состояние строений и сооружений, а также на жизнедеятельность населения. Данные процессы подробно описаны и прописаны в государственных нормативных документах, таких как ГОСТ 22.1.02-97, ГОСТ Р 22.1.06-99, СНиП 22-02-2003.

Неравномерные деформации основания могут вызываться внешней статической нагрузкой или деформированием земной поверхности. Поверхность земли деформируется вследствие подработки угольных, калийных и рудных месторождений; подтопления территорий; замачивания просадочных грунтов; карстовых и тектонических явлений.

В результате анализа причин деформаций зданий на территории г. Москвы авторами выделены основные факторы, обуславливающие возникновение этих деформаций, и определены наиболее приоритетные из них. Среди основных факторов, обуславливающих деформируемость зданий, выделены (используя символ доминирования): уровень грунтовых вод, особенно в сочетании с насыпными отложениями в основании фундаментов (мощность насыпных отложений), пучение при замерзании водонасыщенных и оттаивание мерзлых льдонасыщенных грунтов, этажность зданий в сочетании с их принадлежностью к определенной строительной генерации (наличие (отсутствие) подвала), степень интегральной геологической опасности, определяющейся типом грунтовой толщи (тип фундамента), материал стен (геоморфологические условия), конструктивные недоработки [5].

За счет значительной высоты почти для всех высотных сооружений характерно сосредоточение огромной нагрузки (иногда в несколько десятков тысяч тонн) на сравнительно небольшой площади. Отсюда на фундамент и основание приходится большая нагрузка, вызывающая осадку сооружения. Неравномерность осадки приводит к нарушению вертикальности (крену), прогибам отдельных элементов сооружения и трещинам. Эти деформации, присущие всем типам высотных сооружений, воз-

растают с увеличением нагрузки в строительный период и постепенно, по мере уплотнения грунтов, стабилизируются в период эксплуатации.

Сооружения башенного и частично ступенчатого типа под воздействием температурных факторов и переменной ветровой нагрузки еще и изгибаются, совершая колебательные движения. Деформации этого вида принято называть динамическими.

В современной практике инженерно-геодезических работ значительное место занимает наблюдение за деформациями сооружений. Достаточно сказать, что ни одно строительство крупных сооружений не обходится без деформационных измерений, а для сооружений, где от величины происходящих деформаций зависит их устойчивость и особенно нормальный режим технологического процесса, наблюдения, начатые в период строительства, могут продолжаться и весь период эксплуатации. При этом объем и сложность наблюдений, а также требования к точности их производства из года в год возрастают.

Так, если для строительства конструкций допустимые ошибки измерения выражаются единицами миллиметров, то для технологического оборудования они могут быть ограничены десятками и даже сотыми долями миллиметра. Для обеспечения современных требований разрабатываются специальные методы и средства измерений, основанные на последних достижениях науки и техники. Специфика наблюдений за деформациями позволяет, а порой и требует применения автоматизированных систем и приборов.

Автоматизация измерений позволяет проводить их дистанционно, оперативно, непрерывно; централизовать поступающую информацию; эффективно использовать ЭВМ и т.д. В отдельных случаях измерения из-за ряда причин (радиоактивное излучение, токсичность среды, температурный режим, механические помехи и т.д.) возможны лишь с помощью автоматизированных средств.

Основой автоматического контроля деформаций отдельных элементов и всего сооружения в целом являются различного рода датчики, преобразующие механические перемещения в электрические сигналы, геодезические приборы, а также аппаратура для сбора, обработки и хранения информации [6].

Выбрать наиболее правильные конструктивные решения сооружения фундаментов и надземных частей зданий и сооружений позволяет прогноз величины деформаций оснований на стадии проектирования. Осадки оснований оказывают решающее влияние на прочность и устойчивость подземных конструкций и могут развиваться без коренного изменения структуры грунта.

Необходимо проводить математическое моделирование пожаров и оценивать пределы огнестойкости строительных конструкций для защиты зданий, сооружений и их конструкций, предотвращения воздействия пожара и возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных деформационными процессами.

Основные понятия нормируемых пожарно-технических показателей устанавливает Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Общая методика определения пределов огнестойкости строительных конструкций

Расчет предела огнестойкости строительных конструкций состоит из двух частей: теплотехнической и статической (прочностной). Теплотехническая часть имеет целью определить температурные поля в расчетном сечении элемента или конструкции при действии на них температурного режима пожара. При этом используются уравнения нестационарной теплопроводности твердого тела с учетом изменения теплофизических характеристик материалов, из которых выполнена конструкция, в зависимости от температуры. Решение теплотехнической части позволяет определить предел огнестойкости из условия наступления предельного состояния по теплоизолирующей способности, что характерно для ограждающих конструкций.

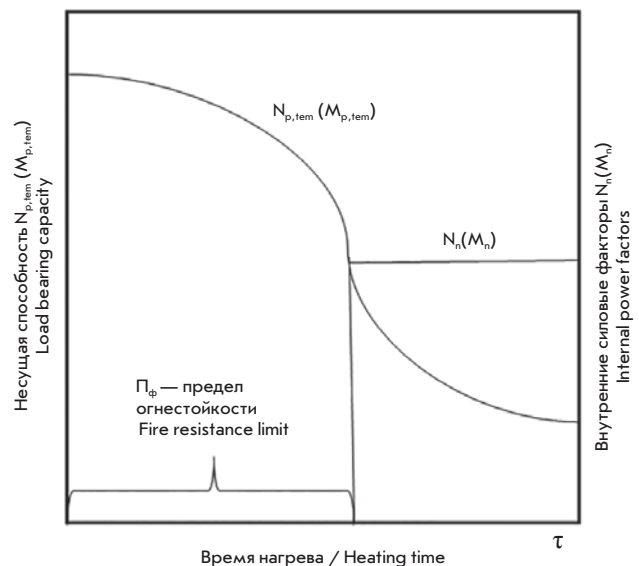
Для определения предела огнестойкости из условия наступления предельного состояния по несущей способности необходимо также выполнить статическую (прочностную) часть расчета. В этой части вычисляются несущую способность конструкций, нагреваемых при пожаре, с учетом изменения прочностных свойств материалов при высоких температурах.

В общем случае схема расчета предела огнестойкости конструкции по потере ее несущей способности показана на **рис. 1**.

По оси абсцисс отложено время нагрева конструкции t , а по оси ординат — несущая способность конструкции N_p, t_{em} (M_p, t_{em}) и величины внутренних

РИСУНОК 1. Общая схема расчета предела огнестойкости конструкции по потере ее несущей способности

FIGURE 1. General scheme for calculating the fire resistance limit of a structure based on the loss of its load-bearing capacity



силовых факторов в виде действующего усилия N_n (растяжения или сжатия) или изгибающего момента M_n от действия нормативной нагрузки.

Для построения графика на **рис. 1** выполняется следующая последовательность расчета:

- задаются отдельными периодами времени нагрева конструкции $\tau_1 \dots \tau_i$;
- для заданных периодов времени теплотехническим расчетом определяют температуру в сечении конструкции;
- статическим расчетом для этих же промежутков времени определяют несущую способность конструкции с учетом изменения прочностных характеристик материала;
- строится график снижения несущей способности конструкции во времени;
- по графику определяется значение предела огнестойкости Π_{ϕ} , т.е. времени, при достижении которого несущая способность конструкции снизится до величины внутренних силовых факторов $N_n(M_n)$ от нормативной нагрузки [8].

Расчетные схемы определения предела огнестойкости строительных конструкций

Возможность расчетной оценки времени наступления предельных состояний по огнестойкости можно представить в виде трех основных схем.

Расчетная схема 1 используется для оценки предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности вертикальных и горизонтальных ограждающих конструкций (перегородки, плиты перекрытий, внутренние стены). Согласно данной схеме предел огнестойкости конструкции наступит в момент времени $\tau = \Pi_{\phi}$, когда при заданных условиях высокотемпературного воздействия и теплофизических характеристиках материала температура на необогреваемой поверхности, изменяясь от начального значения, станет равной допустимому значению.

Расчетная схема 2 используется для расчета предела огнестойкости незащищенных и защищенных металлических конструкций, а также железобетонных изгибаемых конструкций. При этом решается задача определения времени, по истечении которого на поверхности металлических конструкций или рабочей арматуры железобетонных конструкций установится критическая температура t_{cr} . Под критической температурой понимается температура конструкции или ее элемента, при достижении которой наступает предельное состояние по несущей способности.

Расчетная схема 3 используется для определения предела огнестойкости строительной конструкции по критической площади ее сечений. Существуют конструкции, предельное состояние которых при пожаре наступает в результате потери их несущей способности из-за уменьшения размеров расчетного сечения. К ним, в частности, относятся деревянные конструкции, размеры сечений которых уменьшаются в результате обугливания древесины.

Расчет предела огнестойкости строительных конструкций выполняется с учетом следующих допущений:

- 1) расчету подвергается отдельно взятая конструкция или конструктивный элемент без учета связи с другими конструкциями, т.е. совместная работа конструкций здания или сооружения не учитывается;
- 2) конструктивные элементы в условиях действия температурного режима, представленного в виде зависимости среднеобъемной температуры от времени, нагреваются одинаково по всей длине или высоте;
- 3) утечками тепла по торцам конструкции пренебрегают;
- 4) не учитываются температурные напряжения в конструкции, появляющиеся в результате ее неравномерного прогрева и в силу изменения упруго-пластических свойств материала.

Суть теплотехнического расчета заключается в определении температурных полей в расчетных сечениях обогреваемой конструкции.

Расчет температур выполняется с применением дифференциального уравнения теплопроводности Фурье:

двухмерное температурное поле

$$C_{tem} \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_{tem} \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_{tem} \frac{\partial t}{\partial y} \right], \quad (1)$$

одномерное температурное поле вдоль осей x и y

$$C_{tem} \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_{tem} \frac{\partial t}{\partial x} \right]; \quad C_{tem} \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_{tem} \frac{\partial t}{\partial y} \right], \quad (2)$$

где C_{tem} — удельная теплоемкость; λ_{tem} — коэффициент теплопроводности.

Уравнение (1) применяется для определения температурного поля в сечениях стержневых конструкций (колонны, балки, арки, элементы ферм), а уравнения (2) — для плоских вертикальных и горизонтальных конструкций (стены, перегородки, плоские плиты покрытий и перекрытий).

Дифференциальные уравнения теплопроводности Фурье (1), (2) являются нелинейными, так как изменяется не только температура нагревающей среды, но и теплофизические характеристики материала C_{tem} . Решение таких уравнений можно получить с использованием численных методов, реализованных с помощью ЭВМ.

Коэффициент теплообмена ($Вт/(м^2 \cdot К)$)

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l, \quad (3)$$

где α_k — конвективная составляющая; α_l — лучистая составляющая.

Значения составляющих α_k и α_l в формуле (3) при действии стандартного температурного режима соответственно равны:

$$\alpha_k = 29;$$

$$\alpha_l = 5,77 \varepsilon_{red} \frac{\left(\frac{T_b}{100}\right)^4 + \left(\frac{T_0}{100}\right)^4}{T_b - T_0}, \quad (4)$$

где ε_{red} — приведенная степень черноты системы «огневая камера — обогреваемая поверхность»; T_b — температура нагревающей среды, К; T_0 — температура обогреваемой поверхности, К.

В формуле (4) значение приведенной степени черноты

$$\varepsilon_{red} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon_0} - 1}, \quad (5)$$

где ε — степень черноты среды огневой камеры печи, принимаемая 0,85; ε_0 — степень черноты обогреваемой поверхности конструкции в зависимости от вида материала.

Значение приведенной степени черноты системы «огневая камера — обогреваемая поверхность» железобетонной конструкции зависит от температуры обогреваемой поверхности и равно $\varepsilon_{red} = 0,67 - 0,00041 \cdot T_o$.
 Линеаризация дифференциальных уравнений (1), (2) позволяет получить их аналитическое решение. Линеаризация выполняется введением постоянных значений λ_{tem} и C_{tem} , а также путем учета фазовых превращений влаги и процессов влагопереноса в нагреве конструкции с помощью специального поправочного коэффициента. При решении дифференциального уравнения теплопроводности Фурье с использованием граничных условий 3-го рода усредняется и значение коэффициента теплообмена α .

Расчет огнестойкости железобетонной колонны после просадки грунта

В результате просадки грунта произошло перераспределение нагрузок на железобетонную колонну. Как следствие, напряженное состояние колонн среднего ряда с условно-центрально сжатого изменилось на сжатие с эксцентриситетом (рис. 2). С целью оценки влияния просадки грунта на фактические пределы огнестойкости основных несущих элементов здания — колонн каркаса производится повторный расчет огнестойкости железобетонных колонн в условиях нового напряженного состояния.

Исходные данные для расчета.

Марка колонны: 2КНД 60-2,21.

$H_0 = 13,25$ м.

Сечение $b \times h = 400 \times 400$ мм.

Средняя плотность бетона: $\rho_{oc} = 2300$ кг/м³.

Марка бетона: В25 тяжелый.

Арматура:

• диаметр — четыре стержня по 22 мм;

• класс арматуры — А400.

Весовая влажность арматуры: $W = 2\%$;

$a_n = a_c = c_1 = 50$ мм;

$c_2 = 200$ мм.

Нормативная нагрузка: $N_n = 2375$ кН.

Найдем несущую способность колонны без воздействия пожара:

$$N_{p,t} = \varphi_{tem} [(R_{bn} \cdot b_{tem} \cdot h_{tem}) + R_{sn} \cdot A_{s,tot}];$$

$$N_{p,t} = 0,709 [(18,5 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \cdot 0,4) + 400 \cdot 10^6 \cdot 1520 \cdot 10^{-6}] = 2530 \text{ кН,}$$

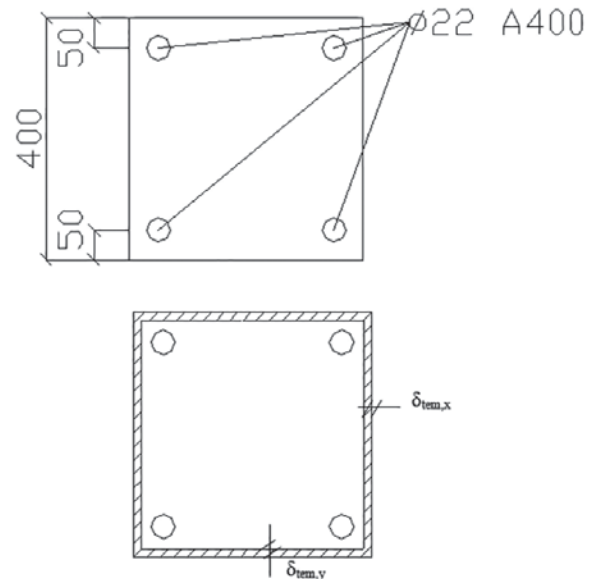
где φ_{tem} — коэффициент изгиба, определяемый по величине $\lambda = l_0/b_0$;

$$l_0 = H_0 \cdot \mu = 13250 \cdot 0,75 = 9937,5 \text{ мм;}$$

$$b_0 = 400 \text{ мм.}$$

РИСУНОК 2. Расчетное сечение колонны и схема нагружения

FIGURE 2. Design section of the column and loading diagram



Для дальнейших расчетов задаемся интервалами времени τ_n , равными $\tau_1 = 90$ мин, $\tau_2 = 120$ мин, $\tau_3 = 180$ мин.

Найдем значения для $\tau_1 = 90$ мин = 5400 с.

Найдем коэффициенты теплотехнических характеристик бетона:

$$\begin{aligned} \theta_x = \theta_{y1} &= \operatorname{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + a_1}{2\sqrt{a_{red} \tau_1}} + \operatorname{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + b - a_1}{2\sqrt{a_{red} \tau_1}} - 1 = \\ &= \operatorname{erf}(\Phi_1) + \operatorname{erf}(\Phi_2) - 1; \end{aligned}$$

$$\theta_x = \theta_{y1} = \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 50}{2\sqrt{0,3266 \cdot 5400}} + \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 50}{2\sqrt{0,3266 \cdot 5400}} - 1;$$

$$\begin{aligned} \theta_x = \theta_{y1} &= \operatorname{erf}(0,8452) + \operatorname{erf}(4,4166) - 1; \\ \theta_x = \theta_{y1} &= 0,768 + 1 - 1; \\ \theta_x = \theta_{y1} &= 0,768; \end{aligned}$$

$$\theta_{y2} = \operatorname{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + a_2}{2\sqrt{a_{red} \tau_1}} + \operatorname{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + b - a_2}{2\sqrt{a_{red} \tau_1}} - 1 = \operatorname{erf}(\Phi_1) + \operatorname{erf}(\Phi_2) - 1;$$

$$\begin{aligned} \theta_{y2} &= \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 200}{2\sqrt{0,3266 \cdot 5400}} + \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 200}{2\sqrt{0,3266 \cdot 5400}} - 1; \\ \theta_{y2} &= \operatorname{erf}(2,63) + \operatorname{erf}(2,63) - 1; \\ \theta_{y2} &= 2 \cdot 0,9998 - 1; \\ \theta_{y2} &= 0,9996. \end{aligned}$$

Рассчитываем температуру прогрева арматуры:

$$t_s = 1250 - (1250 - t_n) \theta_x \theta_y,$$

где t_n — начальная температура арматуры, принимаем равным 20.

$$t_{s1} = 1250 - (1250 - 20) 0,768 \cdot 0,768;$$

$$t_{s1} = 525 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{s1} = 1250 - (1250 - 20) 0,9996 \cdot 0,768;$$

$$t_{s1} = 306 \text{ }^\circ\text{C.}$$

В зависимости от температуры прогрева арматуры и класса арматуры найдем коэффициент условной работы арматуры $\gamma_{s1,tem} = 0,5425$; $\gamma_{s2,tem} = 0,897$.

Определяем толщину несущего слоя бетона $\delta_{tem,x} = \delta_{tem,y} = \delta_{tem}$.

Найдем избыточную температуру в центре сечения.

Для этого найдем коэффициент избыточной температуры

$$\Theta_{y0} = 2 \operatorname{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + \frac{h}{2}}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} - 1 = 2 \operatorname{erf}(\Phi_1) - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + \frac{400}{2}}{2\sqrt{0,3266 \cdot 5400}} - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \operatorname{erf}(2,63) - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \cdot 0,9998 - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 0,9996;$$

$$\Theta_{x0} = \frac{1250 - t_{b,cr}}{(1250 - t_H)\Theta_{y0}},$$

где $t_{b,cr}$ — критическая температура бетона, °C;

$$\Theta_{x0} = \frac{1250 - 600}{(1250 - 20)0,9996};$$

$$\Theta_0 = 0,5287$$

Найдем значение аргумента функции ошибок $\operatorname{erf}(\Phi_1) = 0,5287$, $\Phi_1 = 0,5094$

$$\delta_{tem} = \Phi_1 \cdot 2\sqrt{a_{red}\tau_1} - k_b\sqrt{a_{red}};$$

$$\delta_{tem} = 0,5094 \cdot 2\sqrt{0,3266 \cdot 5400} - 37,2\sqrt{0,3266};$$

$$\delta_{tem} = 21,78 \text{ мм.}$$

Проверка

$$\Phi_2 = \frac{k_b\sqrt{a_{red}} + b - \delta_{tem}}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} \geq 2,87;$$

$$\Phi_2 = \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 21,78}{2\sqrt{0,3266 \cdot 5400}};$$

$$\Phi_2 = 4,74 > 2,87.$$

Проверка выполнена.

Найдем размеры сжатой зоны:

$$b_{tem} = h_{tem} = b - 2\delta_{tem};$$

$$b_{tem} = h_{tem} = 400 - 2 \cdot 21,78;$$

$$b_{tem} = h_{tem} = 356,44 \text{ мм.}$$

Определим коэффициент продольного изгиба φ , который зависит от соотношения l_0/b_{tem} .

$$l_0/b_{tem} = 9,937/0,3564 = 27,88;$$

$$\varphi = 0,656.$$

Найдем несущую способность колонны при $\tau_1 = 5400$ с.

$$N_{p,t,\tau} = \varphi_{tem} [(R_{bn} \cdot b_{tem} \cdot h_{tem}) + R_{sn} \cdot A_{s,tot} (\gamma_{s1,tem} + \gamma_{s2,tem})],$$

где R_{sn} — нормативное сопротивление арматуры, Мпа;

$$N_{p,t,\tau} = 0,656 \cdot [(18,5 \cdot 10^6 \cdot 0,3788 \cdot 0,3788) + 400 \cdot 10^6 \times 1520 \cdot 10^{-6} (0,5425 + 0,897)];$$

$$N_{p,t,\tau} = 2315529,5 \text{ Н} = 2315,5 \text{ кН.}$$

2) Найдем значения для $\tau_2 = 120$ мин = 7200 с.

Найдем коэффициенты теплотехнических характеристик бетона

$$\Theta_x = \Theta_y = \operatorname{erf} \frac{k_b\sqrt{a_{red}} + a_1}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} + \operatorname{erf} \frac{k_b\sqrt{a_{red}} + b - a_1}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} - 1 =$$

$$= \operatorname{erf}(\Phi_1) + \operatorname{erf}(\Phi_2) - 1;$$

$$\Theta_x = \Theta_y = \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 50}{2\sqrt{0,3266 \cdot 7200}} + \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 50}{2\sqrt{0,3266 \cdot 7200}} - 1;$$

$$\Theta_x = \Theta_y = \operatorname{erf}(0,73) + \operatorname{erf}(3,82) - 1;$$

$$\Theta_x = \Theta_y = 0,6981 + 1 - 1;$$

$$\Theta_x = \Theta_y = 0,6981;$$

$$\Theta_{y2} = \operatorname{erf} \frac{k_b\sqrt{a_{red}} + a_2}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} + \operatorname{erf} \frac{k_b\sqrt{a_{red}} + b - a_2}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} - 1 = \operatorname{erf}(\Phi_1) + \operatorname{erf}(\Phi_2) - 1;$$

$$\Theta_{y2} = \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 200}{2\sqrt{0,3266 \cdot 7200}} + \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 200}{2\sqrt{0,3266 \cdot 7200}} - 1;$$

$$\Theta_{y2} = \operatorname{erf}(2,28) + \operatorname{erf}(2,28) - 1;$$

$$\Theta_{y2} = 0,9987 + 0,9987 - 1;$$

$$\Theta_{y2} = 0,9974.$$

Рассчитываем температуру прогрева арматуры:

$$t_s = 1250 - (1250 - t_H) \Theta_x \Theta_y,$$

где t_H — начальная температура арматуры, принимаем равным 20 °C.

$$t_{s1} = 1250 - (1250 - 20)0,6981 \cdot 0,6981;$$

$$t_{s1} = 651 \text{ °C};$$

$$t_{s2} = 1250 - (1250 - 20)0,6778 \cdot 0,9863;$$

$$t_{s2} = 394 \text{ °C.}$$

В зависимости от температуры прогрева арматуры и класса арматуры найдем коэффициент условной работы арматуры $\gamma_{s1,tem} = 0,2935$; $\gamma_{s2,tem} = 0,859$.

Определяем толщину несущего слоя бетона $\delta_{tem,x} = \delta_{tem,y} = \delta_{tem}$.

Найдем избыточную температуру в центре сечения.

Для этого рассчитаем коэффициент избыточной температуры

$$\Theta_{y0} = 2 \operatorname{erf} \frac{k_b\sqrt{a_{red}} + \frac{h}{2}}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} - 1 = 2 \operatorname{erf}(\Phi_1) - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \operatorname{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400/2}{2\sqrt{0,3266 \cdot 7200}} - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \operatorname{erf}(2,28) - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \cdot 0,9987 - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 0,9974;$$

$$\Theta_{x0} = \frac{1250 - t_{b,cr}}{(1250 - t_H)\Theta_{y0}},$$

где $t_{b,cr}$ — критическая температура бетона, °C;

$$\Theta_{x0} = \frac{1250 - 600}{(1250 - 20)0,9974};$$

$$\Theta_{x0} = 0,5298$$

Определим значение аргумента функции ошибок $\operatorname{erf}(\Phi_1) = 0,5298$; $\Phi_1 = 0,5463$

$$\delta_{tem} = \Phi_1 \cdot 2\sqrt{a_{red}\tau_1} - k_b\sqrt{a_{red}};$$

$$\delta_{tem} = 0,5463 \cdot 2\sqrt{0,3266 \cdot 7200} - 37,2\sqrt{0,3266};$$

$$\delta_{tem} = 31,99 \text{ мм.}$$

Проверка:

$$\Phi_2 = \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + b - \delta_{tem}}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} \geq 2,87;$$

$$\Phi_2 = \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 31,99}{2\sqrt{0,3266 \cdot 7200}}$$

$$\Phi_2 = 4,08 > 2,87.$$

Проверка выполнена.

Определим размеры сжатой зоны:

$$b_{tem} = h_{tem} = b - 2\delta_{tem};$$

$$b_{tem} = h_{tem} = 400 - 2 \cdot 31,99;$$

$$b_{tem} = h_{tem} = 336,02 \text{ мм.}$$

Найдем коэффициент продольного изгиба φ , который зависит от соотношения l_0/b_{tem} :

$$l_0/b_{tem} = 9,937/0,33602 = 29,6;$$

$$\varphi = 0,591.$$

Найдем несущую способность колонны при $\tau_1 = 7200$ с.

$$N_{p,t,\tau} = \varphi tem [(R_{bn} \cdot b_{tem} \cdot h_{tem}) + R_{sn} \cdot A_{s,tot} (\gamma_{s1,tem} + \gamma_{s2,tem})],$$

где R_{sn} — нормативное сопротивление арматуры, МПа.

$$N_{p,t,\tau} = 0,591 \cdot [(18,5 \cdot 10^6 \cdot 0,3493 \cdot 0,3493) + 400 \cdot 10^6 \cdot 1520 \cdot 10^{-6} (0,2935 + 0,859)];$$

$$N_{p,t,\tau} = 1748127 \text{ Н} = 1748,127 \text{ кН.}$$

3) Найдем значения для $\tau_3 = 180$ мин = 10 800 с.

Найдем коэффициенты теплотехнических характеристик бетона

$$\theta_x = \theta_y = \text{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + a_1}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} + \text{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + b - a_1}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} - 1 =$$

$$= \text{erf}(\Phi_1) + \text{erf}(\Phi_2) - 1;$$

$$\theta_x = \theta_y = \text{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 50}{2\sqrt{0,3266 \cdot 10800}} + \text{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 50}{2\sqrt{0,3266 \cdot 10800}} - 1;$$

$$\theta_x = \theta_y = \text{erf}(0,597) + \text{erf}(3,18) - 1;$$

$$\theta_x = \theta_y = 0,6012 + 1 - 1;$$

$$\theta_x = \theta_y = 0,6012;$$

$$\theta_{y2} = \text{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + a_2}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} + \text{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + b - a_2}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} - 1 = \text{erf}(\Phi_1) + \text{erf}(\Phi_2) - 1;$$

$$\theta_{y2} = \text{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 200}{2\sqrt{0,3266 \cdot 10800}} + \text{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 200}{2\sqrt{0,3266 \cdot 10800}} - 1;$$

$$\theta_{y2} = \text{erf}(1,86) + \text{erf}(1,86) - 1;$$

$$\theta_{y2} = 0,9915 + 0,9915 - 1;$$

$$\theta_{y2} = 0,983.$$

Рассчитываем температуру прогрева арматуры:

$$t_s = 1250 - (1250 - t_n) \theta_x \theta_y,$$

где t_n — начальная температура арматуры, принимаем равным 20 °С;

$$t_{s1} = 1250 - (1250 - 20)0,6012 \cdot 0,6012;$$

$$t_{s1} = 805 \text{ °С};$$

$$t_{s2} = 1250 - (1250 - 20)0,6012 \cdot 0,983;$$

$$t_{s2} = 523 \text{ °С.}$$

В зависимости от температуры прогрева арматуры и класса арматуры найдем коэффициент условной работы арматуры $\gamma_{s1,tem} = 0,1$; $\gamma_{s2,tem} = 0,4701$.

Определяем толщину ненесущего слоя бетона $\delta_{tem,x} = \delta_{tem,y} = \delta_{tem}$.

Найдем избыточную температуру в центре сечения.

Для этого рассчитаем коэффициент избыточной температуры

$$\Theta_{y0} = 2 \text{erf} \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + \frac{h}{2}}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} - 1 = 2 \text{erf}(\Phi_1) - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \text{erf} \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400/2}{2\sqrt{0,3266 \cdot 10800}} - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \text{erf}(1,86) - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 2 \cdot 0,9915 - 1;$$

$$\Theta_{y0} = 0,983;$$

$$\Theta_{x0} = \frac{1250 - t_{b,cr}}{(1250 - t_n)\Theta_{y0}},$$

где $t_{b,cr}$ — критическая температура бетона, °С;

$$\Theta_{x0} = \frac{1250 - 600}{(1250 - 20)0,983};$$

$$\Theta_{x0} = 0,5376.$$

Определим значение аргумента функции ошибок $\text{erf}(\Phi_1) = 0,5376$, $\Phi_1 = 0,5175$

$$\delta_{tem} = \Phi_1 \cdot 2\sqrt{a_{red}\tau_1} - k_b \sqrt{a_{red}};$$

$$\delta_{tem} = 0,5175 \cdot 2\sqrt{0,3266 \cdot 10800} - 37,2\sqrt{0,3266}.$$

$$\delta_{tem} = 40,2 \text{ мм}$$

Проверка

$$\Phi_2 = \frac{k_b \sqrt{a_{red}} + b - \delta_{tem}}{2\sqrt{a_{red}\tau_1}} \geq 2,87;$$

$$\Phi_2 = \frac{37,2\sqrt{0,3266} + 400 - 40,2}{2\sqrt{0,3266 \cdot 10800}};$$

$$\Phi_2 = 3,27 > 2,87.$$

Найдем размеры сжатой зоны

$$b_{tem} = h_{tem} = b - 2\delta_{tem};$$

$$b_{tem} = h_{tem} = 400 - 2 \cdot 40,2;$$

$$b_{tem} = h_{tem} = 319,6 \text{ мм.}$$

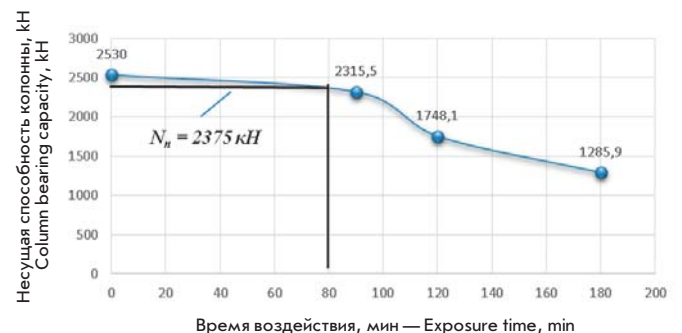
Рассчитаем коэффициент продольного изгиба φ , он зависит от соотношения l_0/b_{tem} :

$$l_0/b_{tem} = 9,937/0,3196 = 31,1;$$

$$\varphi = 0,575.$$

РИСУНОК 3. Определение предела огнестойкости колонны

FIGURE 3. Determination of the fire resistance limit of a column



Найдем несущую способность колонны при $\tau_1 = 10800$ с.

$$N_{p,t,\tau} = \varphi_{tem} [(R_{bn} \cdot b_{tem} \cdot h_{tem}) + R_{sn} \cdot A_{s,tot} (\gamma_{s1,tem} + \gamma_{s2,tem})],$$

где R_{sn} — нормативное сопротивление арматуры, МПа;

$$N_{p,t,\tau} = 0,575 \cdot [(18,5 \cdot 10^6 \cdot 0,3196 \cdot 0,3196) + 400 \cdot 10^6 \times 1520 \cdot 10^{-6} (0,1 + 0,4701)];$$

$$N(p,t,\tau) = 1285865 \text{ Н} = 1285,9 \text{ кН}.$$

4) Определение предела огнестойкости (рис. 3). $\Pi_{\phi} = 80$ мин. $\Pi_{\phi} = R80$.

Аналогичным образом был проведен расчет огнестойкости железобетонной колонны без просадки грунта. Итоги расчета — $\Pi_{\phi} = R135$.

Литература/References

- Осипов В.И., Рагозин А.Л. Идентификация и прогнозная оценка стратегических природных рисков России. Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2015». В 2 т. Отв. ред. В.И. Осипов. Т. 2. М.: РУДН, 2015. [Osipov V.I. (ed.), Ragozin A.L. Identification and predictive assessment of Russia's strategic natural risks. Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world: materials of the 9th International Scientific and Practical Conference «GEORISK-2015». In 2 volumes. Vol. 2. М.: RUDN, 2015: 550. (In Russ.)].
- Барабошкина Т.А. Эколого-геохимические аспекты оценки экологических рисков. Оценка и управление природными рисками. М.: Анкил, 2000. [Varaboshkina T.A. Ecological and geochemical aspects of environmental risk assessment. Assessment and management of natural risks. Moscow: Ankil, 2000. (In Russ.)].
- Копылов И.С., Коноплев А.В., Красильников П.А. и соавт. Геоэкологические проблемы и геологическая безопасность урбанизированных территорий. Экологические проблемы антропогенной трансформации городской среды. Пермь: Гос. нац. исслед. ун-т, 2014: 143–147. [Kopylov I.S., Konoplev A.V., Krasilnikov P.A. et al. Geoecological problems and geological safety of urbanized territories. Ecological problems of anthropogenic transformation of the urban environment. Perm: State National Research University, 2014: 143–147. (In Russ.)].
- Болысов С.И., Неходцев В.А. Субрельеф и субтерральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах. Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. 2016; 1 (50): 87–105. [Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A. Sub-relief and subterranean processes as a factor of ecological and geomorphological danger in cities. Bulletin of Ryazan State University named after S.A. Yesenin. 2016; 1 (50): 87–105. (In Russ.)].
- Петренко А.С. Анализ и оценка риска ущерба от последствий опасных геологических процессов на территории крупного города: На примере г. Москвы: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.01, 25.00.08. М., 2001: 171. [Petrenko A.S. Analysis and assessment of the risk of damage from the consequences of hazardous geological processes in a large city: On the example of Moscow: dissertation ... Candidate of Geological and Mineralogical Sciences: 25.00.01, 25.00.08. Moscow, 2001: 171. (In Russ.)].
- Спиридонов В.П., Бирюков Г.Н. Мониторинг деформаций земной поверхности, зданий и сооружений спутниковыми системами. Маркшейдерия и недропользование. 2007; 1: 46–52. [Spiridonov V.P., Biryukov G.N. Monitoring of deformations of the Earth's surface, buildings and structures by satellite systems. Surveying and subsoil use. 2007; 1: 46–52. (In Russ.)].
- Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». [Technical Regulations on the safety of buildings and structures. Federal Law No. 384-FZ dated 12/30/2009. (In Russ.)].
- Артамонов В.С., Гилетич А.Н., Демехин В.Н. и соавт. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник. Ч. 1. Строительные материалы, их пожарная опасность и поведение в условиях пожара. СПб.: С.-Петербург. университет ГПС. 2007: 179. [Artamonov V.S., Giletich A.N., Demekhin V.N. et al. Buildings, structures and their fire resistance. Textbook. Part 1. Building materials, their fire hazard and behavior in fire conditions. St. Petersburg: St. Petersburg GPS University, 2007: 179. (In Russ.)].

Вклад авторов. А.А. Копылов, В.П. Спиридонов, О.Ю. Маламут: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.
Authors contributions. A.A. Kopylov, V.P. Spiridonov, O.Yu. Malamut: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.

Принята к публикации: 22.02.2024.

Article received: 12.01.2024.

Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Копылов Андрей Александрович, к.соц.н., полковник внутренней службы, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.
Спиридонов Валерий Петрович, к.т.н., профессор кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.
Маламут Ольга Юрьевна, преподаватель кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*. Академия государственной противопожарной службы МЧС России*.
* Академия государственной противопожарной службы МЧС России. Адрес: 129301, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4. Телефон: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygps.ru.

AUTHORS INFORMATION

Kopylov Andrey Aleksandrovich, Candidate of Sociological Sciences, Colonel of the Internal Service, Associate Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.
Spiridonov Valery Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.
Malamut Olga Yuryevna, Lecturer of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.
* Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia. Address: 129366, Moscow, Borisa Galushkina St., 4. Phone: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygps.ru.

УДК 674.816.2
UDC 674.816.2

Применение арболита при проектировании быстровозводимых зданий

The Use of Arbolite in the Design Prefabricated Buildings

АВТОРЫ

AUTHORS

А.Н. Комяков¹, К.Т.Н., А.К. Кошкин²,
С.Д. Шейникова²

¹ Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

² Государственный университет по землеустройству, г. Москва, Россия

A.N. Komyakov¹, A.K. Koshkin²,
S.D. Sheinikova²

¹ Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

² State University of Land Management, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Арболит является перспективным строительным материалом. В статье рассмотрены его главные преимущества по сравнению с другими материалами, его дальнейшее применение на Крайнем Севере России. Исследуется вопрос развития городской инфраструктуры Крайнего Севера.

Wood concrete is a promising building material. The article discusses its main advantages in comparison with other materials, its further use in the Far North of Russia. The issue of development of urban infrastructure in the Far North is being investigated.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

АРБОЛИТ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИНФРАСТРУКТУРА, КРАЙНИЙ СЕВЕР, БЫСТРОВЗВОДИМОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, КЛИМАТ

ARBOLITE, BUILDING MATERIALS, INFRASTRUCTURE, FAR NORTH, PREFABRICATED CONSTRUCTION, CLIMATE

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Комяков А.Н., Кошкин А.К., Шейникова С.Д. Применение арболита при проектировании быстровозводимых зданий. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 41–43. [Komyakov A.N., Koshkin A.K., Sheinikova S.D. The use of arbolite in the design prefabricated buildings. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 41–43. (In Russ.).]

Арболит представляет собой строительный материал, созданный на основе легкого бетона и древесной щепы с добавлением хлорида кальция. Идея сочетания бетона (смесь глины с гравием, гипсом и т.д.) и дерева существует довольно давно. Непосредственно же идея создания арболита относится к 1930-м гг. Советский аналог был разработан в 1960-е гг. С момента появления его стали активно использовать в промышленности и строительстве, главным образом из-за низкой стоимости, высокой прочности и хороших теплоизоляционных качеств.

Арболит имеет множество преимуществ по сравнению с другими строительными материалами. Он экологичен, имеет высокую огнестойкость, низкую теплопроводность, легок в обработке. На основании всего перечисленного можно заключить, что применение арболита возможно в любом климате, в том числе и в регионах Крайнего Севера, потому как щепобетон имеет также и хорошую морозостойкость (25–50 циклов).

За последние несколько лет климат потеплел на 1,4 °C в сравнении с доиндустриальным уровнем. Отмечается, что уже к концу XXI века температура может возрасти на 5,8 °C и более. Данные изменения могут оказать влияние на многолетнемерзлые породы,

способствуя запуску различных неблагоприятных механизмов. Здания, построенные на существующем рельефе, сформированном слоем вечной мерзлоты, вскоре могут стать непригодными для эксплуатации. На данный момент процесс изменения рельефа нельзя исключить полностью. Поэтому возникает необходимость минимизировать возможный последующий вред природе, а также адаптироваться к меняющимся условиям. Арболит может стать ключом к развитию и дальнейшему восстановлению архитектурной городской среды северных регионов, а также стимулом для подъема социальной и транспортной инфраструктур.

Благодаря относительно небольшому весу блоков, а также легкости их обработки арболит может успешно применяться при проектировании быстровозводимых домов [1, 3].

Высота зданий, построенных из арболитовых блоков или панелей, не должна превышать четырех этажей, поскольку прочность конструкции из арболитового монолита составляет не более 6 МПа. Но этот недостаток можно причислить к некоторому роду преимуществ. Малоэтажная застройка будет гораздо выгоднее и эстетичнее многоэтажной. Малоэтажные районы экологичны, сроки их возведения

РИСУНОК 1. Проект быстровозводимого жилого дома в г. Пензе

FIGURE 1. Project of a prefabricated residential building in Penza



РИСУНОК 2. Проект быстровозводимого жилого дома в г. Пензе (фрагмент)

FIGURE 2. Project of a prefabricated residential building in Penza (fragment)



меньше и стоимость гораздо ниже. Не стоит забывать и о психологическом факторе. Подобная застройка гораздо приятнее человеческому глазу. Жизнь в малоэтажных районах позитивно отражается на настроении, работоспособности и самочувствии человека. Можно сказать, что возведение малоэтажных многоквартирных и усадебных домов из арболита может получить значительную популярность и стать актуальной идеей для решения многих проблем северных территорий [4, 5].

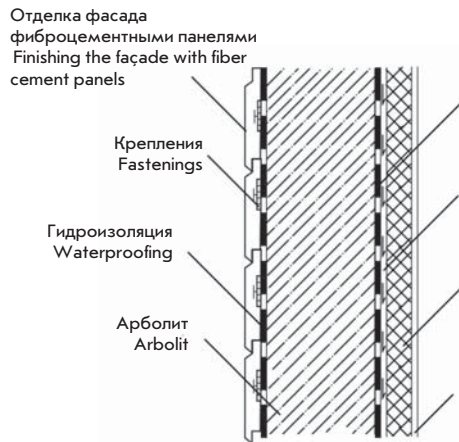
Реализацию подобной идеи (строительство быстровозводимых многоквартирных домов из арболита) можно проследить на примере проектов города Пензы (рис. 1, 2).

Теплотехнический расчет стенового пирога с применением арболита

Проведем экономическую оценку щепобетона. Для этого выполним теплотехнический расчет для стенового пирога с применением арболитовых блоков. Для расчета была выбрана Республика Саха. Якутск

РИСУНОК 3. Схема стенового пирога с применением арболита

FIGURE 3. Scheme of a wall pie using wood concrete



является одним из самых холодных городов России, поэтому применение арболита в данном городе довольно выгодно. Пример схемы стенового пирога с применением арболита приведен на рис. 3 [4].

Средняя температура воздуха со среднесуточной температурой воздуха менее 8°C будет составлять $-20,6^{\circ}\text{C}$. Данное значение примем за $t_{ht} = -20,6^{\circ}\text{C}$. Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха менее 8°C составит $z_{ht} = 256$ суток. Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 равняется $t_{ext} = -57^{\circ}\text{C}$ (данные взяты в соответствии с Актуализированными строительными нормами и правилами РФ 23-01-99 (Строительная климатология)). В соответствии с СП 23-101-2004 температура воздуха составит $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$, а влажность $j_{int} = 55\%$. Режим эксплуатации помещения в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха — нормальный (СНиП 23-02-2003).

Используя данные, определим градусы-сутки по следующей формуле:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht}.$$

Получим:

$$D_d = (20^{\circ}\text{C} - (-20,6^{\circ}\text{C})) \cdot 256 = 10\,393,6 \text{ [}^{\circ}\text{C} \cdot \text{сутки]}.$$

Используя полученное значение, посчитаем нормированное сопротивление теплопередаче по формуле

$$R_{req} = a - D_d + b,$$

откуда

$$R_{req} = 0,00035 - 10\,393,6 + 1,4 = 5,04 \text{ [м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт]}.$$

Найдем условное сопротивление теплопередаче по формуле

$$R_{усл} = R_{req} / r;$$

$$R_{усл} = 5,06 / 0,87 = 5,82 \text{ [м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт]}.$$

Рассчитаем значение сопротивления теплопередаче слоя утеплителя по формуле

$$R_{ym} = R_{усл} - (R_g + \sum R_m + R_n),$$

где $R_g = 1/a_{int}$ ($a_{int} = 8,7$ согласно СНиП 23-02-2003), а $R_n = 1/a_{ext}$ ($a_{ext} = 23$ по СП 23-101-2004), получим

$$R_{ym} = 5,82 - (1/23 + 0,0253/0,3 + 0,3/0,08 + 0,015/0,93 + 1/8,7) = 1,81.$$

(Данные взяты из табл. 1.)

Далее рассчитаем толщину утеплителя:

$$\delta_{ym} = R_{ym} - \lambda_{ym};$$

$$\delta_{ym} = 1,81 \cdot 0,036 = 0,065 = 0,07 \text{ м.}$$

Прежде всего арболит необходимо защищать от влажности, иначе его срок службы значительно сократится. Для этого используют слой гидроизола, который прокладывается между внешней облицовкой и слоем арболита, и слой рубероида между арболитом и теплоизоляцией. Все материалы, представленные в таблице, экологичны, экономичны и морозостойчивы. Фиброцементные панели (которые можно также заменить штукатуркой на основе цементно-песчаного раствора) удобны при монтаже и легки по весу [2].

Толщина эковаты составляет 70 мм. При сложении всех толщин получается стена толщиной в 405 мм, притом, что оптимальная толщина стены из другого материала — около 600–700 мм. Из этого можно заключить, что использование арболита выгоднее, так как за счет сокращения толщины стен прибавляется полезная площадь помещения, экономится материал и время возведения объекта [5, 6].

ТАБЛИЦА 1. Характеристики материалов

TABLE 1. Material characteristics

Слой Layer	Материал Material	Плотность Density	Толщина Thickness	Коэффициент теплопроводности Coefficient of thermal conductivity
1	Фиброцементные панели Fiber cement panels	1550	0,0253	0,3
2	Арболит (блоки) Arbolite (blocks)	650	0,3	0,08
3	Эковата Ecowool	35	0,7	0,036
4	Штукатурка (цементно-песчаный раствор) Plaster (cement-sand mortar)	1800	0,015	0,93

Литература/References

1. Полищук А.И., Рубинская А.В., Трофимук В.Н. и соавт. Производство арболита как одно из перспективных направлений комплексной переработки древесины. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012; 32: 108–110. [Polishchuk A.I., Rubinskaya A.V., Trofimuk V.N. et al. Production of arbolite as one of the promising areas of integrated wood processing. Actual problems of the forest complex. 2012; 32: 108–110. (In Russ.)].
2. Кошкин А.К., Говорова Ж.М. Обоснование оптимизации архитектурно-планировочных, конструктивных, технологических и материаловедческих решений объектов капитального строительства. Строительство и архитектура. 2023; 1 (11). [Koshkin A.K., Govorova Zh.M. Justification of optimization of architectural planning, structural, technological and materials science solutions for capital construction facilities. Construction and Architecture. 2023; 1 (11). (In Russ.)].
3. Никулин А.А., Соргутов И.В. Арболитовые плиты. Строительство быстровозводимых зданий из арболитовых плит. Вестник науки. 2023; 2 (2): 309–322. [Nikulin A.A., Sorgutov I.V. Arbolite plates. Construction of prefabricated buildings made of arbolite slabs. Bulletin of Science. 2023; 2 (2): 309–322. (In Russ.)].
4. Климов М.В., Дьячкова М.М., Кошкин А.К. Инновационный деревянный блок-модуль. Перспективы развития лесного комплекса: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции 18–19 декабря 2023 г. Под общ. ред. В.В. Сивакова. Брянск: Брян. гос. инженер.-технол. ун-т, 2023: 191. [Klimov M.V., Dyachkova M.M., Koshkin A.K., Sivakov V.V. (Ed.). Innovative wooden block module. Prospects for the development of the forest complex. Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference on December 18–19, 2023. Bryansk: Bryan. state engineer.-technol. univ., 2023: 191. (In Russ.)].
5. Синянский И.А., Манешина Н.И. Типология зданий: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2014: 288. [Sinyansky I.A., Maneshina N.I. Building typology: a textbook for students. institutions of the environment. Prof. education. 7th ed., reprint. and additional. M.: Academy, 2014. 288 p. (In Russ.)].
6. Деревяшкин И.В., Спиридонов В.П., Спиридонов А.В. Выбор метода прочностного анализа зданий и сооружений и программного комплекса для его реализации. Технический оппонент. 2021; 1 (7): 53–56. [Derevyashkin I.V., Spiridonov V.P., Spiridonov A.V. Selection of the method of strength analysis of buildings and structures and the software for its implementation. Technicheskij opponen=Technical opponen. 2021; 1 (7): 53–56. (In Russ.)].

Вклад авторов. А.Н. Комяков, А.К. Кошкин, С.Д. Шейникова: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. A.N. Komayakov, A.N. Komyakov, S.D. Sheinikova: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.

Принята к публикации: 22.02.2024.

Article received: 12.01.2024.

Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Комяков Алексей Николаевич, к.т.н., доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*

Кошкин А.К., старший преподаватель**

Шейникова С.Д., бакалавр**

*Академия государственной противопожарной службы МЧС России. Адрес: Россия, 129301, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4. ORCID: 0009-0004-7899-4663.

** Государственный университет по землеустройству.

Адрес: 105064, Москва, ул. Казакова, 15. E-mail: info@guz.ru.

AUTHORS INFORMATION

Komyakov Alexey Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*

Koshkin A.K., Senior Lecturer**

Sheynikova S.D., bachelor**

*Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Address: 4 B. Galushkina str., Moscow, 129301, Russia. ORCID: 0009-0004-7899-4663.

** State University of Land Management. Address: 105064, Moscow, st. Kazakova, 15. E-mail: info@guz.ru.

Результаты экологического обследования района расположения Якутской АСММ



Results of an Environmental Survey of the Area where the Yakut NPP Reactor Plant is Located

АВТОРЫ

AUTHORS

В.М. Кузнецов¹, д. т. н., профессор,
В.В. Спиридонова²

¹ ООО «Группа компаний "ИнтеллектСервис"», г. Москва, Россия

² ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва, Россия

V.M. Kuznetsov¹, V.V. Spiridonova²

¹ LLC «Group of companies IntellectualService», Moscow, Russia

² Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI Federal State Budgetary Institution, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Атомные станции малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н (АСММ) являются инновационным объектом использования атомной энергии, который будет сооружаться впервые в северной части Якутии (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус). Реакторная установка спроектирована с учетом многолетнего опыта эксплуатации малых реакторов на судах российского атомного ледокольного флота. В настоящей статье приведены результаты экспертной оценки экологического состояния окружающей среды района размещения Якутской АСММ. Площадка размещения АСММ по природным условиям удовлетворяет критериям и требованиям к безопасному размещению АЭС. АСММ будет использована при освоении одного из крупнейших в России золоторудных месторождений Кючус, а также муниципальных образований Якутии.

Low-power nuclear power plants with the RITM-200N (hereinafter referred to as SMR (small modular reactors)) are an innovative facility for the use of nuclear energy, which will be built for the first time in the northern part of Yakutia (Ust-Kuiga village, Ust-Yansky ulus). The reactor plant was designed taking into account many years of experience in operating small reactors on ships of the Russian nuclear icebreaker fleet. This article presents the results of an expert assessment of the ecological state of the environment in the area where the Yakut SMR is located. Due to natural conditions, the SMR site meets the criteria and requirements for the safe siting of nuclear power plants. The SMR will be used in the development of one of the largest gold deposits in Russia, Kyuchus, as well as municipalities of Yakutia.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

АТОМНАЯ СТАНЦИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ, МЕСТОРОЖДЕНИЕ КЮЧУС, ЯКУТИЯ, РЕАКТОРНАЯ УСТАНОВКА РИТМ-200Н, РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА РАЙОНА

LOW-POWER NUCLEAR POWER PLANT, KYUCHUS FIELD, YAKUTIA, RITM-200N REACTOR PLANT, RADIATION-ECOLOGICAL SITUATION OF THE REGION

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Кузнецов В.М., Спиридонова В.В., Результаты экологического обследования района расположения Якутской АСММ. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 44–48. [Kuznetsov V.M., Spiridonova V.V. Results of an environmental survey of the area where the Yakut NPP reactor plant is located. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 44–48. (In Russ.).]

Введение

Земельный участок, отведенный под строительство Якутской атомной станции малой мощности (АСММ) на базе реакторной установки РИТМ-200Н мощностью не менее 55 МВт и одной паровой турбоустановкой, расположен в 3,5 км к северо-западу от п. Усть-Куйга в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия).

Месторасположение и ориентация площадки АСММ определены ситуационными, инженерно-геологическими условиями, рельефом местности и условиями ветрового режима с учетом требова-

ний, предусмотренных нормативными документами по размещению АЭС. Площадка располагается на правом берегу реки Яны на расстоянии 600 м от ее протока на склоне, покрытом мхом и кустарником. Абсолютные высоты поверхности варьируют от 265 до 291,5 м с общим уклоном 7,4% с запада на восток [1].

Географические координаты центра площадки в системе WGS: 70°1'37.66", 135°26'58.71", в местной системе координат X = 1861970.642, Y = 6285524.292. Основные решения по компоновке генерального плана определены разделением площадки АСММ на производственную зону и зону вспомогательных сооружений [2].

Состояние почв и грунтов. Почвенный покров

Республика Саха (Якутия) располагает большими земельными ресурсами. Вся ее территория входит в зону сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Огромная территория, большое разнообразие геолого-геоморфологического строения и рельефа, наличие трех широтных природно-климатических зон на равнинной части и нескольких вертикальных поясов на горах, обилие водных объектов в условиях повсеместного распространения многолетнемерзлых пород обусловили большое разнообразие ландшафтов и, как зеркало этого, — почвенного покрова.

Суровые климатические условия способствуют повсеместному сохранению многолетней мерзлоты, ежегодному глубокому промерзанию деятельного слоя почвы и развитию в почвенной толще криогенных процессов.

Для обследования территории были проведены маршрутные исследования в северном и южном направлении по реке Яне, в восточном направлении — по трассе Усть-Куйга — Депутатский. В северном и южном направлениях видимых антропогенных воздействий не отмечено. В восточном направлении антропогенное влияние представлено грунтовой дорогой.

В результате исследований установлено, что почвенно-растительные и ландшафтные условия идентичны. На плакорах древесный ярус и подлесок отсутствуют, травяно-кустарничковый ярус представляют арктоус альпийский (5%), осочка (5%), дриада (3–5%), брусника (> 3%), шикша (> 3%). В напочвенном ярусе преобладают лишайники (30%) и зеленые мхи (20%). Почвенный покров представлен зелеными грунтом с супесчаным заполнителем.

На склонах микрорельеф среднебугорковый. Древесный ярус представлен лиственницей Каяндера, формула состава 10Л. Средняя высота — 9 м, диаметр ствола равен 6–8 см, полнота — 0,1–0,3. Возобновление — 1000 шт/га. Подлесок образуют кустарники: береза карликовая (5–8%), ольха зеленая (> 5%), ива арктическая (> 5%). Травяно-кустарничковый ярус: багульник болотный (70%), осочка (20%), брусника (10%). В напочвенном ярусе преобладают зеленые мхи (95%), встречаются лишайники (5%). Почвенный покров представлен горными примитивными почвами.

Микрорельеф подножий бугорковатый. Древесный ярус представлен лиственницей Каяндера, формула состава 10Л. Средняя высота — 9–10 м, диаметр ствола — 8–10 см, полнота — 0,5–0,7. Возобновление — 5000 шт/га. Подлесок образуют кустарники: береза карликовая (30%), ива арктическая (5%). Травяно-кустарничковый ярус: багульник болотный (50%), осочка (5–10%), брусника (5%). В напочвенном ярусе преобладают зеленые мхи (90%), а также встречаются лишайники (10%). Почвенный покров представлен пойменными заболоченными почвами. Согласно проведенным полевым исследованиям почвенных горизонтов в процессе инженерно-экологических изысканий установлено, что на площадке размещения представлены горные примитивные почвы.

Данным типам почв свойственно наличие почвенного профиля малой мощности (менее 10 см) с близким залеганием плотной породы. Характерно чередование почвенного покрова с выходами скальных пород и каменными россыпями. Согласно ГОСТ 17.5.3.06-85, ГОСТ 17.5.1.03-86 данные почвы являются непригодными для рекультивации по причине низкого показателя рН водной вытяжки (менее 5,5) [5].

Санитарно-химическое обследование почв и грунтов. В соответствии с инженерно-экологическими изысканиями из полученных результатов можно сделать следующие выводы. На площадке размещения проектируемого объекта: почвы однородные по уровню кислотности, средний рН — 4,7, почвы среднекислые; превышений ПДК органических загрязнителей не установлено; превышений предельно допустимой концентрации (ПДК) тяжелых металлов не установлено; среднее содержание мышьяка составляет 15,7 мг/кг и превышает ПДК во всех пробах от 1,5 до 5 раз; суммарный показатель Zс почвы — менее 16, превышение ПДК мышьяка незначительно повлияло на показатель, поскольку фоновое содержание также превышает ПДК почти в 2 раза; суммарный показатель Zс почвы — менее 16. Согласно СанПиН 2.1.3684-21 почвы относятся к допустимой категории; согласно СПЗ, рассчитанному по СП 151.13330.2012, почвы также относятся к допустимой категории. Согласно СанПиН 2.1.3684-21 использование почв на площадках изысканий рекомендуется следующее: без ограничений, исключая объекты повышенного риска.

Санитарно-микробиологическое обследование почв и грунтов. В соответствии с результатами инженерно-экологических изысканий все пробы почв соответствуют категории «чистая» по санитарно-микробиологическим показателям. В пробах почв определялись следующие показатели: индекс БГКП, индекс энтерококков, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, цисты кишечных простейших, яйца гельминтов.

По результатам маршрутных обследований и изучения насыпных грунтов и свалок на площадке не установлено. В результате проведенных полевых исследований почвенных горизонтов установлено, что на площадке размещения проектируемого объекта представлены горные примитивные почвы.

Результаты радиационных измерений поверхности земли. Гамма-излучения поверхности земли оценивали методом пешеходной гамма-съемки, которая осуществлялась с использованием дозиметра-радиометра ДКС-96 по Z-образным маршрутам. Поисковый радиометр использовался в режиме прослушивания звукового сигнала, измерение гамма-излучения от грунтов проводилось в 10 см от поверхности для обнаружения зон с повышенным уровнем гамма-излучения.

Измерения в контрольных точках проводились по сетке 35 × 35 м, на территории п. Усть-Куйга измерения осуществлялись вдоль центральной, проходящей через весь поселок с запада на восток, и смежным с ней улицам через 50 м. Средние значения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения не превышают допустимого уров-

ня 0,60 мкЗв/ч, установленного ОСПОРБ-99/2010 (п. 5.2.3) для конкурентных площадок, и 0,30 мкЗв/ч для жилой зоны (п. Усть-Куйга). Радиационных аномалий не выявлено.

Результаты радиационных исследований грунтов, перемещаемых в ходе строительства. Для определения содержания природных радионуклидов в грунтах, перемещаемых в ходе строительства (радий-226, торий-232, калий-40), отобраны поверхностные пробы грунта до глубины 0,2 м. Места отбора поверхностных проб располагаются равномерно по конкурентным площадкам (по углам площадки и в центре). Значения эффективной удельной активности Аэфф. природных радионуклидов в пробах грунта с поверхности на площадках 1 и 2 не превышают допустимого уровня 740 Бк/кг, установленного ОСПОРБ-99/2010 (п. 5.2.4).

Определение активности техногенных радионуклидов (Cs-137) в почвах района изысканий. Для изучения распределения активности техногенных радионуклидов (Cs-137) отобраны поверхностные пробы грунта до глубины 0,2 м на площадках изыскания, в районе изысканий (до 5 км) и в зоне 30 км. На конкурентных площадках и в зоне радиусом 30 км удельная активность цезия-137 изменяется от 3 до 9 Бк/кг, среднее значение составляет 3,5 Бк/кг.

Оценка потенциальной радоноопасности территории. Плотность потока радона с поверхности земли измеряли методом экспонирования накопительных камер с сорбентом радона (активированным углем марки СКТ-3С) с последующим определением величины потока на многофункциональном измерительном комплексе «КАМЕРА» по величине активности гамма-излучения дочерних продуктов радона, поглощенного сорбентом за время экспонирования (4 ч).

Плотность потока радона на обследованных участках не превышает допустимого уровня (250 мБк/м²с), установленного ОСПОРБ-99/2010 (п. 5.2.3) для участков строительства зданий и сооружений производственного назначения. Предельные средние арифметические значения плотности потока радона не превышают 24 мБк/м²с. Мероприятия по противорадоновой защите зданий не требуются [3].

Характеристика наземных и водных экосистем

Радиационное исследование донных отложений. Для изучения распределения активности техногенных радионуклидов (Cs-137) отобраны пробы донных отложений поверхностных водных объектов. Удельная активность цезия-137 в донных отложениях — менее 3 Бк/кг во всех пробах.

Состояние поверхностных вод. Ближайшие от площадок крупные водные объекты — река Яна, ее правые притоки Селлик-Юряге и Куйга и озеро Подкова. Река Селлик-Юряге (Сэллик-Юрэгэ) протекает с севера на юг на расстоянии около 4 км, а затем впадает в Яну по правому берегу. Длина водотока — 30 км. Река Куйга протекает с востока на запад. Впадает в Яну по правому берегу. Длина водотока — 82 км, водосборная площадь — 51,5 км². Озеро Подкова находится в северной части поселка

на расстоянии 2,8 км до площадки АЭС. Занимает площадь 0,26 км².

Река Яна — г. Верхоянск — п. Нижнеянск: фенолы 1–4 ПДК, органические вещества (по ХПК) 18,5–28,1 мг/л, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅) — 0,69–2,57 мг/л; соединения меди — 1–2 ПДК, цинка ниже — 1–1 ПДК.

В 2018 г. гидрохимические наблюдения за качеством поверхностных вод бассейна реки Яны проводились на четырех реках, семи пунктах наблюдения, девяти створах. Характерные загрязняющие вещества воды бассейна Яны — органические вещества (по ХПК), фенолы, соединения цинка, меди, железа, реже к ним добавлялись соединения марганца, нефтепродукты, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), с повторяемостью случаев превышения ПДК 50–100% от числа отобранных проб воды. В воде Яны в створе ниже п. Батагай в 2018 г. фиксировали два случая ВЗ соединениями цинка 19 и 20 ПДК.

В 2018 г. содержание отдельных загрязняющих веществ достигало критического уровня загрязненности воды бассейна реки Яны. Максимальные концентрации составляли: соединений цинка Яны ниже п. Батагай — 20 ПДК, органических веществ (по ХПК) Яны выше г. Верхоянска — 7 ПДК, соединений цинка р. Сартанг — 10 ПДК, меди р. Буралах — 26 ПДК.

Качество воды большинства рек бассейна Яны осталось практически на уровне 2017 г. и варьировало в пределах 3-го класса от «загрязненной» до «очень загрязненной». По сравнению с 2017 г. снизилось качество воды рек бассейна Яны Сартанг и Буралах от 3-го класса разряда «б» до 4-го класса разряда «а». Режим растворенного в воде рек бассейна реки Яны кислорода в 2018 г. был благоприятным.

Согласно данным экологического паспорта Республики Саха (Якутия), контроль уровня загрязнения Яны в п. Усть-Куйга проводится Усть-Янской ИГЭН. За 2019 г. было отобрано три пробы воды реки Яны выше п. Усть-Куйга — в марте, июне и августе. По

Качество воды большинства рек бассейна Яны осталось практически на уровне 2017 г. и варьировало в пределах 3-го класса от «загрязненной» до «очень загрязненной». По сравнению с 2017 г. снизилось качество воды рек бассейна Яны Сартанг и Буралах от 3-го класса разряда «б» до 4-го класса разряда «а»

результатам исследований единичные превышения ПДК р/х установлены по содержанию фенолов — в 2,3 раза (август), железа — в 2,5 раза (июнь), марганца — в 5,3 раза (март), алюминия — в 6,9 раза (июнь). В воде превышение по содержанию меди доходило до 7 раз (март).

Радиационное исследование поверхностных вод и водопроводной воды. Для оценки радиационного состояния поверхностных вод были отобраны пробы для измерения альфа- и бета-активности. Показатели объемной суммарной альфа- и бета-активности в пробах поверхностной и водопроводной воды установленные нормативы не превышают.

Состояние растительного и животного мира

При проведении ботанических исследований установлено, что на площадках изысканий краснокнижные виды, такие как энкалипта коротконожковая, не произрастают. На площадке изысканий растительный покров типичен для района исследования, изменений, по сравнению с фоновыми точками, не отмечается.

Краснокнижные виды птиц — овсянка-ремез и крошшеп-малютка не обнаружены. Местообитанием данных видов являются долины и поймы рек с редколесьем или склоны, заросшие кустарником, в то время как площадки расположены на вершинах, где лиственница и кустарники практически отсутствуют. Таким образом, площадки изысканий не являются пригодным местообитанием для данных видов. Охотничьи виды животных, на которых установлен лимит по добыче — лось и соболь, — не встречены. Площадки изысканий не являются пригодным местообитанием для данных видов. Боровая дичь — куропатка белая и тундряная — повсеместно распространена, площадки изысканий являются пригодным местообитанием для данных видов. Реки богаты ценными промысловыми породами рыб, преимущественно сиговых.

Зоны с особыми условиями использования

В соответствии с Градостроительным кодексом РФ в состав зон с особыми условиями использования территорий входят: особо охраняемые природные территории; зоны охраны объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации; водоохранные зоны; охранные зоны, санитарно-защитные зоны; зоны охраны источников питьевого водоснабжения; иные зоны, устанавливаемые в соответствии с законодательством РФ.

В границах этих зон вводятся соответствующие режимы и регламенты, полностью запрещающие либо ограничивающие градостроительную деятельность. Выявление зон с особым режимом использования территории в рамках инженерно-экологических изысканий осуществляется в соответствии со ст. 1 Градостроительного кодекса РФ, п. 8.1 СП 47.13330.2016 и иными нормативными документами.

Особо охраняемые природные территории

Актуализированный перечень особо охраняемых природных территорий (ООПТ) федерального значения указан в письме Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.04.2020 № 15-47/10213 «О предоставлении информации для инженерно-экологических изысканий». Согласно перечню, на территории Усть-Янского района Республики Саха (Якутия) отсутствуют особо охраняемые природные территории федерального значения. Согласно информации ГБУ РС (Я) «Дирекция биологических ресурсов, особо охраняемых природных территорий и природных парков» № 507/01-1364 от 18.12.2020 объект строительства «Строительство атомной электрической станции малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н мощностью не менее 55 МВт» не затрагивает особо охраняемых природных территорий регионального значения, их охранных зон, также территорий, зарезервированных под создание новых ООПТ регионального значения [4, 5].

Основная особенность АСММ — использование реакторной установки, спроектированной по федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии для судовых ядерных установок. Ее отличают компактность и модульность, сокращенный период сооружения и высокие стандарты безопасности

Выводы

1. Атомные станции малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н являются инновационным объектом использования атомной энергии, который будет сооружаться впервые. Основная особенность АСММ — использование реакторной установки, спроектированной по федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии для судовых ядерных установок. Ее отличают компактность и модульность, сокращенный период сооружения и высокие стандарты безопасности.

2. Сооружение АСММ планируется для электро-снабжения золоторудного месторождения Ключус и промышленно-бытового сектора пгт Усть-Куйга. Анализ альтернатив места расположения и технологических альтернатив показал, что реализация проекта АСММ на выбранной площадке обладает несомненными преимуществами перед другими рассмотренными вариантами.

3. Расчетные оценки ожидаемого воздействия на окружающую среду, результаты которых приведены в настоящей статье, показывают безусловную допустимость воздействия эксплуатации АСММ во всех режимах.

4. На основании анализа фондовых материалов, материалов инженерных изысканий и экологических исследований выполнена оценка антропогенной нагрузки на компоненты наземных и водных экосистем. Площадка размещения АСММ по природным условиям удовлетворяет критериям и требованиям к безопасному размещению АЭС. На рассматриваемой площадке АСММ отсутствуют особо охраняемые природные территории (ООПТ), деятельность на которых запрещена природоохранным законодательством. Присутствие редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных и растений на территории площадок не отмечено.

Литература/References

- Кузнецов В.М., Спиридонов В.П. Замечания к проекту АСММ на базе плавучего энергоблока с ядерными реакторными установками типа КЛТ-40С. Энергосбережение и водоподготовка. 2022; 5 (139): 64–75. [Kuznetsov V.M., Spiridonov V.P. Comments on the NPP project based on a floating power unit with nuclear reactor installations of the KLT-40S type. Energy saving and water treatment. 2022; 5 (139): 64–75. (In Russ.)].
- Предварительный вариант материалов оценки воздействия на окружающую среду при размещении объекта «Строительство атомной электрической станции малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н мощностью не менее 55 МВт» в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия) УКТ1.N.L530.0.000000.000000.000.СА.0001.R Инв. № 121–00000. М., 2021: 218. [Preliminary version of materials for assessing the environmental impact when locating the object «Construction of a low-power nuclear power plant with a RITM-200N reactor unit with a capacity of at least 55 MW» in the Ust-Yansky district of the Republic of Sakha (Yakutia) YKT1.N.L530.0.000000.000000.000. CA.0001.R Inv. No. 121–00000. Moscow, 2021: 218. (In Russ.)].
- Материалы обоснования лицензии на осуществление деятельности в области использования атомной энергии — сооружение ядерной установки: «Энергоблок № 1 Якутской атомной станции малой мощности (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус)». Кн. 1. Материалы обоснования лицензии на сооружение УКТ1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0001.R. М.: АО «Концерн Росэнергоатом», 2023: 89. [Materials for justifying a license to carry out activities in the field of atomic energy use — construction of a nuclear installation: «Power unit No. 1 of the Yakutsk low-power nuclear power plant (Ust-Kuiga settlement, Ust-Yansky ulus)». Book 1. Materials for justifying the construction license YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0001.R. Moscow: JSC Rosenergoatom Concern, 2023: 89. (In Russ.)].
- Материалы обоснования лицензии на осуществление деятельности в области использования атомной энергии — сооружение ядерной установки: «Энергоблок № 1 Якутской атомной станции малой мощности (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус)». Кн. 2. Предварительные материалы оценки воздействия на окружающую среду. УКТ1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0002.R. М.: АО «Концерн Росэнергоатом», 2023: 227. [Materials for justifying a license to carry out activities in the field of atomic energy use — construction of a nuclear installation: «Power unit No. 1 of the Yakutsk low-power nuclear power plant (Ust-Kuiga settlement, Ust-Yansky ulus)». Book 2. Preliminary materials for environmental impact assessment. YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0002.R. Moscow: JSC Rosenergoatom Concern, 2023: 227. (In Russ.)].
- Разумов В.В., Гутенев В.В. и соавт. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Федерации. Под ред. С.К. Шойгу. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2010: 696. [Razumov V.V., Gutenev V.V. et al. Shoigu S.K. (Ed.) Atlas of Natural and man-made hazards and emergency risks of the Russian Federation. Moscow: CPI «Design. Information. Cartography», 2010: 696. (In Russ.)].

Вклад авторов. В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.
Authors contributions. V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.

Принята к публикации: 22.02.2024.

Article received: 12.01.2024.

Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Владимир Михайлович, д.т.н., профессор, ООО «Группа компаний «ИнтеллектСервис». Адрес: Россия, 115088, Москва, ул. Угрешская, 2, стр. 33. ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Спиридонова Валентина Валерьевна, н.с. отдела ГИС и цифровой картографии отделения геоинформатики ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИГНИ». Адрес: Россия, 117105, Москва, Варшавское шоссе, 8. Телефон: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.

AUTHORS INFORMATION

Kuznetsov Vladimir Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, LLC Group of companies Intellectualservice. Address: 115088, Moscow, Ugreshskaya str., 2, p. 33. ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Spiridonova Valentina Valeryevna, Senior Researcher of the GIS and Digital Cartography Department of the Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI Federal State Budgetary Institution. Address: 117105, Moscow, Varshavskoe Shosse, 8. Phone: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.

УДК 551; 556
UDC 551; 556

Климатические,
геологические,
геоморфологические,
гидрогеологические,
гидрологические,
сейсмотектонические
условия района размещения
Якутской АЭС с реакторной
установкой РИТМ-200Н



Climatic, Geological,
Geomorphological,
Hydrogeological,
Hydrological,
Seismotectonic Conditions
of the Area where the
Yakut NPP with the
RITM-200N Reactor Plant is
Located

АВТОРЫ

AUTHORS

В. М. Кузнецов¹, д. т. н., профессор,
В. В. Спиридонова²

¹ ООО «Группа компаний "ИнтеллектСервис"», г. Москва, Россия

² ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва, Россия

V. M. Kuznetsov¹, V. V. Spiridonova².

¹ LLC Group of companies Intellectualservice, Moscow, Russia

² Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI Federal State Budgetary Institution, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Дано обоснование выбора приоритетной площадки для размещения и сооружения атомной станции малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н (АСММ), которая является инновационным объектом использования атомной энергии и будет сооружаться впервые. Ее отличают компактность и модульность, сокращенный период сооружения и высокие стандарты безопасности. В статье приведены характеристики природных условий Якутии. На основании фондовых материалов, инженерных изысканий и экологических исследований, выполненных на предпроектной стадии разработки АСММ, сделана оценка антропогенной нагрузки на компоненты наземных и водных экосистем.

The rationale for choosing a priority site for the placement and construction of a low-power nuclear power plant with a RITM-200N reactor plant (hereinafter referred to as SMR (small modular reactors)), which is an innovative facility for the use of atomic energy and will be built for the first time, is given. It is distinguished by its compactness and modularity, a shortened construction period and high safety standards. The article presents the characteristics of the natural conditions of Yakutia. Based on stock materials, engineering surveys and environmental studies carried out at the pre-design stage of the SMR development, an assessment of the anthropogenic load on the components of terrestrial and aquatic ecosystems was made.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

АТОМНАЯ СТАНЦИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ, ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ЯКУТИИ, АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА, ЭКОЛОГИЯ

LOW-POWER NUCLEAR POWER PLANT, NATURAL CONDITIONS OF YAKUTIA, ANTHROPOGENIC LOAD, ECOLOGY

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Кузнецов В. М., Спиридонова В. В. Климатические, геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидрологические, сейсмотектонические условия района размещения Якутской АЭС с реакторной установкой РИТМ-200Н. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 49–55. [Kuznetsov V. M., Spiridonova V. V. Deformation processes. Climatic, geological, geomorphological, hydrogeological, hydrological, seismotectonic conditions of the area where the Yakut NPP with the RITM-200N reactor plant is located. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 49–55. (In Russ.)].

Введение

Целью сооружения атомной электрической станции малой мощности в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия) мощностью не менее 55 МВт является организация локальной энергетической сети с генерирующим центром АСММ для снабжения электроэнергией региона и промышленных объектов золотодобычи месторождения Кючус. Также предусматривается электроснабжение ближайших пяти населенных пунктов и теплофикация поселка

Усть-Куйга. Технические характеристики АСММ приведены в табл. 1 [1].

Обоснование выбора площадки размещения и сооружения

В основе выбора приоритетной площадки АСММ — сравнение и анализ факторов, отличающих конкурентные площадки друг от друга и влияющих на безопасность АСММ и ее эксплуатационные характе-

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики АСММ

TABLE 1. Technical specifications of SMR

Характеристика Specification	Величина Value
Установленная мощность АСММ, не менее, МВт Installed capacity of low-power nuclear power plant, not less than, MW	55
Коэффициент технического использования (коэффициент готовности) Technical utilization rate (availability rate)	0,9
Планируемый срок эксплуатации, не менее, лет Planned service life, not less than years	60
Генерация энергии для иных нужд Generation of energy for other needs	Тепловая энергия для отопления объектов АСММ и поселка Усть-Куйга Thermal energy for heating the facilities of a low-power nuclear power plant and the village of Ust-Kuiga
Количество энергоблоков Number of power units	1 (в перспективе еще 1) 1 (1 more in the future)

ристики с учетом природных условий, экологических и техногенных факторов, конструктивных особенностей станции. В соответствии с СП 165.1325800.2014 (Свод правил. Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90) площадка для возможного размещения АСММ расположена вне зоны возможных разрушений и зоны возможного сильного радиоактивного заражения (загрязнения) от категорированных городов. Факторы, не допускающие размещение АСММ вблизи поселка Усть-Куйга по НП-032-19 (Площадка атомной станции. Требования безопасности) [2], по результатам инженерных изысканий не выявлены.

Географические координаты центра приоритетной площадки (GPS) — 70.034869, 135.507663. Она

РИСУНОК 1. Ситуационный план размещения площадки

FIGURE 1. Situational layout of the site



находится на расстоянии 3,5 км от п. Усть-Куйга и в 35 км от золоторудного месторождения Кючус. Ситуационный план размещения площадки АСММ представлен на **рис. 1** [5].

К благоприятным факторам района размещения относятся: наличие ограниченной инфраструктуры, дорог и судоходной реки для возможности поставки оборудования, изделий и материалов (наличие порта и причальной стенки, портовых кранов); наличие транспортной доступности для персонала, включая аэропорт Усть-Куйга; необходимость теплофикации поселка (сокращение протяженности сетей снабжения); центральное положение для потенциальных потребителей электроэнергии — поселков Депутатский и Казачье.

Климатические условия

Район размещения АСММ расположен в арктической зоне Заполярья в зоне залегания вечной мерзлоты. С севера и с запада территория ограничена Верхоянским хребтом, с юга — хребтом Черского. Местность сильно расчленена сетью рек, бассейнов р. Яны и левобережных притоков р. Индигирки. Район относится к зоне, переходящей от тундры к лесотундре, с суровыми и продолжительными зимами.

Климат рассматриваемой территории характеризуется резкой континентальностью, очень низкими температурами зимой (до минус 60 °С) и высокими летом (до 35 °С). В зимнее время территорию охватывает мощный сибирский антициклон, в котором происходит формирование очень холодного воздуха, ясная и сухая погода способствует охлаждению земной поверхности и нижних слоев атмосферы. Антициклон достигает максимума в январе — феврале. Особенно сильное выхолаживание происходит в долинах и котловинах. В холодное время года очень

сильно развиты инверсии. При сильных морозах и затишьи образуются морозные туманы.

Зима на большей части территории малоснежная, в зоне тундры снежный покров залегают неравномерно из-за сдувания сильными ветрами. Незначительный снежный покров и низкие зимние температуры способствуют широкому распространению многолетней мерзлоты, достигающей большой мощности.

Лето короткое, но теплое, иногда жаркое, однако ночью по всей территории возможны заморозки на протяжении всего лета. Переходные сезоны года кратковременные и характеризуются большими суточными амплитудами температур.

Арктические воздушные массы с малым влаго-содержанием свободно проникают из Центральной Арктики в любое время года. Североатлантические теплые воздушные массы поступают сильно иссушенными, но с большим влаго-содержанием, чем арктические. Обычно они приносят циклоническую погоду, сопровождающуюся сильными ветрами и продолжительными метелями. Влажные и теплые тихоокеанские воздушные массы лишь изредка вторгаются в восточные и центральные районы, вызывая потепления со снегопадом зимой и дождливую погоду летом. На рассматриваемой территории господствует западный перенос воздушных масс.

Средняя годовая температура воздуха составляет минус 14,7 °С (м/с Верхоянск). Самым холодным месяцем является январь (минус 45,9 °С), самым теплым — июль (плюс 16,2 °С) (м/с Верхоянск). Абсолютный минимум температуры воздуха наблюдается в январе и достигает минус 68 °С (м/с Верхоянск). В июле отмечается абсолютный максимум температуры воздуха плюс 37 °С (м/с Верхоянск).

Период с положительными температурами воздуха составляет 110–120 дней, с отрицательными — 240–250 дней.

Первые заморозки на почве в среднем наблюдаются во второй декаде августа, последние — во второй декаде июля. Безморозный период составляет 58–63 дня. Средняя скорость ветра за год составляет 2,2 м/с, максимальная достигает 23 м/с, преобладают южные направления ветра. Среднегодовая сумма осадков — 200–250 мм. Максимальное количество осадков в сутки может достигать 50 мм. По климатическому районированию территория размещения проектируемого объекта относится к Сибирской области Субарктического пояса. Согласно климатическому районированию район размещения АСММ относится к климатическому району 1А.

Гидрологические условия. Рассматриваемая территория района располагает большим количеством поверхностных водных объектов. Порядка 10% территории занимают болота и заболоченные земли. Кроме вод рек, озер и болот здесь имеются поверхностные воды, находящиеся в твердом состоянии в виде современных ледников и наледей. Основные черты гидрографии и режима водных объектов в данных условиях определяются сложными сочетаниями климатических особенностей, рельефа, геологического строения и многолетней мерзлоты.

Гидрографическая сеть Усть-Янского улуса представлена реками Яной, Омолой, Чондон, Селениях, Уяндиной. В своем верхнем течении реки имеют горный, в среднем — горно-равнинный, в нижнем — равнинный характер. Питание рек смешанное, с преобладанием дождевого и снегового; подземное — минимальное. Реки характеризуются высоким, неравномерным весенне-летним половодьем, летне-осенними паводками, иногда превышающими половодье. Покрываются льдом в сентябре-октябре от истока к устью. Вскрываются ото льда в период с середины мая по июнь. Распространены полыньи и наледи. Реки богаты ценными промысловыми породами рыб, преимущественно сиговых. Основной водной артерией района размещения объекта является река Яна и ее притоки. Малые водотоки длиной до 10 км составляют свыше 90%.

Река Яна имеет общую длину 872 км. Она образуется слиянием двух горных рек — Сартанг и Дулгалаах, которые начинают свое течение с Верхоянского хребта. После их слияния Яна течет в глубокой и широкой долине; после впадения в нее притока — р. Адычи долина в некоторых местах расширяется до 10 км и более, а само русло разделяется на протоки. В районе пересечения хребта Кулар на Яне образуются пороги. После выхода Яны на Яно-Индибирскую низменность образуется многорукавность. При впадении в Янский залив моря Лаптевых она образует дельту площадью около 10 200 км².

В бассейне Яны около 40 тыс. озер. Питание дождевое и снеговое; за май — август проходит до 90% годового стока. Водный режим реки Яны в верхнем течении характеризуется небольшим половодьем и высокими летне-осенними дождевыми паводками, в нижнем течении доля весеннего стока увеличивается. Река замерзает по всему течению, полностью покрываясь льдом в начале октября. В верхнем течении в зимний период перемерзает на три и более месяца. Вскрытие льда происходит также постепенно, в течение мая — июня.

Геоморфология и рельеф. В геоморфологическом отношении территория района размещения объекта представляет собой Яно-Оймьяконское эрозионно-денудационное нагорье, в пределах которого выделяется Янское плоскогорье, граничащее с Яно-Индибирской низменностью. Рельеф Яно-Оймьяконского нагорья характеризуется абсолютными отметками от 500 м (на севере) до 1500 м (на юге). Водоразделы горных хребтов достигают высот до 1760 м. Глубина вреза речной сети колеблется от 200 до 300 м.

Район работ, согласно морфоструктурному районированию, относится к Верхояно-Чукотскому региону. Куларское поднятие с юга на север пересечено эрозионной долиной реки Яны с комплексом ее речных террас. Куларское структурно-денудационное поднятие разделяет две горные системы: Верхоянскую и Черско-Полоусненскую. Куларское складчато-глыбовое поднятие представляет группу положительных морфоструктур второго порядка, обособленных в виде средне-низкогорного узла на северном фланге Яно-Оймьяконского нагорья.

Осевая часть Куларского структурно-денудационного поднятия прослеживается в северо-

восточном направлении вдоль гребней хребтов Кулар и Кюндюлонг. В юго-восточной части района Куларское структурно-денудационное поднятие граничит с расчлененным низкогорьем Полоусненского кряжа.

Преобладающий эрозионно-денудационный рельеф представлен подтипом низкогорным грядовым. Полого-увалистый рельеф отличается мягкими очертаниями, пологими склонами, отсутствием разновыраженных гряд. В рельефе преобладают вытянутые формы возвышенностей, имеющие вид увалов с пологими склонами, относительными превышениями до 80–150 м. Речные долины глубоко врезаны, их склоны имеют крутизну до 300, асимметричные: пологие южные склоны и крутые северные. На склонах крутизной более 200 развиты осыпи с размером обломков 0,50–0,80 м. На склонах крутизной 100–200 развитие имеют делювиально-солифлюкционные формы рельефа. Сложное геологическое строение и сплошное развитие многолетнемерзлых пород обусловило широкое развитие криогенного рельефа, который формировался на основных морфоструктурах.

Конкурентные площадки расположены на периферии Куларского поднятия, в Тенкиченской наложенной зоне, которая является переходной зоной от одной морфоструктуры второго порядка к другой.

Морфоструктурный моноклиальный блок представлен частью своего южного фланга, рассеченного врезом реки Яны. Для него характерен слабый наклон на север и относительное превышение блока над остальной частью Тенкиченской наложенной зоны в среднем до 190 м. Превышение его над остальной частью Тенкиченской зоны обусловлено литоморфным обособлением существенно песчаниковых и сланцевых толщ, а также влиянием поднятий смежных блоков.

Конкурентная площадка 1 расположена на эрозионном склоне восточной экспозиции со средней крутизной 8–9° (склон средней крутизны), местами до 20°, покрытом мхом и кустарниками. Перепад абсолютных высот поверхности составляет порядка 125 м. Абсолютные высоты поверхности варьируют от 167 до 293 м.

Конкурентная площадка 2 расположена в пределах выположенной водораздельной части второго порядка. Ее рельеф характеризуется как эрозионно-денудационный и представлен подтипом низкогорным грядовым. Низкогорный грядовый, полого-увалистый рельеф отличается мягкими очертаниями, пологими склонами, а также отсутствием разновыраженных гряд. В рельефе преобладают вытянутые формы возвышенностей, имеющие вид увалов с пологими склонами. Микрорельеф на склонах имеет делювиально-солифлюкционные формы. Перепад абсолютных высот поверхности составляет порядка 50 м. Абсолютные высоты поверхности варьируют от 243 до 292 м.

В геоморфологическом отношении конкурентные площадки изысканий приурочены к правому коренному склону долины Яны, которая протекает по трапецеидальному руслу шириной от 380 до 500 м, глубиной до 5,5 м.

По ландшафтному районированию территория района расположена на границе Яно-Оймяконско-

го тундрово-таежного нагорья и Момско-Черского гольцово-тундрово-таежного среднегорья. Ландшафты представлены лесотундрой, горными лиственными и подгольцовыми редколесьями и горными тундрами, гольцами, подгольцовыми зарослями кустарников.

Тектоническое строение и сейсмические условия. Рассматриваемая территория принадлежит преимущественно трем крупнейшим тектоническим структурам Восточной Сибири — Сибирской платформе, Байкальской и Верхояно-Колымской горно-складчатой областям. Территория района приурочена к Кулар-Нерскому сланцевому поясу Верхояно-Колымской горно-складчатой области. Складчатые структуры сложены пермскими, триасовыми и юрскими отложениями, образующими главный структурный этаж, сформировавшийся на доверхнепалеозойском фундаменте, представляющем собой нижний структурный этаж. Кайнозойские рыхлые отложения палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем образуют верхний структурный этаж, формирование которого продолжается и в настоящее время.

На территории размещения объекта Кулар-Нерский сланцевый пояс представлен Нижнеянской складчато-надвиговой зоной, которая является пограничной структурой между Куларским сегментом Восточно-Верхоянской складчатой зоны и Северо-Полоусненским сегментом Кулар-Нерского сланцевого пояса. Рассматриваемая зона ограничивается крупными надвигами Нижнеянской системы надвигов, по которым она надвинута на Кюндюлонгскую антиклиналь и, в свою очередь, перекрыта структурами Северо-Полоусненского сегмента.

Нижнеянская складчато-надвиговая зона. Нижнеянская складчато-надвиговая зона надвигами Нижнеянской и сбросо-сдвигами Лаптево-Селенняхской систем разбита на серию относительно смещенных, надвинутых друг на друга блоков. Внутри этих блоков наблюдается относительно спокойная брахиформная, реже линейная складчатость цилиндрического типа с пологой ундуляцией шарниров либо моноклиальное залегание пород. Преобладающие углы падения — 3–30°. В лежащих крыльях надвигов пологая складчатость осложнена наклонными, опрокинутыми до лежащих, мелкими складками более высоких порядков, сопровождаемыми развитием кливажа.

Разрывные нарушения. Дизъюнктивные дислокации главного структурного этажа многочисленны, разнообразны и динамически взаимосвязаны. В некоторой степени условно объединены в Право-Кюэюльюрскую, Кендейбинскую, Нижнеянскую, Яно-Омолойскую, Лаптево-Селенняхскую и Урасалах-Кючусскую системы.

Результаты выполненных инженерных изысканий показали наличие в пределах конкурентной площадки 2 разрывного нарушения, предположительно надвига, граница которого была обнаружена благодаря анализу космоснимков, данных электромографических разрезов, а также материалов буровых работ.

Согласно полевому описанию в скважине № 1/2 (условный центр площадки) с глубины 10,4 м наблю-

дается изменение направления трещиноватости от субгоризонтального ($1-2^\circ$) до вертикального ($85-90^\circ$).

Примечательно, что именно на этих глубинах в тех же местах была обнаружена аномалия повышенных сопротивлений на псевдоразрезах. В свою очередь в скважине № 2/2 (южная часть площадки) глубиной 30 м данная аномалия не наблюдается (все трещины субгоризонтальные). Предположительно, надвиг приурочен к Нижнеянской системе, представляющей собой серию субпараллельных надвигов северо-восточного простирания, падающих на юго-восток под углами $35-40^\circ$. Морфологически это зоны разлинзования, будинажа, милонитизации мощностью до первых метров; на отдельных участках отмечаются зоны тектонического меланжа с глинистым заполнителем мощностью до 80 м.

Амплитуда надвиговых подвижек по отдельным разломам колеблется от первых сотен метров до 1–2 км и достигает 5–9 км по надвигу, ограничивающему Северо-Полосуенский сегмент.

Район находится в зоне сейсмического районирования, на которые распространяются требования Свода правил СП 14.13330.2018 (Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*).

Сейсмичность площадки уровня ПЗ составляет 7 баллов (карта ОСП-2016-В, 1 раз в 1000 лет) по шкале MSK-64. Сейсмичность площадки уровня МРЗ составляет 9 баллов (карта ОСП-97-Д, 1 раз в 10 000 лет) по шкале MSK-64. В соответствии с Приложением А СП 14.13330.2018 максимальная интенсивность сейсмических сотрясений при 10, 5, 1% вероятности превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет для периода повторяемости сотрясений 500, 1000, 5000 лет составляет соответственно 7, 7, 8 баллов по шкале MSK-64. Категория опасности территории от природных процессов землетрясения оценивается как весьма опасная (т. 5.1 СП 115.13330.2016) [5].

Геологические и инженерно-геологические процессы и явления. Большинство современных геологических процессов связано с развитием в регионе многолетней мерзлоты. Из них наиболее распространенные — морозобойное растрескивание и физическое выветривание. Морозное растрескивание и связанные с ним полигональные образования наиболее ярко выражены на поверхности аллювиальных террас в долинах крупных рек. На отдельных участках долин и склонов развиты повторно-жильные льды высотой до 5–10 м и шириной в верхней части до 0,5–1, редко до 2 м.

Результатом физического выветривания пород на горных участках является образование глыбовых и щебневых развалов, крупнообломочных осей и каменных потоков. На более пологих склонах ($20-30^\circ$) возникает морозная сортировка обломочного материала. На речных террасах, на участках развития ледниковых и озерно-аллювиальных отложений встречаются термокарстовые просадочные формы рельефа и озера, формирующиеся преимущественно по повторно-жильным и сегрегационным льдам, реже — по погребенным льдам ледников и снежников. Солифлюкционные процессы распространены огра-

ниченно и чаще сочетаются с другими склоновыми процессами: коллювиальными, делювиальными, оползневыми.

В средне- и низкогорных районах Яно-Оймяконского нагорья преобладают лавинные очаги с наклоном $25-35^\circ$ и превышением 200–300 м. Густота лавинных очагов на 1 км дна долины — от 1 до 5. Продолжительность лавиноопасного периода колеблется от 90 до 180 дней. Пик лавинной активности связан с усилением в марте — мае циклонической циркуляции. В этот период формируются в основном лавины свежеснежного снега и весеннего снеготаяния, также метелевые лавины. Повторяемость лавин — менее 0,1 лавины в год. Территория относится к районам с низкой степенью лавинной опасности.

В районе широко развиты наледи, которые преимущественно питаются подземными водами подмерзлотной циркуляции. Также встречаются наледи грунтовых и подрусловых вод. Яно-Оймяконское нагорье практически лишено крупных наледей, за исключением окраинных районов, примыкающих к горным сооружениям. На непромерзающих реках наледи развиваются в течение всей зимы. На промерзающих реках особенно интенсивно они развиваются до середины ноября, но часто и до конца зимы. Они подпитываются водами из подруслового или пойменного талика или из конусов выноса.

В соответствии с требованиями п. 6.2.2.2 СП 47.13330.2016 в районе размещения объекта было проанализировано наличие или отсутствие геологических и инженерно-геологических процессов, влияющих на проектные решения. В результате сделаны следующие выводы:

- склоновые процессы — при инженерно-геологическом обследовании участка изысканий и зоны влияния геологических факторов на объект были выявлены проявления осыпаний в средней части площадки. Активизации данного процесса способствует наличие слоистой толщи скальных грунтов с падением в направлении склона, интенсивное физическое и морозное выветривание;

- суффозионные процессы — следов суффозии выше уреза воды на участке проектирования не обнаружено;

- русловые процессы — площадка находится в пределах формируемой излучины свободной меандрируемой реки Яны. Развитие излучины завершается сближением подмываемых берегов выше и ниже расположенных смежных излучин, прорывом образовавшегося между ними перешейка. После прорыва возникает новая излучина, нарушая нормальный ход развития смежных излучин;

- мерзлотные процессы — в пределах площадки обусловлены процессами оттаивания многолетнемерзлых грунтов, которое начинается в первой половине июня, причем в начальный период происходит оттаивание небольшого слоя днем и замерзание его ночью. Максимальное оттаивание происходит в середине сентября. По степени морозной пучинистости грунты, входящие в зону сезонного оттаивания (элювиальные дресвяные грунты с суглинистым заполнителем), оцениваются как непучинистые.

Категория опасности территории от природных процессов пучения оценивается как умеренно опасная (таблица 5.1 СП 115.13330.2016). Юго-восточнее от площадки, в долине реки Селлик-Юряге, развиты процессы термокарста, которые выражаются в виде отрицательных форм рельефа. Термокарст образуется в результате сезонного оттаивания погребенных льдов и мерзлых грунтов, в результате чего возникают просадки грунта в виде западин и провалов. Категория опасности территории от природных процессов термокарста оценивается как умеренно опасная (таблица 5.1 СП 115.13330.2016).

Радиационная обстановка. Согласно экологическому паспорту Республики Саха (Якутия) в Усть-Янском улусе подземные ядерные взрывы не проводились. Мониторинг радиационного состояния в Усть-Янском улусе производится ФГБУ «ЯУГМС».

Уровни МЭД гамма-излучения не превышают фоновых для Российской Федерации показателей 0,1–0,2 мкЗв/ч. В системе наблюдения УГМС по группировке пунктов наблюдения площадки изысканий находятся в группе Север Восточной Сибири. Наблюдение за радиоактивным состоянием в этом регионе проводят Якутское, Колымское, Камчатское и Чукотское УГМС.

Гидрогеологические условия. Район размещения объекта расположен в пределах Ольджойского артезианского бассейна второго порядка, относящегося к Индигиро-Колымскому артезианскому бассейну первого порядка. Исследуемая территория принадлежит к гидрогеологическому бассейну в пределах Куларского адмассива. Водоносный комплекс пермь-триасовых отложений (Р-Т) принадлежит к водоносному комплексу палеозойско-мезозойских отложений, подстилающего водоносные комплексы палеоген-неогеновых и четвертичных отложений.

По отношению к толще многолетнемерзлых пород (ММП) воды палеозойско-мезозойских отложений являются подмерзлотными. Воды пермь-триасовых отложений (Р-Т) на изучаемой территории пользуются широким распространением и прослеживаются во всех выделенных здесь гидрогеологических структурах Куларского адмассива и структурах Приморской системы криогенных артезианских бассейнов.

Это преимущественно трещинные и трещинно-пластовые контактирующие воды, залегающие непосредственно под нижней границей ММП в трещиноватой зоне криогенной дезинтеграции.

Естественными источниками подмерзлотных вод являются трещинно-жильные и жильные воды сквозных напорно-фильтрационных таликов, приуроченные к многочисленным дизъюнктивным нарушениям и приразломным зонам.

Водовмещающими породами комплекса являются в различной степени дислоцированные алевролиты, аргиллиты и песчаники с низкими фильтрационными свойствами (коэффициент фильтрации изменяется от 0,001 до 0,05 м/сут, реже более), которые зависят от генезиса трещиноватости. Максимальная проницаемость характерна для пород в зонах молодых или обновленных тектонических нарушений, в остальных случаях она не превышает вышеупомянутых значений вследствие естественной кольматации трещин

более тонким, истертым материалом вмещающих пород, что затрудняет водообмен.

Воды комплекса напорные, высоконапорные. Гидрогеологические параметры, установленные по скважинам, характеризуют их как малодебитные (0,1–25,0 м³/сут).

Питание вод осуществляется исключительно в теплое время года через сквозные инфильтрационные талики.

Разгрузка осуществляется через сквозные напорно-фильтрационные талики, которые установлены в западных предгорьях хребта Улахан-Сис; нередко сопровождается выделением газа и образованием небольших грифонов воды (источники «Дерга» и «Усть-Тумул»). В составе газа преобладают азот (92% и более) и метан (4,5%). В зимнее время вблизи сквозных таликов образуются наледи. Вероятно, разгрузка вод происходит и по сквозным таликам долины реки Яны, о чем свидетельствует значительное повышение минерализации ее поверхностных вод в зимнее время.

По химическому составу воды комплекса в большинстве своем сульфатные натриево-магниевые, реже кальциево-натриевые. В зонах крупных тектонических нарушений, где воды напорного подмерзлотного потока достигают значительных глубин под подошвой мерзлой толщи, они гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные магниево-натриевые. Истинный же состав последних слабо характеризует глубокие подмерзлотные воды, так как при выходе на поверхность происходит сильное разбавление их водами сезонно-талого слоя (СТС), подрусловых таликов и поверхностными водами.

По минерализации воды комплекса пресные, умеренно-солончатые до солончатых и слабых рассолов. Первые характерны для глубинных вод источников с минерализацией, не превышающей 0,2–0,5 г/дм³, вторые и третьи — с минерализацией 4,4–7,5 г/дм³ и 104 г/дм³ для остальных вод. По значению водородного показателя классифицируются как нейтральные (рН — 6,3–6,8). По степени жесткости воды подразделяются на мягкие — для источников глубинных вод с общей жесткостью 1,1–2,2 мг-экв/дм³ и очень жесткие — для остальных вод комплекса с общей жесткостью 33,2–65,0 мг-экв/дм³ до 1676,3 мг-экв/дм³.

В повышенных количествах вода содержит следующие химические вещества, влияющие на лимитирующие показатели вредности и класс опасности (Гигиенические нормативы СанПиН 1.2.3685–21): сульфаты, железо, марганец, бром, фтор.

Высокая минерализация и жесткость, а также повышенное содержание вышеперечисленных компонентов указывают на невозможность использования подмерзлотных вод для хозяйственно-питьевых целей, за исключением глубинных вод источников (ГОСТ Р 51232–98 «Вода питьевая»). Однако они могут использоваться как промышленные по извлечению брома, содержание которого в водах достигает 384,68 мг/л, и в бальнеологических целях для питьевого лечения при желудочно-кишечных заболеваниях, болезнях печени, гастрите и пр. Мощный криогенный водоупор верхней части водоносного комплекса является своего рода защитным экраном, предохраняющим подмерзлотные воды от загрязнения.

Гидрогеологические условия конкурирующих площадей одинаковы и характеризуются отсутствием грунтовых вод до глубины бурения 62,5 м. Грунты основания находятся в устойчивом мерзлом состоянии и имеют слабую льдистость. В летнее время в деятельном слое, мощность которого не превышает 0,5–0,6 м, возможно формирование надмерзлотных талых вод (надмерзлотный талик), питание которых зависит от инфильтрации атмосферных осадков и таяния грунтов.

Выводы

1. На основании выполненной экспертной оценки фондовых материалов, материалов инженерных изысканий и экологических исследований, проведенных на предпроектной стадии разработки АСММ, сделана оценка антропогенной нагрузки на компоненты наземных и водных экосистем. Площадка размещения

АСММ по природным условиям удовлетворяет критериям и требованиям к безопасному размещению АЭС. На площадке АСММ отсутствуют особо охраняемые природные территории (ООПТ), деятельность на которых запрещена природоохранным законодательством. Присутствие редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных и растений на территории площадки не отмечено.

2. Результаты экспертной оценки фондовых материалов, материалов инженерных изысканий и экологических исследований позволяют оценить АСММ как экологически безопасную.

3. Окончательный вывод о возможности осуществления намечаемой деятельности с учетом проектных решений, обеспечивающих допустимость воздействия на окружающую среду и здоровье населения, с учетом мероприятий, направленных на охрану окружающей среды, будет сделан после проведения экспертной оценки проектных материалов АЭС.

Литература/References

1. Кузнецов В.М., Спиридонов В.П. Замечания к проекту АСММ на базе плавучего энергоблока с ядерными реакторными установками типа КЛТ-40С. Энергосбережение и водоподготовка. 2022; 5 (139): 64–75. [Kuznetsov V.M., Spiridonov V.P. Comments on the NPP project based on a floating power unit with nuclear reactor installations of the KLT-40S type. Energy saving and water treatment. 2022; 5 (139): 64–75. (In Russ.)].
2. НП-032–19 (Площадка атомной станции. Требования безопасности). [NP-032–19 (Nuclear power plant site. Safety requirements). (In Russ.)].
3. Предварительный вариант материалов оценки воздействия на окружающую среду при размещении объекта «Строительство атомной электрической станции малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н мощностью не менее 55 МВт» в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия) УКТ1.Н.Л530.0.000000.000000.000.СА.0001.Р Инв. № 121–00000. М., 2021: 218. [Preliminary version of materials for assessing the environmental impact when locating the object «Construction of a low-power nuclear power plant with a RITM-200N reactor unit with a capacity of at least 55 MW» in the Ust-Yansky district of the Republic of Sakha (Yakutia) UKT1.N.L530.0.000000.000000.000.СА.0001.R Inv. No. 121–00000. Moscow, 2021: 218. (In Russ.)].
4. Материалы обоснования лицензии на осуществление деятельности в области использования атомной энергии — сооружение ядерной установки: «Энергоблок № 1 Якутской атомной станции малой мощности (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус)». Кн. 1. Материалы обоснования лицензии на сооружение УКТ1.У.Л530.0.000000.000000.016.ГУ.0001.Р. М.: АО «Концерн Росэнергоатом», 2023: 89. [Materials for justifying a license to carry out activities in the field of atomic energy use — construction of a nuclear installation: «Power unit No. 1 of the Yakutsk low-power nuclear power plant (Ust-Kuiga settlement, Ust-Yansky ulus)». Book 1 Materials for justifying the construction license UKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0001.R. Moscow: JSC Rosenergoatom Concern, 2023: 89. (In Russ.)].
5. Материалы обоснования лицензии на осуществление деятельности в области использования атомной энергии — сооружение ядерной установки: «Энергоблок № 1 Якутской атомной станции малой мощности (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус)». Кн. 2. Предварительные материалы оценки воздействия на окружающую среду. УКТ1.У.Л530.0.000000.000000.016.ГУ.0002.Р. М.: АО «Концерн Росэнергоатом», 2023: 227. [Materials for justifying a license to carry out activities in the field of atomic energy use — construction of a nuclear installation: «Power unit No. 1 of the Yakutsk low-power nuclear power plant (Ust-Kuiga settlement, Ust-Yansky ulus)». Book 2. Preliminary materials for environmental impact assessment. UKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0002.R. Moscow: JSC Rosenergoatom Concern, 2023: 227. (In Russ.)].

Вклад авторов. В.М. Кузнецов, В.В. Спиридонова: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. V.M. Kuznetsov, V.V. Spiridonova: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.

Принята к публикации: 22.02.2024.

Article received: 12.01.2024.

Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Владимир Михайлович, д.т.н., профессор, ООО «Группа компаний "ИнтеллектСервис"». Адрес: Россия, 115088, Москва, ул. Угрешская, 2, стр. 33. ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Спиридонова Валентина Валерьевна, н.с. отдела ГИС и цифровой картографии отделения геоинформатики ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИГНИ». Адрес: Россия, 117105, Москва, Варшавское шоссе, 8. Телефон: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.

AUTHORS INFORMATION

Kuznetsov Vladimir Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, LLC «Group of companies IntellectualService». Address: 115088, Moscow, Ugreshskaya str., 2, p. 33. ORCID: 0009-0002-8569-8323.

Spiridonova Valentina Valeryevna, Senior Researcher of the GIS and Digital Cartography Department of the Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI Federal State Budgetary Institution. Address: 117105, Moscow, Varshavskoe Shosse, 8. Phone: +7 (495) 952-29-31. ORCID: 0000-0001-5328-9563.

УДК: 656.073.9
UDC: 656.073.9

Применение флекситанков для повышения эффективности встречных перевозок и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций



The use of Flexitanks to Increase the Efficiency of Oncoming Traffic and to Eliminate the Consequences of Emergency Situations

АВТОРЫ

AUTHORS

А.Н. Комяков, к.т.н., Е.Н. Болдырев, В.В. Жучков

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

A.N. Komyakov, E.N. Boldyrev, V.V. Zhuchkov

Academy of Public Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Статья посвящена вопросам повышения эффективности встречных перевозок в условиях, когда имеется потребность транспортировать в одном направлении жидкие грузы, в другом — твердые. Применение для этих целей флекситанков — инновационная альтернатива традиционным средствам доставки таких грузов. Описаны варианты альтернативного и повторного использования флекситанков для создания резервных запасов воды для пожаротушения.

The article is devoted to improving the efficiency of oncoming traffic in conditions when there is a need to transport liquid goods in one direction and solid goods in another. The use of flexitanks for these purposes is an innovative alternative to traditional means of delivery of such goods. Options for alternative and reuse of flexitanks to create reserve water reserves for fire extinguishing are described.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, ФЛЕКСИТАНК, ЖИДКИЕ ГРУЗЫ, ВСТРЕЧНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ФЛЕКСИТАНКОВ

CONTAINER TRANSPORTATION, FLEXITANK, LIQUID CARGO, COUNTER TRANSPORTATION, ALTERNATIVE USE OF FLEXITANKS, CREATION OF RESERVE WATER RESERVES FOR FIRE EXTINGUISHING

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Комяков А.Н., Болдырев Е.Н., Жучков В.В. Применение флекситанков для повышения эффективности встречных перевозок и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 56–59. [Komyakov A.N., Boldyrev E.N., Zhuchkov V.V. The use of flexitanks to increase the efficiency of oncoming traffic and to eliminate the consequences of emergency situations. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 56–59. (In Russ.).]

Введение

В экономике России осуществляется значительное число встречных перевозок, когда в одном направлении транспортируются жидкие грузы, а в обратном — твердые. В связи с большими расстояниями транспортировки и массовым характером грузов задача внедрения новых экономичных средств доставки таких грузов является очень актуальной. Один из путей повышения эффективности встречных перевозок — применение флекситанков.

Примером встречных перевозок с использованием флекситанков авто- или железнодорожным транспортом может быть доставка в северные лесные регионы страны пищевых и растительных масел, топлива, других горюче-смазочных материалов и прочих жидких грузов. В обратном направлении контейнеры и вагоны могут быть загружены продукцией лесопе-

рерабатывающих предприятий (пиломатериалы, готовые изделия деревообрабатывающих и мебельных предприятий, топливные брикеты и т. п.).

Флекситанк (flexitank) — это гибкий контейнер для перевозки жидких пищевых и неопасных наливных грузов. Представляет собой полимерную эластичную и герметичную емкость, которую помещают в стандартный 20-футовый контейнер и перевозят автомобильным, морским или железнодорожным транспортом. Объем флекситанка — 10–28 тыс. л (допускается недолив в объеме до 500 л или перелив в объеме до 100 л). В сложенном состоянии занимает всего 0,25 м³. Конструкция флекситанка с дополнительными элементами для перевозки в контейнере показана на **рис. 1**.

Флекситанк является инновационной альтернативой традиционным цистернам, танк-контейнерам, бочкам и другой таре для транспортировки

и хранения промышленных объемов наливных материалов, не принадлежащих к группе опасных веществ. Высокая надежность при перевозке и хранении грузов флекситанками подтверждена сертификатом DIN EN ISO 9001:2000. Для производства используется сваренный в три слоя полиэтилен с барьерным слоем PA, EVOH или алюминий, а также полипропиленовая ткань, кашированная внутри полиэтиленом [1].

Первые флекситанки создавались для много-разового использования, поэтому в их стоимость закладывались затраты на чистку и возврат владельцам. С появлением одноразовых флекситанков эти издержки были упразднены, и в настоящее время именно данный тип флекситанков наиболее широко распространен: на них приходится более 95% мирового рынка данных средств перевозки.

Флекситанки, помимо деления на одноразовые и многоразовые, подразделяют также на однослойные и многослойные. Однослойные производятся чаще всего из полиэтилена толщиной 1 мм. Многослойные делаются из нескольких слоев пластика, из которых как минимум внутренний слой должен быть полиэтиленовым.

Помимо флекситанка для 20-футового контейнера существуют и другие его разновидности, например, флекситанки для автотрейлеров, флекситанки для рефрижераторов и лайнер-бэги для перевозки сыпучих грузов. Лайнер-бэг — это вкладыш, изготовленный из полимерного материала, который повторяет контур морского сухогрузного и железнодорожного контейнера [2].

Перевозимые наливные жидкие продукты

Флекситанки используются для перевозки жидких грузов различного происхождения и назначения. С внутренней оболочкой флекситанка совместимы как пищевые продукты, так и химические вещества.

Краткий перечень продуктов, допустимых к контейнерной перевозке грузов во флекситанках:

- **пищевые продукты:** вода, масла растительные (подсолнечное, оливковое, арахисовое, пальмовое, соевое, рапсовое, кукурузное и др.), соусы и пасты пищевые, варенье и джемы, жидкие сырые яйца, карамельные красители, мальтоза, подсластители, соки, алкогольная продукция;

- **непищевые продукты:** глицерин, моющие средства, шампуни, минеральные удобрения, биодизель, жирные кислоты, эмульсии, чернила, фармацевтические вещества, латекс, другая неагрессивная химия.

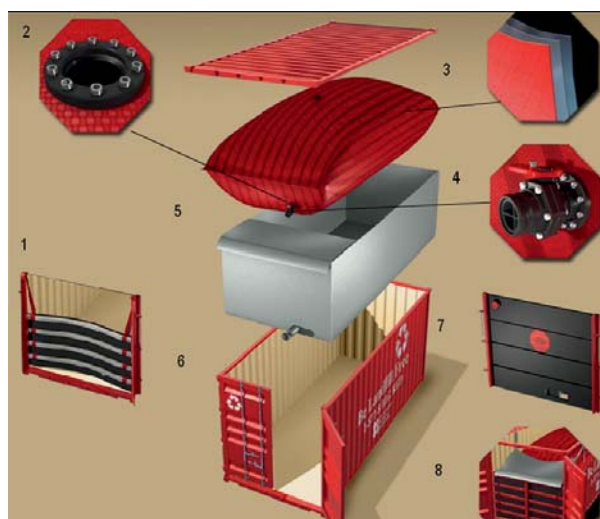
Преимущества и недостатки флекситанков

Преимущества:

- продукт запечатан, и нет риска загрязнения;
- флекситанк предназначен для перевозки только данного конкретного продукта, и, соответственно, исключается риск его загрязнения остатками предыдущего перевозимого вещества;
- относительно низкие затраты на установку;

РИСУНОК 1. Конструкция флекситанка

FIGURE 1. Flexitank design



- 1 — перегородка с вогнутыми балками; 2 — 3-дюймовый фланец; 3 — многослойный материал; 4 — 3-дюймовый загрузочный клапан; 5 — резервуар; 6 — 20-футовый контейнер; 7 — перегородка жесткая; 8 — перегородка с прямыми балками
- 1 — partition with concave beams; 2 — 3-inch flange; 3 — multilayer material; 4 — 3-inch loading valve; 5 — reservoir; 6 — 20ft container; 7 — rigid septum; 8 — partition with straight beams

- экономия полезного внутриконтейнерного объема на 40–50% по сравнению с перевозками в бочках, бутылках и другой таре для жидких грузов;

- нет необходимости обратной отправки и очистки тары;

- скорость погрузки выше, чем при использовании бочек и другой тары для жидких грузов;

- груз доставляется «от дверей до дверей», без промежуточных перегрузок;

- легкий, безопасный, экономичный, малый объем в порожнем состоянии;

- широкий диапазон использования;

- сокращение потерь продукции при выгрузке;

- полностью перерабатывается и утилизируется.

Недостатки:

- вещества, которые в соответствии с Международным кодексом морской перевозки опасных грузов классифицируются как опасные, не допускаются к перевозке во флекситанках;

- для разгрузки флекситанков требуются насосы;
- необходимость утилизации использованных одноразовых флекситанков;

- риск утечки всего содержимого.

С перевозкой любого груза могут возникнуть проблемы. Например, при перевозке вина возможно брожение, которое может привести к чрезмерному раздутию флекситанка и повреждению контейнера.

Несмотря на отмеченные недостатки, рост числа перевозок с использованием флекситанков во втором десятилетии XXI века достигал 10–15% в год [3].

В России флекситанки появились примерно 15 лет назад. В 2009–2010 гг. на российской сети железных дорог был испытан вкладыш в контейнер для наливных грузов BIG Red Flexitank. На полигоне НВЦ «Вагоны» исследовалось поведение флекситанков

в условиях резкого торможения и столкновения платформ с закрепленными на них контейнерами. На перегоне Коряжма — Уфа была проведена серия соударений вагонов с флекситанками и опытная перевозка на 1,5 тыс. км. В январе 2011 г. появилось распоряжение ОАО «РЖД» № 47р, в котором были детализированы требования к флекситанкам. С этого момента на отечественном рынке железнодорожных перевозок появилась продукция и других производителей флекситанков, соответствующая параметрам, обеспечивающим безопасность перевозок.

В России на сегодня насчитывается свыше 10 тыс. грузовладельцев и продавцов неопасной жидкой продукции, которые отправляют свои грузы в контейнерах. Все это дорогостоящие товары: базовые и пищевые масла, виноматериалы, патока и химия. Большинство грузят свою продукцию в бочки и разносортную тару, которая размещается в вагонах или контейнерах.

В 2010–2012 гг. в МГУ леса (в настоящее время Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) проводились исследования по оценке эффективности и возможных вариантов применения флекситанков для оптимизации встречных перевозок в лесных регионах страны.

Сложившаяся структура грузопотоков может способствовать широкому внедрению флекситанков в лесном комплексе России. Традиционно из южных регионов страны и из-за рубежа в лесные регионы России поставляется огромное количество жидких неопасных грузов, которые пригодны для доставки флекситанками.

Для нужд пищевой промышленности и торговли в лесные регионы России (европейский север, Сибирь, Дальний Восток), учитывая их климатические условия, поставляются жидкие пищевые продукты: подсолнечное и другие растительные масла, вино и виноматериалы, концентраты сиропов, соки и соковые концентраты, пищевые соусы и пасты, варенье и джемы и др.

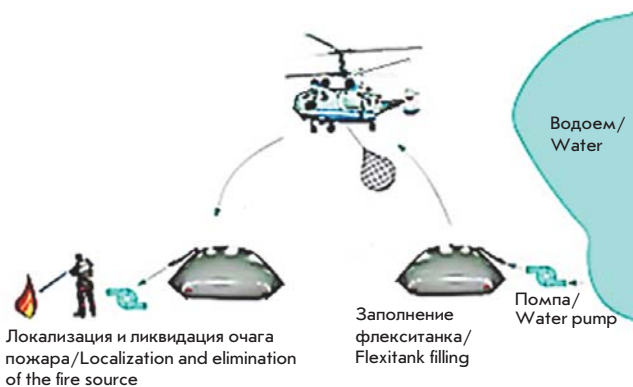
Для других отраслей промышленности, сельского и лесного хозяйства в лесные регионы флекситанками могут доставляться минеральные удобрения; базовые, минеральные и трансформаторные масла, жирные кислоты, латекс, глицерин, эмульсии, водорастворимые лакокрасочные материалы, шампуни, моющие средства и другая неагрессивная химия.

В обратном направлении контейнеры могут быть загружены традиционными лесными грузами: пиломатериалами и готовыми изделиями из древесины, продукцией целлюлозно-бумажных, фанерных, плитных и мебельных производств, недревесными продуктами леса (грибы, ягоды и т.п.). Такие перевозки могут быть экономически эффективны как для крупных операторов, так и для малого бизнеса.

Постоянно расширяется география маршрутов флекситанков, равно как и номенклатура допустимых к перевозкам типов жидкостей. Если поначалу транспортировки осуществлялись преимущественно в зоне между Санкт-Петербургом и Москвой, то теперь они охватывают Нижний Новгород, Новороссийск и Владивосток. В 2010 г. начались перевозки и в районы Крайнего Севера. Список российских железнодорожных операторов, использующих флекситанки,

РИСУНОК 2. Принципиальная схема доставки воды для пожаротушения в труднодоступные и отдаленные районы

FIGURE 2. Schematic diagram of the delivery of water for fire extinguishing to hard-to-reach and remote areas



постоянно расширяется. Среди ведущих игроков на этом рынке — «ТрансКонтейнер», FESCO, «Русская Тройка», «РусТранс».

Имеется успешный опыт применения флекситанков для доставки жидких грузов с предприятий лесного комплекса России в другие регионы. ОАО «ТрансКонтейнер» (дочерняя компания ОАО «РЖД») отправляет партии наливных неопасных грузов с использованием флекситанков по территории России. Лигносальфонат во флекситанках был доставлен со станции Низовка Северной железной дороги до станции Черниковка Куйбышевской железной дороги.

Лигносальфонаты являются отходом производства в целлюлозно-бумажной промышленности. Они содержат смесь натриевых солей лигносульфонатов, обладают универсальными свойствами поверхностно-активных веществ, характеризующихся пластифицирующим и диспергирующим действием в цементных системах. Их применение дает эффект замедления схватывания бетонной смеси, повышает удобоукладываемость раствора без изменения расхода цемента и снижения прочности бетона, увеличивает сохраняемость подвижности бетонной смеси до 2 ч и нарастание прочности в начальные сроки твердения. Учитывая имеющиеся количества этих отходов на российских целлюлозно-бумажных комбинатах и потребности строительной отрасли России и ближнего зарубежья, есть основание полагать, что объемы перевозок лигносульфоната с использованием флекситанков будут возрастать.

Переключение грузопотоков во флекситанки будет происходить в первую очередь на маршрутах с длинным плечом. Основным резервом для роста железнодорожных перевозок в такой упаковке внутри контейнеров являются грузовладельцы, которые отправляют жидкости в пластиковой таре и бочках.

Применение флекситанков не ограничивается стандартными решениями. Они могут использоваться:

- для балластирования судов;
- для борьбы с пожарами и создания противопожарных водоемов [4];

- в сельском хозяйстве для полива растений;
- как мобильные нефтебазы и полевые склады горючего;
- в качестве химически стойких вкладышей для старых и новых резервуаров;
- в виде резервуаров для воды, растворов минеральных удобрений и кислот;
- для ликвидации разливов;
- как водоналивные дамбы [5];
- как портативные топливные мягкие баки [6].

В Нижегородской области и в Алтайском крае применена технология тушения пожаров с помощью флекситанков, которые использовались пожарными подразделениями МЧС в качестве резервуаров для хранения и доставки воды в очаги пожаров. При подключении к клапану загрузки-разгрузки помпы с пожарными гидрантами огонь тушится напрямую (рис. 2).

Флекситанки как водоналивные рукавные дамбы позволяют в течение нескольких десятков минут

и при минимальных трудозатратах организовать надежную защиту жизненно важных объектов, домов, школ, больниц, колодцев, производственных предприятий и т.д.

Выводы

В настоящее время в Академии государственной противопожарной службы МЧС России проводятся исследования в области эффективного применения флекситанков для организации безводопроводного противопожарного водоснабжения. Задачами исследований являются обоснование их геометрических параметров; изучение процессов их взаимодействия с контейнером или вагоном при различных режимах транспортировки, процессов их заполнения и опорожнения, возможности использования флекситанков для строительства временных гидротехнических сооружений на-полняемого типа.

Литература/References

1. Оськина Ю.А., Комяков А.Н. Флекситанки. Мировой опыт и перспективы применения в лесном комплексе России. Технология и оборудование лесопромышленного производства. Научные труды Московского государственного университета леса. 2011; 356: 83–89. [Oskina Yu. A., Komyakov A. N. Flexitanks. World experience and prospects of application in the Russian forest complex. Technology and equipment of timber industry production. Scientific works of the Moscow State Forestry University. 2011; 356: 83–89. (In Russ.)].
2. Комяков А.Н., Оськина Ю.А. Флекситанки. Мировой опыт и перспективы применения в лесопромышленном комплексе. Лесопромышленник. 2011; 3: 22–23. [Komyakov A. N., Oskina Yu. A. Flexitanks. World experience and prospects of application in the timber industry. Lesopromyshlennik. 2011; 3: 22–23. (In Russ.)].
3. Тарханьян Л. Рынок перевозок во флекситанках продолжает увеличиваться в среднем на 10–15% каждый год [Электронный ресурс]. Гудок. 2019; 19 ноября. Режим доступа: <https://gudok.ru/incident/?ID=1484833> (дата обращения: 02.07.2023). [Tarkhanyan L. The flexitank transportation market continues to increase by an average of 10–15% every year [Electronic resource]. Gudok. 2019; November, 19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23733107> (accessed 2 July 2023). (In Russ.)].
4. Комяков А.Н. и др. Гидротехническое сооружение. Патент РФ на полезную модель № 86601. Приоритет от 01.06. 2009. [Komyakov A. N. et al. Hydraulic engineering structure. RF Patent for utility model No. 86601. Priority from 01.06. 2009. (In Russ.)].
5. Комяков А.Н. Применение мягких гидротехнических сооружений рукавного типа при создании пожарных водоемов и водохранилищ. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2022; 3: 36–43. [Komyakov A. N. The use of soft hydraulic structures of the sleeve type in the creation of fire reservoirs and reservoirs. Fires and emergencies: prevention, elimination. 2022; 3: 36–43. (In Russ.)].
6. Сорокин М.А., Комяков А.Н. Транспортные качества мобильных гидротехнических сооружений наполняемого типа в условиях безграничного потока и мелководья. Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2011; 3: 81–84. [Sorokin M. A., Komyakov A. N. Transport qualities of mobile hydraulic structures of the filled type in conditions of boundless flow and shallow water. Bulletin of the Moscow State University of the Forest — Forest Bulletin. 2011; 3: 81–84. (In Russ.)].

Вклад авторов. А.Н. Комяков, Е.Н. Болдырев, В.В. Жучков: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.
Authors contributions. A. N. Komyakov, E. N. Boldyrev, V. V. Zhuchkov: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2024.
Принята к публикации: 22.02.2024.
Article received: 12.01.2024.
Accepted for publication: 22.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Комяков Алексей Николаевич, к. т. н., доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.
ORCID: 0009-0004-7899-4663.

Болдырев Евгений Николаевич, зам. заведующего кафедрой инженерной теплофизики и гидравлики*.
ORCID: 0009-0004-2920-8961.

Жучков Виталий Вячеславович, к. т. н., доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.
ORCID: 0000-0002-6489-8265.

* Академия государственной противопожарной службы МЧС России. Адрес: Россия, 129301, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4.

AUTHORS INFORMATION

Komyakov Alexey Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*. ORCID: 0009-0004-7899-4663.

Boldyrev Evgeny Nikolaevich, Deputy, Head of the Department of Engineering Thermal Physics and Hydraulics*. ORCID: 0009-0004-2920-8961.

Zhuchkov Vitaly Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*. ORCID: 0000-0002-6489-8265.

* Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Address: 4 B. Galushkina str., Moscow, 129301, Russia.

УДК 52.6
UDC 52.6

Лазерные технологии в зоне чрезвычайных ситуаций

Laser Technologies in Emergency Zones

АВТОРЫ

AUTHORS

А.А. Копылов¹, к.соц.н.,
В.П. Спиридонов¹, к.т.н., профессор,
К.А. Лобода²

¹ Академия государственной противопожарной службы
МЧС России, г. Москва, Россия

² ООО «Электростекло», г. Москва, Россия

A.A. Kopylov¹, **V.P. Spiridonov¹**,
K.A. Loboda²

¹ Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of
Russia, Moscow, Russia

² Elektrosteklo LLC, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Разнообразие лазеров открыло новую, невероятно перспективную область технологических решений. Лазерные комплексы играют большую роль в происходящих изменениях технологического уклада, которые связаны с повышением гибкости, мобильности и унификации производства, энерго-, ресурсоэффективности, с выходом на новый уровень качества продукции, и при ликвидации последствий техногенных аварий и катастроф. Ни одно из стратегических важных технологических направлений в мире не обходится без использования лазерных установок.

The variety of lasers has opened up a new, incredibly promising field of technological solutions. Laser complexes play an important role in the ongoing changes in the technological structure, which are associated with increased flexibility, mobility, and unification of production, energy and resource efficiency, reaching a new level of product quality and eliminating the consequences of man-made accidents and catastrophes. None of the strategically important technological directions in the world can do without the use of laser installations.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ЛАЗЕРЫ, ЛАЗЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ПРОЦЕССЫ, АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

LASERS, LASER COMPLEXES AND RELATED PROCESSES, EMERGENCY RESCUE OPERATIONS IN THE EMERGENCY ZONE

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Копылов А.А., Спиридонов В.П., Лобода К.А. Лазерные технологии в зоне чрезвычайных ситуаций. Технический оппонент. 2024. 1 (13): 60–64. [Kopylov A.A., Spiridonov V.P., Loboda K.A. Laser technologies in emergency zones. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2024. 1 (13): 60–64. (In Russ.)].

Введение

Изобретение лазера привело к изменению многих отраслей промышленности и науки, обеспечив беспрецедентный источник интенсивного когерентного света. От медицинских процедур до связи и производства — лазеры стали важнейшим инструментом инноваций и прогресса. Непрерывные исследования и разработки в данной сфере приближают нас к новой технологической революции [1–8].

На сегодняшний день лазеры — стремительно развивающаяся область новых технологических решений, которые с каждым годом все больше внедряются в различные сферы промышленной и производственной деятельности. Однако для решения задач по ликвидации чрезвычайных ситуаций это направление до сих пор не рассматривалось, хотя и является весьма перспективным [7].

Дистанционное обезвреживание взрывоопасных предметов в ходе ведения аварийно-спасательных работ. Широкое применение лазерных установок

впечатляет и является перспективным для ведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС России. Для ликвидации чрезвычайных ситуаций, природных и техногенных аварий лазерные комплексы могут стать гибким рабочим инструментом.

Одними из наиболее опасных, быстроразвивающихся, но малоизученных пожаров являются пожары на объектах хранения взрывчатых веществ (ВВ), порохов, боеприпасов и вооружения. На таких объектах они сопровождаются взрывами с разлетом осколков и боеприпасов на расстояния, превышающие несколько километров. Также опасны разлетающиеся боеприпасы, особенно реактивные. Например, из-за разлета реактивных противотанковых гранат возникают очаги пожаров в радиусе 600–800 м, а разлет реактивных снарядов создает очаги в радиусе 10–12 км, приводя к взрывам штабелей боеприпасов.

Опасность при пожарах представляют и неразорвавшиеся боеприпасы. Разлетающиеся противотанковые гранаты могут пробить без взрыва бревна

диаметром 300–400 мм, а снаряды — бетонную стену только за счет своей высокой кинетической энергии. Каждый пожар, сопровождавшийся взрывами, был сопряжен с гибелью людей, выведением из строя боевой и специальной техники; приводил к практически полному уничтожению объекта хранения боеприпасов.

Не подлежит сомнению важность проблемы безопасного дистанционного обезвреживания взрывоопасных предметов и устранения участвовавших аварий и пожаров на складах боеприпасов. Современные ученые и инженеры постоянно ищут новые перспективные и эффективные методы нейтрализации взрывоопасных объектов.

Неудивительно, что интенсивное развитие мощных технологических лазеров, их широкое внедрение в производственные процессы открыло перспективы применения лазерных технологий для дистанционного обезвреживания взрывоопасных объектов. Луч современных лазеров на безопасном для персонала и оборудования расстоянии способен:

- вскрыть корпуса взрывоопасных объектов с последующим выжиганием (дефлаграцией) взрывчатого вещества;
- за счет мощного термического удара разрушить объект без его детонации;
- за счет магнитно-электростатических свойств точно разрезать оболочки подозрительных предметов, находящихся далеко от лазера;
- перерезать провода, уничтожить элементы электропитания и управления подрывом, выжечь и испарить взрывчатое вещество.

Дистанционное разрушение обледенений в арктической зоне, ликвидация разливов нефтепродуктов в береговой и прибрежной зоне. Большие скопления льда на территории Арктики ставят под угрозу стабильность и целостность производственных объектов. В результате обледенения поверхности поручней, лестниц, палуб и т.п. становятся скользкими, что может угрожать безопасности персонала. Обледенение также может покрывать спасательные лодки и палубное оборудование для тушения пожаров. Обычные механические способы устранения обледенения требуют доступа к ледовому оборудованию, которое может быть небезопасным в эксплуатации. Применение лазерных технологий позволило бы отлично справиться с данными задачами и дистанционно разрушить крупные обледенения.

В задачи Российской Федерации входят разведка и освоение арктических подводных месторождений углеводородов, находящихся под сплошным ледяным покровом. Чтобы освоить подледные арктические месторождения, необходимо ликвидировать аварийные разливы нефти (далее — ЛАРН). Данные месторождения, как правило, удалены от наземной инфраструктуры и мест базирования сил и средств ликвидации разливов нефти. Доступ к районам добычи затруднен из-за ледяного покрова, и оперативное развертывание традиционных сил и средств ЛАРН затруднено.

Климатические условия Арктики характеризуются рядом особенностей, которые необходимо учитывать при выработке подходов к ликвидации

разливов нефти. Главные среди них — это наличие постоянного или присутствующего продолжительное время обширного ледяного покрова; низкие, в том числе отрицательные, температуры воздуха; низкие температуры воды, продолжительные периоды полярных ночей, удаленность от береговой инфраструктуры. Эти факторы препятствуют развертыванию и эксплуатации надводных технических средств в арктических условиях. При этом низкие температуры и ледяной покров затрудняют распространение нефти. В условиях низких температур разлитая в морской воде нефть имеет увеличенную вязкость, вследствие чего она с трудом растекается подо льдом.

Данные аспекты обуславливают применение лазерных установок для ЛАРН под толщей льда. По сравнению с прочими методами удаления разливов нефти (механический, микробиологический, термический) лазерный признан наиболее эффективным для применения в условиях Арктики. Применение лазеров гарантирует дистанционный (до 300 м) поджог и дожигание нефтепродуктов в ледовых арктических условиях, позволяя ликвидировать разлив менее чем за двое суток с эффективностью до 98% [10].

Разделка, фрагментация крупногабаритных металлических и железобетонных конструкций при землетрясениях, обрушении горных пород и жилых помещений. Колоссальный объем ручного труда и риск, которому подвергаются спасатели, — следствие использования неэффективных средств механизации для ликвидации завалов. У спасателей для борьбы со стихией и спасения людей есть только респиратор, лопата, лом и кайло; в лучшем случае — гидравлические ножницы и резак с ручным приводом. Разборка подобных завалов в шахтах проводится спасателями вручную и представляет собой длительный, трудоемкий и травмоопасный процесс. Между тем главное условие обнаружения под завалом максимального количества тяжелораненых — это их поиск, длящийся не более 24 ч.

Особую сложность у спасателей вызывает ликвидация завалов в горной местности, жилых зданий и сооружений. Завалы представляют собой массу из искореженной металлической крепи, бетонных конструкций, труб, рельсов, кабелей и других материалов.

С учетом вышесказанного при ведении подобных аварийно-спасательных работ лазерные установки нашли бы свое применение. Луч лазера мог бы разрушать и разрезать бетонные или металлические части больших размеров. Установки обеспечили бы оперативность разборки конструкции и заменили бы неэффективную технику [11].

Вскрытие и разборка конструкций при дорожно-транспортных происшествиях. Анализ дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации показывает, что на 10 тыс. транспортных средств число погибших в несколько раз превышает аналогичные показатели других экономически развитых стран.

Основными причинами смерти пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях (далее — ДТП) становятся травмы, не совместимые с жизнью

(сопровождаящиеся кровотоком, шоком), а также травмы, приводящие к гибели в первые минуты и часы после происшествия. Значительная часть пострадавших погибает, не дождавшись первой медицинской помощи (далее — ПМП), а также вследствие неправильного извлечения из деформированных транспортных средств.

Опыт аварийно-спасательных работ (далее — АСР) показывает, что среднее время деформации транспортных средств составляет 20–30 мин. После получения сообщения о ДТП прибытие оперативных служб в городах занимает от 15 мин, а в сельской местности — от одного часа, что затрудняет оказание пострадавшему ПМП. При ведении АСР в ходе ликвидации последствий ДТП применяются гидравлические, пневматические, электрические и ручные инструменты, а также автомобильные краны и лебедки. АСР при ДТП включают следующие основные операции:

- предотвращение действия вторичных поражающих факторов;
- обеспечение работы гидравлического аварийно-спасательного инструмента;
- стабилизация поврежденного технического средства (далее — ТС);
- снятие остаточного напряжения в деформированном кузове ТС; деблокирование пострадавшего;
- оказание пострадавшему ПМП;
- фиксация положения пострадавшего перед его извлечением из ТС, извлечение пострадавшего из ТС.

Общая идея проведения АСР состоит в том, чтобы, не извлекая пострадавшего, попасть внутрь автомобиля для оказания ПМП как можно быстрее. При этом необходимо предотвратить воздействие вторичных факторов, главным образом пожаров. Затем следует убрать обломки вокруг пострадавшего, чтобы они не мешали извлекать его из поврежденного ТС.

Жизнь пострадавшего в ДТП во многом зависит от оперативного вскрытия и разборки конструкций транспортного средства. Применение механических средств, как показывают исследования, зачастую трудоемко, поэтому и здесь лазерные установки нашли бы свое применение. Луч вскрывал бы искореженные металлические конструкции, обеспечивая оперативную разборку транспортного средства и доступ к пострадавшим.

Дистанционная резка, обеззараживание различных конструкций в зонах радиационного и химического заражения. Аварии и чрезвычайные ситуации, связанные с выливом или выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ) и боевых отравляющих веществ (БОВ), могут возникнуть при производственных авариях на химически и бактериологически опасных объектах, при авариях и катастрофах на трубопроводах или железнодорожном транспорте.

Опасность от аварийных выбросов АХОВ состоит не только в гибели и заболеваниях людей и в повреждении материальных ценностей. Чуждые природной среде химические вещества наносят ей большой урон, который может проявиться как немедленно, так и в течение длительного времени («ползучая катастрофа»). Оценить этот ущерб крайне сложно.

Ликвидация аварий на объектах нефтегазовой отрасли. Нефтегазовые комплексы Российской Федерации уже давно имеют преимущественную долю в структуре доходов федерального и иных бюджетов и таким образом оказывают влияние на экономический потенциал страны и социальное развитие регионов.

Промышленные предприятия занимаются добычей, переработкой, производством, транспортировкой и сбытом нефтепродуктов. Защита нефтегазовых комплексов от угроз и рисков, которые могут возникнуть, — одна из основных задач МЧС России в области обеспечения пожарной и техноферной безопасности. На сегодняшний день проблема тушения таких объектов актуальна. Возникновение пожаров на нефтеперерабатывающих объектах нередко приводит к значительному социальному, экономическому и экологическому ущербу. При анализе статистики за предыдущие годы мы видим, что ежегодно в нефтяной отрасли возникают крупные аварии.

Особую сложность при ликвидации техногенной чрезвычайной ситуации представляют собой пожары на газонефтяных фонтанах. Пламя на фонтанирующих скважинах может достигать катастрофических масштабов, распространяться на соседние буровые установки и сооружения. Это происходит в результате мощного теплового излучения от вертикального факела пламени высотой более 100 м и горящей вокруг него нефти, разлившейся на площади нескольких тысяч квадратных метров. Воспламенение фонтана сопровождается взрывообразным сгоранием газозооной смеси в объеме загазованной зоны, а при растекании нефти и конденсата горит вся поверхность этой зоны. В результате пожар может распространиться на другие расположенные в указанных зонах объекты. Через 15–30 мин после воспламенения фонтана металлоконструкции в зоне воздействия пламени теряют несущую способность, деформируются и загромождают устье скважины искореженными конструкциями весом более 100 т.

Температура пламени и плотность теплового потока являются основными теплофизическими параметрами горящего фонтана. Температура пламени зависит от состава фонтанирующего вещества. Характерным для нефтяных и газовых фонтанов является то, что температура быстро, в течение нескольких минут, стабилизируется и достигает порядка 1200–1500 °С.

Величина тепловых потоков зависит:

- от температуры пламени;
- дебита скважины;
- вида струи фонтана;
- состава фонтанирующего вещества;
- расстояния до факела пламени;
- расположения пламени над уровнем земли;
- направления и скорости ветра.

Без специального теплозащитного снаряжения личный состав может работать в зоне, плотность теплового потока которой не превышает 6 кал/(см²·мин). В данных условиях личный состав может работать в боевой одежде и в касках с защитными щитками.

При использовании специального теплозащитного снаряжения, предварительно смоченного водой, и под защитой распыленных водяных струй личный состав может недолго, в пределах 5 мин, работать в зоне с плотностью теплового потока до 20 кал/(см²·мин). Защищенная войлоком или другим теплоизоляционным материалом, а также теплоотражательными экранами техника при непрерывном орошении водяными струями может работать в данной зоне в течение 5–10 мин.

Для оперативной ликвидации пожара необходимо срезать фланец трубы и заглушить газонефтяной фонтан. В сложившейся обстановке все, что могут сделать спасательные подразделения, — это дожидаться полного выгорания горючего вещества и только после этого приступить к аварийно-восстановительным работам. Однако применение лазерной установки существенно облегчило бы и ускорило процесс тушения.

Пожары в резервуарах и резервуарных парках влекут за собой человеческие жертвы, причинение материального ущерба и нанесение вреда экологической среде.

Анализ сценариев возникновения аварий в резервуарных парках показал, что наиболее опасным является полное разрушение вертикального стального резервуара (РВС). В результате происходит его полная разгерметизация, взрыв паровоздушной смеси внутри, пролив горящих нефтепродуктов, тепловое воздействие горящего пролива на рядом стоящие РВС. Данный сценарий возникает вследствие разрушения стенок РВС по причине их интенсивного прогрева, старения и воздействия коррозии на конструктивные элементы.

Некоторые стационарные системы противопожарной защиты резервуаров имеют ряд недостатков. Так, у стационарной автоматической системы пожаротушения, которая представляет собой генераторы пены средней и низкой кратности, расположенные на сухих трубопроводах внутри РВС, при возникновении горения зеркала нефти (или нефтепродуктов), происходит разрушение сеток пеногенераторов, в результате чего она работает неэффективно. У системы охлаждения РВС «Кольца орошения», состоящей из кольцевого трубопровода (на котором расположены оросители), при воздействии таких факторов, как температурное воздействие и ударная волна, трубопровод деформируется, возникает разрыв трубопровода, нарушение его геометрии.

По статистике, тушение пожаров в резервуарном парке во многих случаях занимает от 2 ч до 5 сут. Пожары в резервуарах обычно предваряются

кипением жидкости и повышением избыточного давления в объеме резервуара, после чего происходит взрыв паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара. Взрыв сопровождается срывом крыши и нарушением целостности ее отдельных элементов. Стены вертикальных стальных резервуаров состоят из металлических листов, как правило, размером 1,5 × 4 м. Толщина резервуара колеблется в пределах от 6 мм (РВС-1000) до 25 мм (РВС-120000) с учетом вместимости резервуара. Толщина верхнего пояса составляет от 4 до 15 мм [12].

Вследствие взрыва искореженные металлические конструкции лежат вокруг резервуара, преграждая доступ специальной технике, которая подает огнетушащие вещества. С развитием пожара горящие емкости мощного теплового излучения (порядка 1000 °С) и пламя высотой более 40 м не позволяют пожарным приблизиться к резервуарам. Опасность обрушения металлических конструкций резервуара и отсутствие средств защиты, способных выдержать указанную температуру в течение определенного времени, усложняют работу пожарных — подачу средств пожаротушения для охлаждения несущих конструкций.

Для ликвидации чрезвычайных ситуаций пожарные подразделения задействуют достаточно сил и средств, чтобы провести пенную атаку. Им необходимо получить запас пенообразователя для тушения резервуара. Для этого требуется снизить давление, проделав отверстия. В настоящее время для проведения такой процедуры применяют механические средства (гидравлические инструменты). При этом подвергаются риску здоровье и жизнь личного состава. В подобных ситуациях целесообразно применять лазерную установку для сбрасывания давления и оттока жидкости в обвалование или в другое безопасное место путем срезания отверстия [12–13].

Выводы

Основное применение лазерных систем заключается в дистанционной резке различных конструкций в условиях чрезвычайных ситуаций. Лазерные технологии обладают рядом преимуществ, начиная от скорости выполнения работ и заканчивая возможностью удаленного применения, что позволяет обеспечить безопасность пожарным и спасателям. Внедрение лазерных систем в аварийно-спасательные работы в зоне чрезвычайных ситуаций является актуальным направлением и требует дальнейших исследований.

Литература/References

1. Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». [Decree of the President of the Russian Federation dated December 31, 2015 No. 683 «On the National Security Strategy of the Russian Federation». (In Russ.)].
2. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 29.12.2022) «О пожарной безопасности». [Federal Law No. 69-FZ dated 12/21/1994 (as amended on 12/29/2022) «On Fire Safety». (In Russ.)].
3. Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737 «Об утверждении руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий». [The Order of the Ministry

- of Emergency Situations of Russia dated 01.10.2020 No. 737 «On approval of the guidelines for the organization of material and technical support of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and elimination of consequences of natural disasters». (In Russ.).
4. Физика лазеров, лазерные технологии и методы математического моделирования лазерного воздействия на вещество. Сост. Е.В. Харанжевский, М.Д. Кривилев. Ижевск: Удмуртский университет, 2011: 187. [Laser physics, laser technologies and methods of mathematical modeling of laser action on matter. Comp. E.V. Kharanzhevsky, M.D. Krivilev. Izhevsk: Udmurt University, 2011: 187. (In Russ.).]
 5. Физика лазеров: учебное пособие. Сост. В.С. Айрапетян, О.К. Ушаков. Новосибирск: СГА, 2012: 134. [Physics of lasers: a textbook. Comp. V.S. Hayrapetyan, O.K. Ushakov. Novosibirsk: SGGa, 2012: 134. (In Russ.).]
 6. Сюй А.В. Лазерные технологии в науке и технике. Бюллетень научных сообщений. Хабаровск. Дальневосточный государственный университет путей сообщения. 2015; 20: 55–64. [Xu A.V. Laser technologies in science and technology. Bulletin of scientific communications. Khabarovsk. Far Eastern State University of Railway Engineering. 2015; 20: 55–64. (In Russ.).]
 7. Кебнер Г. (ред.) Промышленное применение лазеров. Пер. с англ. А.Л. Смирнова; под ред. И.В. Зуева. М.: Машиностроение, 1988: 280. [Kebner G. (ed.) Industrial application of lasers. Trans. from English. A.L. Smirnov, edited by I.V. Zuev. Moscow: Mechanical Engineering, 1988: 280. (In Russ.).]
 8. Борейшо В.А., Клочков Д.В., Коняев М.А. и соавт. Военные применения лазеров: учебное пособие. СПб., 2015: 103. [Boreysho V.A., Klochkov D.V., Konyayev M.A. et al. Military applications of lasers: a tutorial. St. Petersburg, 2015: 103. (In Russ.).]
 9. Бучельников Д.Ю., Бучельников С.Ю. Тушение пожаров на объектах с наличием взрывчатых веществ и материалов: учебно-методическое пособие по дисциплине «Пожарная тактика». Екатеринбург, 2002: 64. [Buchelnikov D.Yu., Buchelnikov S.Yu.. Extinguishing fires at sites with explosives and materials: a training manual for the discipline «Fire Tactics». Ekaterinburg, 2002: 64. (In Russ.).]
 10. Аскарьян Г.А., Карлова Е.К., Петров Р.П. и соавт. Действие мощного лазерного луча на поверхность воды с пленкой жидкости: селективное испарение, выжигание и выбрызгивание слоя, покрывающего поверхность воды. Письма в ЖЭТФ. 1973; 11 (18). [Askaryan G.A., Karlova E.K., Petrov R.P. et al. The effect of a powerful laser beam on the surface of water with a liquid film: selective evaporation, burning and spraying of the layer covering the surface of the water. Letters to the ZhET F. 1973; 11 (18). (In Russ.).]
 11. Сашурин А.Д., Мельник В.В., Усанов С.В. и соавт. Проблемы безопасности при ликвидации горнодобывающих предприятий. Проблемы недропользования. 2014; 3 (3): 60–65. [Sashurin A.D., Melnik V.V., Usanov S.V. et al. Safety problems during the liquidation of mining enterprises. Problems of subsoil use. 2014; 3 (3): 60–65. (In Russ.).]
 12. Мерициди И.А. и соавт. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Справочник. СПб.: НПО «Профессионал», 2008: 432–446. [Meritsidi I.A. et al. Equipment and technologies for localization and liquidation of emergency spills of oil and petroleum products: Handbook. St. Petersburg: NPO «Professional», 2008: 432–446. (In Russ.).]
 13. Двоенко О.В., Халиков Р.В., Сергеенкова Н.А. и соавт. Анализ пожаров и аварий на территории объектов нефтегазового комплекса. Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны в Год 90-летия со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5 ч. Москва, 01 марта 2023 года Ч. III. Москва: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023: 205–210. [Dvoenko O.V., Khalikov R.V., Sergeenkova N.A. et al. Analysis of fires and accidents on the territory of oil and gas complex facilities. Civil defense to guard peace and security: Materials of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to World Civil Defense Day in the Year of the 90th anniversary of the formation of the State Fire Service Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia. In 5 parts. Moscow, March 01, 2023 Part III. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, 2023: 205–210. (In Russ.).]

Вклад авторов. А.А. Копылов, В.П. Спиридонов, К.А. Лобода: разработка исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.
Authors contributions. A.A. Kopylov, V.P. Spiridonov, K.A. Loboda: research development, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 15.01.2024.

Принята к публикации: 29.02.2024.

Article received: 15.01.2024.

Accepted for publication: 29.02.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Копылов Андрей Александрович, к.соц.н., полковник внутренней службы, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.

Спиридонов Валерий Петрович, к.т.н., профессор кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.

Лобода Константин Александрович, генеральный директор ООО «Электростекло». Адрес: ул. 26-ти Бакинских комиссаров, 5, г. Москва, 119571, Россия.

* Академия государственной противопожарной службы МЧС России. Адрес: ул. Б. Галушкина, 4, г. Москва, Россия, 129366. Телефон: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygpps.ru.

AUTHORS INFORMATION

Kopylov Andrey Aleksandrovich, PhD in Sociological Sciences, Colonel of the Internal Service, Associate Professor of the Department of Engineering Thermal Physics and Hydraulics*.
Spiridonov Valery Petrovich, PhD in Engineering Sciences, Professor of the Department of Engineering Thermal Physics and Hydraulics*.

Loboda Konstantin Aleksandrovich, CEO of Elektrosteklo LLC. Address: 26 Bakinskikh Komissarov St., 5, Moscow, 119571, Russia.

* Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia. Address: B. Galushkina St., 4, Moscow, 129366 Russia. Phone: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygpps.ru.



Российская
Энергетическая
Неделя 2024



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ

 **РОСКОНГРЕСС**
Пространство доверия

26-28 сентября
Москва,
ЦВЗ «Манеж»



rusenergyweek.com

Реклама 6+

ТЕПЛО и ЭНЕРГЕТИКА
HEAT & ELECTRO

29-31.10.2024

Москва | ЦВК «Экспоцентр» | Павильон №1

Международная выставка
энергетического оборудования для
теплоснабжения и электрогенерации
на промышленных предприятиях
и муниципальных объектах



heatelectro.ru

Россия

Уфа Республика
Башкортостан



РОССИЙСКИЙ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИЙ ФОРУМ

32-я международная выставка
ГАЗ. НЕФТЬ. ТЕХНОЛОГИИ
21-24 мая 2024 года

www.gntexpo.ru

+7 (347) 246-41-77 gasoil@bvkexpo.ru

[gazneftufa](https://t.me/gazneftufa) [gntexpo2022](https://vk.com/gntexpo2022)

ВКЭКСПО Менделеева, 158



ОРГАНИЗАТОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РЕСПУБЛИКИ
БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

ТРАДИЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

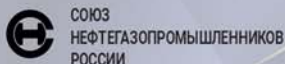


МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ РФ

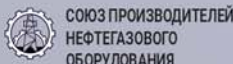
ТРАДИЦИОННОЕ СОДЕЙСТВИЕ



СОЮЗ
НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННИКОВ
РОССИИ



АССОЦИАЦИЯ
НЕФТЕПЕРЕРАБОТЧИКОВ И НЕФТЕХИМИКОВ



СОЮЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
НЕФТЕГАЗОВОГО
ОБОРУДОВАНИЯ



ЕНАА
НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

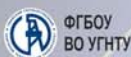


ЕНАА
НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА



ЭНЕРГОИННОВАЦИЯ
АССОЦИАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

НАУЧНАЯ ПОДДЕРЖКА



ФГБОУ
ВО УГНТУ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР



Media02