

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО
ИНФРАСТРУКТУРА
КОММУНИКАЦИИ**

Выпуск № 4(33) 2023

**ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЬИ
ОБРАЩАТЬСЯ
В РЕДАКЦИЮ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84;

тел.: +7(473)2-71-53-21;

e-mail: gik_vgasu@mail.ru.

Ознакомиться с *электронной версией журнала* можно на сайте:

[http:// journal-gik.wmsite.ru](http://journal-gik.wmsite.ru)



Ознакомиться с *полнотекстовой версией журнала* можно на сайте
Российской универсальной научной электронной библиотеки:

<http://www.elibrary.ru>



ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРА КОММУНИКАЦИИ

Выпуск № 4(33)

Декабрь, 2023

- ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
- ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
- АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
- ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ
- ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ
- ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
- ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
- ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
- СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
- ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

Воронеж



Издается с 2015 года

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРА КОММУНИКАЦИИ

Научный журнал

Выходит 1 раз в квартал

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». Территория распространения - Российская Федерация.

Статьи рецензируются, проверяются в программе «Антиплагиат» и регистрируются в **Российском индексе научного цитирования**. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: **Колосов А. И.**, канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет

**Заместители
главного редактора:** **Скляров К. А.**, канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет
Тульская С. Г., канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет

Бондарев Б.А., д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет

Енин А.Е., канд. архитектуры, доц., Воронежский государственный технический университет

Осипова Н.Н., д-р техн. наук, доц., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

Зубков А.Ф., д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет

Калгин Ю.И., д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

Капустин П.В., канд. архитектуры, доц., Воронежский государственный технический университет

Козлов В.А., д-р физ.-мат. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

Куцыгина О.А., д-р техн. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

Кушев Л.А., д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Леденев В.И., д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет

Лобода А.В., д-р физ.-мат. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

Подольский Вл.П., д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

Самодурова Т.В., д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

Чесноков Г.А., канд. архитектуры, доц., Воронежский государственный технический университет

Редактор: *Петрикеева Н. А.* Отв. секретарь: *Аралов Е. С.* Дизайн обложки: *Чуйкина А. А.*

Дата выхода в свет 25.12.2023. Усл. печ. л. 5,5. Формат 60×84/8. Тираж 35 экз. Заказ № 409.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-68664

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Цена свободная

АДРЕС УЧРЕДИТЕЛЯ И ИЗДАТЕЛЯ: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84;

тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: gik_vgasu@mail.ru

ОТПЕЧАТАНО: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	6
<i>Голядкина А. Д.</i> Проблемы оптимальной эксплуатации ветровых станций	6
<i>Буев Д. Ю., Чудинов Д. М., Петрикеев А. Д.</i> Нормирование теплопотерь в современных зданиях.....	11
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	17
<i>Голядкина А. Д., Субботин Д. П., Красникова А. Н., Бугаевский Д. О.</i> Цифровые двойники в строительстве.....	17
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	22
<i>Алексеева К. В., Колосов А. И., Петрикеева Н. А.</i> Перспективы развития Госкорпорации Росатом в условиях санкций.....	22
ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)	31
<i>Ермоленко Д. В., Мартыненко О. М., Петрикеева Н. А.</i> Развитие гидравлического удара в трубопроводных системах	31
<i>Кратько А. А., Кумаков Р. А.</i> Система безопасности бассейна выдержки.....	36
<i>Каракаш Н. С., Скляров К. А., Тульская С. Г.</i> Системы безопасности атомных электростанций	41
ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ	46

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.311.24

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОВЫХ СТАНЦИЙ

А. Д. Голядкина

*Воронежский государственный технический университет**А. Д. Голядкина, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(908)135-14-43, e-mail: nutagolyadkina@mail.ru*

Постановка задачи. Ежегодно во всем мире наблюдается тенденция по увеличению стоимости энергоресурсов. Ограниченность запасов традиционных видов топлив заставляет задумываться об их экономии и искать новые источники энергии. Ветровая энергетика получила достаточно широкое распространение, но наряду с очевидными преимуществами необходимо всесторонне рассмотреть и негативные стороны использования.

Результаты. Исследуется проблема воздействия ветровой электростанции на окружающую среду и методы оптимизации использования возобновляемых источников энергии.

Выводы. Проблема оптимальной эксплуатации возобновляемых источников стоит довольно остро, так как их использование достаточно негативно может сказываться на экологической составляющей. Решение затронутых в работе задач является первостепенным и их решение значительно повысит их конкурентоспособность.

Ключевые слова: ветровая электростанция, вибрация, шум, утилизация, возобновляемые ресурсы.

Введение. Растущие темпы инновационного технологического развития заставляют человечество выходить на поиски новых альтернативных ресурсных источников, способных покрывать все потребности людей в энергии. Одним из передовых решений является использование возобновляемых источников энергии, которые уже сейчас являются вспомогательным ресурсом для местностей, где инженерные решения по предоставлению электроэнергетики от традиционных источников является затруднительным [1, 2].

Самыми действенными методами в настоящее время являются использование энергии воды и ветра. Достоинствами использования возобновляемых источников энергии является их неисчерпаемость, экономичность, экологичность и доступность.

1. Недостатки при использовании ветроэнергетических установок (ВЭУ). Любое использование энергии кроме очевидных достоинств имеет последствия и в данной статье будут рассмотрены воздействия на примере ветроэлектрических станций (рис.1). Это один из популярных способов использования возобновляемых ресурсов. В мировой практике отказ от активного использования углеводородов и обращение к ветровой энергетике является масштабной реформой экономики страны, решающей проблему энергетической независимости и экологической безопасности принадлежащих странам территорий.

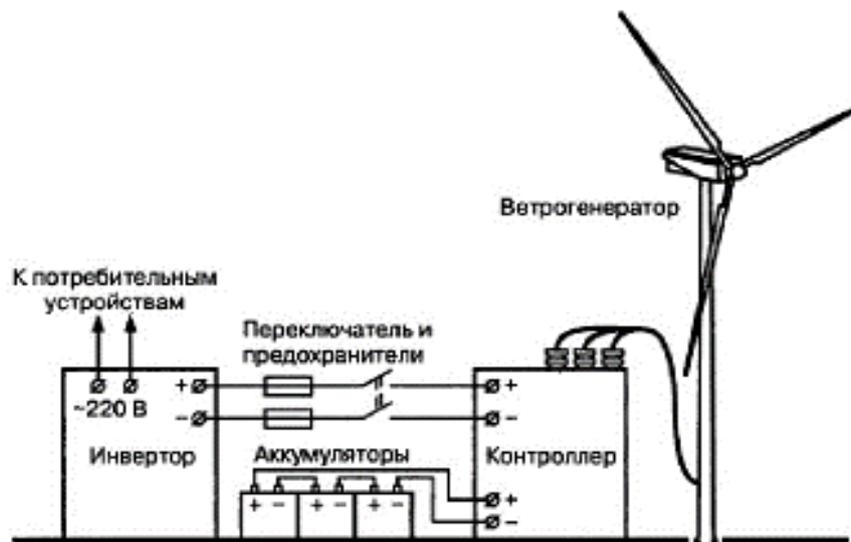


Рис.1. Схема элементов ветроэнергетической установки [2]

По данным Глобального совета по ветровой энергии (GWEC) к 2024 году альтернативная энергетика займет 40 % общей выработки энергии [3, 4]. За 2021 год в России введены и работают 1162 единиц ветроэлектрических установок (ВЭУ) с суммарной мощностью 2044 МВт. На долю ветровой энергетики в России приходится 0,32 %. Использование такого вида возобновляемой энергии затруднено из-за локальной привязанности к территориям, преимущественно являющихся приморскими местностями [1].

Несмотря на достоинства использования ветра как источника энергии, такого вида электростанции имеют ряд значительных недостатков, негативно влияющих на окружающую среду [4, 5]:

1. Обширность занимаемых станциями территорий, что не позволяет использовать максимальный потенциал отчуждаемых земель. Ветровые электростанции для производства 1 МВт номинальной мощности занимают 0,1 км² территории, а это означает, что ветровые электрические станции мощностью до 200 МВт требуют 20 км² территории.

2. Шумы, исходящие от вращающихся частей ВЭУ, механических приводов, турбин и аэродинамических потоков являются вредным технологическим фактором, имеющим негативное влияние на окружающую среду, в том числе и человека, приводя к психофизическим расстройствам. Его можно разделить на механическую и аэродинамическую составляющие.

3. Вибрации, передаваемые от установок почве, негативно влияют на фауну, вытесняя ореолы из естественных сред обитания.

4. Нарушение естественного природного ландшафта требованием высотных размещений ветровых станций, которое может провоцировать обвалочные оползневые движения почв массивов. Также станции влияют на эстетическую составляющую территорий, что, конечно, не особо критично.

5. Ветровые станции являются источником радио- и телевизионных помех. Тело станции отражает поток радиоволн и искажает диапазон СВЧ-волн, что негативно влияет на качество связи и может нарушать работу навигации самолетов.

6. Влияние ВЭУ отражается на морских животных. При эксплуатации ВЭУ, приближенных к морским побережьям, передача электрической энергии по подводным кабелям за счет создаваемого напряжения электрического и магнитного полей отпугивает морских животных и рыб. Сама кабельная линия становится препятствием для миграции.

Механические части ВЭУ становятся опасными и для наземных животных, таких как птицы, летучие мыши и насекомые. Несмотря на естественную защиту и быструю ориентацию диких животных, многие из них при столкновении не справляются с сильными воздушными потоками и гибнут под механическими лопастями, которые имеют скорость около 280 км/ч (рис.2). На территории США, где ветровая энергетика получила широкое распространение, ежегодно гибнет около 100000 особей в год, а также многие стаи птиц вынуждены менять пути миграции, что приводит к оскудению существующих на территории ореолов.



Рис.2. Фото гибели птиц от лопастей ВЭУ, архив Национального университета Сингапура [4]

7. Сложный этап утилизации конструктивных элементов ВЭУ является важнейшей проблемой для обеспечения безопасности окружающей среды.

Средний срок эксплуатации ВЭУ составляет 20–25 лет и на 2022 год требуется вывод и замена деталей первых электростанций. Проблема заключается в невозможности переработки и утилизации лопастей, вышедших из строя, и обновления турбин ветровых установок до более высоких мощностей. Они выполнены из композитных материалов, предназначенных для длительного использования, таких как армированные (стеклянные или углеродные) волокна, полимерные матрицы, пластик [6–8].

2. Проблемы оптимальной эксплуатации ветровых станций. Возможные решение данных проблем эксплуатации ВЭУ:

1. Для уменьшения занимаемой территории ветровыми электрическими установками можно использовать вертикально-осевые ветрогенераторы, которые занимают меньше места, сохраняя при этом высокую эффективность.

Вертикально-осевые ветрогенераторы более устойчивы к изменениям направления ветра и могут работать при более низкой скорости ветра. Кроме того, для уменьшения занимаемой территории можно использовать многороторные ВЭУ (рис.3), которые объединяют несколько генераторов на одной опоре.

2. Для уменьшения шума от ветровых электрических установок можно использовать более совершенные конструкции, создающие меньший шум.

Современные конструкции ВЭУ включают в себя специальные звукопоглощающие материалы и системы шумоподавления. Также для уменьшения шума станции можно размещать на расстоянии не менее 500 м от жилых домов [9, 10].

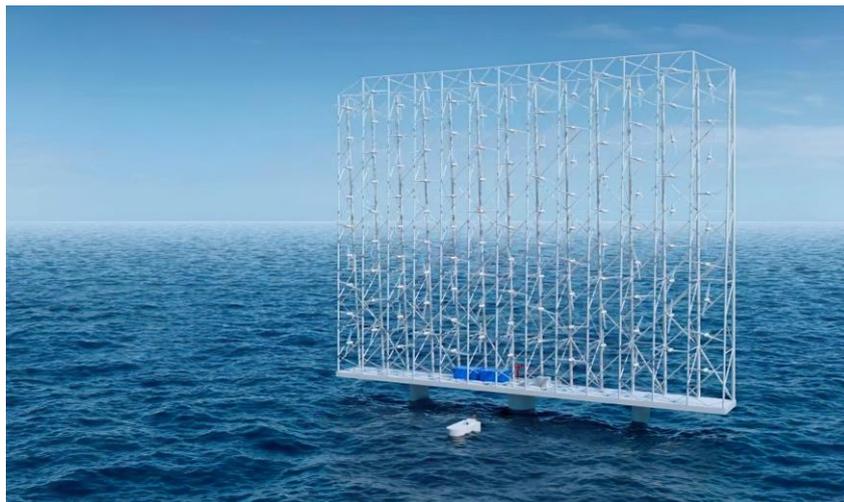


Рис.3. Многороторные ветровые электроустановки

3. Для уменьшения вибраций от ветровых электрических установок возможно применение более совершенные конструкции, создающие их меньшие значения. Конструкции ВЭУ включают в себя системы амортизации и уменьшения вибраций. Станции ВЭУ для меньшего воздействия рекомендуется размещать на расстоянии не менее 1 км от мест обитания животных.

4. Для уменьшения нарушения естественного природного ландшафта можно использовать более компактные конструкции, занимающие меньше места, а также проводить работы по восстановлению природной среды вокруг станций. Также можно выбирать для размещения ВЭУ места с низкой плодородностью почв.

5. Для уменьшения радио- и телевизионных помех от ветровых электрических установок в конструкции современных ВЭУ используют специальные экранирующие материалы и размещают их на расстоянии не менее 2 км от объектов связи и навигации.

6. Для уменьшения влияния ВЭУ на морских животных конструкции ВЭУ включают в себя системы уменьшения электрических и магнитных полей, а также системы амортизации и уменьшения шума и вибраций. Кроме того, станции можно размещать на расстоянии не менее 5 км от морских побережий.

7. Для утилизации конструктивных элементов ВЭУ можно использовать экологически чистые материалы для их производства, а также разрабатывать специальные технологии для их переработки и утилизации.

И конечно же нельзя не упомянуть использование комбинированных установок, таких как ветродизельные комплексы (ВДК). Совместная работа ВЭУ и двигательной генерации (ДЭС) являются наиболее оптимальным вариантом в паре основной источник – резерв при необходимости. Конечно в работе мы анализировали нюансы при эксплуатации только ветроэнергетической установки. Если в системе появляется еще и двигательный генератор, то добавятся еще свои преимущества и недостатки. Одним из таких нюансов будет срок окупаемости такой установки и текущие затраты на эксплуатацию, так любая двигательная система требует затрат на топливо. Затраты на установку ВДК проиллюстрированы на рис.4. На графике хорошо заметно преимущество чистых ВЭУ с течением всего срока эксплуатации [5, 11].

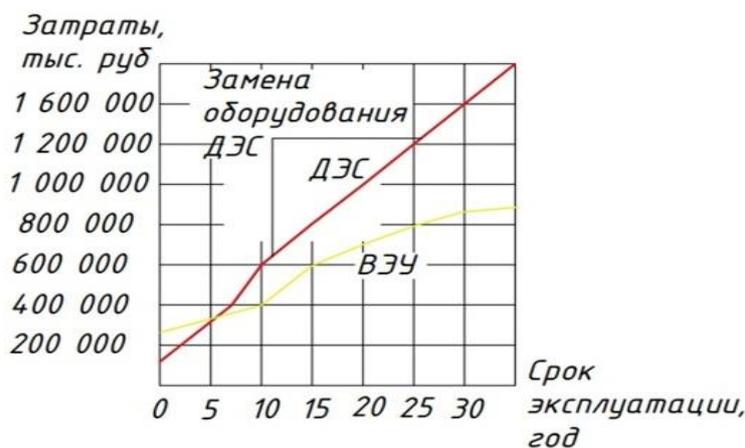


Рис.4. Примерные затраты на комбинированную установку [5]

Выводы. В настоящее время решение приведенных выше проблем является кратчайшим путем к энергетике возобновляемых источников. Окрашивание лопастей в темные цвета, поиск новых материалов для конструкций, шумо- и виброизоляторы являются начальными идеями для улучшения ВЭУ. Альтернативная энергетика является все более привычным методом воспроизведения выгодной энергии, а растущая популярность такого оборудования для частных пользователей и небольших установок для общеуличного электроснабжения в небольших населенных пунктах является тому доказательством. Если учесть вышеобозначенные недостатки, то ВЭУ будут неплохой альтернативой ТЭЦ.

Библиографический список

1. Атласы ветрового и солнечного климатов России / под ред. М.М. Борисенко // СПб., 1997. 56 с.
 2. Неижмак А.Н., Расторгуев И.П. Методика оценки климатического потенциала солнечной и ветровой энергии // Гелиогеофизические исследования. 2014. № 9. С. 150–160.
 3. Выбор оптимального геотермального контура для частного дома, находящегося в Воронежской области / Г.Н. Мартыненко, Н.А. Петрикеева, А.А. Высоцкая, Д.Д. Еремеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. № 1 (22). С. 22–28.
 4. Оценка конкурентной способности геосистемы гостиницы в Воронежской области / Н.М. Попова, Д.М. Чудинов, О.А. Сотникова, Н.А. Петрикеева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2021. № 3 (18). С. 97–105.
 5. Пути повышения эффективности работы возобновляемых источников энергии / А.И. Коровкина, А.И. Калинина, А.А. Тагайчинова, А.Д. Голядкина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. №1(22). С. 10–15.
 6. Говорушко С.М. Воздействие ветровых электростанций на окружающую среду [Электронный ресурс] // Тихоокеанский институт географии ДВО. 2011. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-vetrovyh-elektrostantsiy-na-okruzhayuschuyu-sredu/viewer> (дата обращения: 30.04.2011).
 7. Особенности ветроэнергетических установок: достоинства и недостатки оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://energo.house/veter/vetroenergeticheskie-ustanovki.html> (дата обращения: 08.03.2021).
 8. Толмачев В.Н., Мельников В.А., Саенко С.С. Анализ опыта создания ветродизельного комплекса для энергоснабжения автономных объектов // Электропитание: науч.-техн. сб. 2003. № 5. С. 13–17.
 9. Расчет некоторых аэродинамических параметров для г. Воронеж / К.О. Покусаева, Н.А. Петрикеева, Д.М. Чудинов, Д.Н. Корниенко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2020. № 2 (19). С. 17–24.
 10. Кожухов Р.О., Петрикеева Н.А. Экологические аспекты при передаче высоковольтной электрической энергии // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2015. № 2 (19). С. 47–51.
 11. Особенности ветроэнергетических установок: достоинства и недостатки оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://energo.house/veter/vetroenergeticheskie-ustanovki.html> (дата обращения: 08.03.2021).
- Для цитирования: Голядкина А.Д. Проблемы оптимальной эксплуатации ветровых станций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. № 4 (33). С. 6–10.

УДК 697.1

НОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ В СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Д. Ю. Бувев, Д. М. Чудинов, А. Д. Петрикеев

*Воронежский государственный технический университет**Д. Ю. Бувев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)200-10-45, e-mail: 89204549003d@gmail.com**Д. М. Чудинов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(951)549-19-57, e-mail: dmch_@mail.ru**А. Д. Петрикеев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(908)137-23-33, e-mail: petrikeefff@gmail.com*

Постановка задачи. Нормирование теплопотерь зданий является актуальной задачей, влияющей на экономическую составляющую производства в целом. Увеличение стоимости энергоресурсов и мощность системы отопления находятся в тесной зависимости друг от друга. Все это влияет на общий комфорт и технико-экономические показатели системы, что в конечном итоге сказывается на потребителе.

Результаты. В работе проанализированы основные принципы энергоэффективности при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, произведен анализ теплопотерь. Выявлены пути оптимизации данного процесса.

Выводы. При соблюдении норм и правил можно существенно снизить энергопотребление здания, что позволит сократить возможные экономические потери и приведет к оптимизации всех систем жизнеобеспечения.

Ключевые слова: теплопотери, оболочка здания, термическое сопротивление, нормирование.

Введение. В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция по увеличению стоимости энергоресурсов. От выбора энергоресурса и систем жизнеобеспечения, например, системы теплоснабжения зависит в целом конкурентоспособность предприятия на рынке выпускаемой продукции, что влечет за собой изменение себестоимости выпускаемой продукции. Все счета, которые оплачивает предприятие, в том числе за теплоснабжение, электроснабжение в конечном итоге входят в себестоимость конечной продукции.

В условиях наступающего кризиса нехватки квалифицированных кадров, высокой стоимости обучения, работник, производящий продукцию в комфортных для себя условиях, будет более производителен, чем работник, производящий продукцию в некомфортных условиях (холод или жара), будет меньше вероятность его ухода на больничный лист и вообще потеря его по причине профзаболевания или инвалидности, приобретенной по месту работы. Благодаря оптимальному потреблению энергоносителей, мы придем и к рациональному использованию природных ресурсов, что уменьшит вредоносное воздействие на экологию. В современных условиях, промышленное здание должно быть быстровозводимым (чтобы своевременно выйти на рынок с продукцией, на которую есть спрос), построенное с оптимальными затратами, но в тоже время долговечным и энергоэффективным [1]. В 2009 году Государственной Думой был принят закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ». Настоящий закон регулирует отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности объектов в целом.

1. Основные принципы энергоэффективности. Требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений должны включать в себя:

1) показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении;

2) требования к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;

3) требования к отдельным элементам, конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам, к используемым в них устройствам и технологиям, а также требования к включаемым в проектную документацию и применяемым при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений технологиям и материалам, позволяющие исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта зданий, строений, сооружений, так и в процессе их эксплуатации.

Данными принципами застройщики обязаны обеспечить соответствие зданий, строений, сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов [2, 3]. Данное соответствие фиксируется органом государственного строительного надзора.

2. Анализ теплопотерь. Теплопотери – общее количество тепла, теряемое данным помещением в единицу времени через ограждающие конструкции. Это необходимая процедура, которая позволяет оценивать эффективность объекта и в конечном итоге экономить денежные средства. Расчет теплопотерь необходим для последующего подбора оборудования для отопительных систем и расчета источников отопления, конструктивных особенностей здания. Таким образом, если постараться, то можно снизить затраты на отопление вдвое [4].

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций – это совокупность мер и действий, предназначенных для определения соответствия ограждающих конструкций современным нормам по тепловой защите здания и сооружения. В современных условиях это означает соответствие стандартам СНиП 23-02-2003 (актуализированная версия СП 50.13330.2012). Такие расчеты производят потому, что при длительном сроке эксплуатации запланированные расходы на отопление могут значительно превышать расходы на строительство и материалы. Поэтому необходимо проверить соответствие нормативам, что аргументируется экономической выгодой. Если не проводить такой расчет, последствия могут быть плачевными: образование грибка, сырости, постоянное образование конденсата, это все приводит к дополнительным расходам на ремонт.

У любого потребления энергии есть два основных критерия: пиковая мощность и общий расход за сезон. Для конечного расчета предприятию не особо важен класс энергоэффективности, потребителю интересны теплопотери, переведенные в эквивалент рубля [5].

В первую очередь энергопотери здания – это его оболочка: крыша, стены, оконные проемы, полы, а также вентиляция (приточный воздух надо подогреть), горячее водоснабжение, приготовление пищи, бытовые потребности, например, освещение и т.д. (рис.1). Через оболочку теряется от 20 до 80 % общего потребления энергии.

Под оболочкой здания понимаются тип и конструкция полов; структура и материал стен; конструкция, отделка и материал кровли или межэтажного перекрытия. За основу проекта необходимо принимать рекомендации и требования к конструкциям и материалам согласно СНиП, СП и ГОСТ [6, 7].

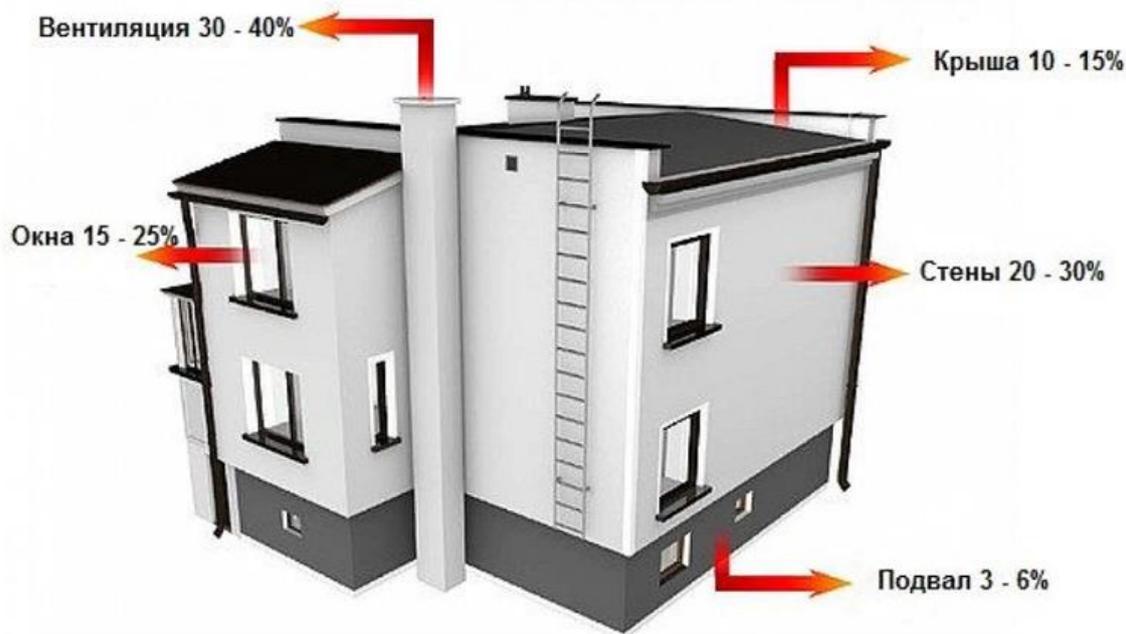


Рис. 1. Потери тепла дома, построенного по традиционным технологиям

Для расчета теплотерь оболочки необходимо:

- подсчет площади каждой поверхности помещения;
- значение коэффициента теплопроводности материалов и толщины слоев (это исходные данные для получения значения сопротивления теплопередаче);
- сопротивления теплопередаче всех конструкций;
- оценка теплотерь;
- сравнение полученных данных с нормативными значениями;
- получение теплозащитной характеристики здания.

Погрешность для проектирования частных домов составляет около 10 %. Более высокая точность нужна при защите крупных проектов или для получения сертификата Пассивного дома – это дома со сверхнизким потреблением энергии [8].

Руководствуются сводом правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях». Есть еще одна методика расчета площадей – это методика института пассивного дома, она, в свою очередь, более удобна и проще для практических целей. В нем площадь стен, потолка и пола берется по наружным обмерам здания, что более практический подход. Для правильного расчета теплотерь нам необходимы габариты каждой стены. Выбираем также ориентацию по сторонам света, что влияет на теплотери. Для полной картины нужно учесть размер дверей и окон, а также их количество [9].

В российском нормативном поле есть приложение Т в СП 50.13330. 2012 со значениями теплопроводности для ряда материалов. Мы используем столбец Б, он подходит для большинства регионов России.

Есть также европейский справочник EN 10456 «Тепловлажностные характеристики материалов» и EN 1745 «Тепловлажностные характеристики каменной кладки» для частных домов. В европейском справочнике приведены на 20 % более оптимистичные данные для популярных материалов.

Для оценки теплопроводности материалов можно использовать экспресс-данные для материалов, которые уже в конструкции, то есть с учетом крепежа, откосов, углов и прочих неоднородностей. В ней приведены приблизительные теплопотери для учета линейных и точечных неоднородностей.

Зная толщины слоев, мы можем рассчитать условное сопротивление слоев, это сумма термического сопротивления слоев с добавлением сопротивления теплообмена на поверхности стены. Приведенное сопротивление теплопередаче учитывает дополнительные теплопотери через неоднородности. Физический смысл заключается в том, на сколько конструкция эффективно сопротивляется прохождению через него теплового потока.

Если у нас нижнее перекрытие поднято только на винтовых сваях, то мы учитываем только коэффициент теплопередачи слоя изоляции. Если есть еще цокольный этаж, то это выступает неплохим буфером к подсчету теплопотерь для первого этажа, даже если он и неотапливаемый. Если мы делаем полы по грунту, то теплопотери будут ниже, чем в случае с винтовыми сваями, но больше, чем в случае с цокольным этажом. В этом случае выделяются разные зоны в зданиях [10, 11].

Одна из важных характеристик – в СП 50.13330 существует термин «удельная теплозащита характеристика здания». Это количество теплоты равное потерям тепловой энергии, проходящей через термическую оболочку здания за единицу времени при перепаде температур в 1 градус Цельсия. Она нужна для сравнения теплозащитных характеристик отдельного материала к единице объема отапливаемого здания. В расчете теплопотерь участвует характеристика стен и сопротивление.

3. Теплопотери на вентиляцию. Для расчета теплопотерь на вентиляцию необходимо определить из чего складывается потребление энергии вообще. Данные для расчета:

- расход воздуха (кратность воздухообмена и подушевая потребность в приточном воздухе);
- герметичность;
- энергоемкость вентиляции;
- вентиляционная характеристика (получается из энергоемкости).

У потребления энергии есть два режима: мощность (пиковое потребление, кВт) и среднее количество, потребляемое за сезон (кВт/ч). Итогом расчета является корректировка мощности системы отопления.

В СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» для жилых зданий при общей площади квартиры на человека более 20 м², необходимо обеспечить минимум 30 м³/ч на человека естественной вентиляции и 45 м³/ч на человека при приточно-вытяжной установке (с механическим побуждением). В случае, если площадь здания значительна, то придется обеспечить 1/3 часть площади воздухообмена в час на одного человека, то есть весь воздух внутри помещения должен полностью меняться за 3 часа. Эта цифра взята из расчета полимеризующихся мономеров и олигомеров, выбрасывающихся в воздух из химически обработанных или выполненных предметов, например, сиденья дивана, различные изделия из ПВХ и т.д. Для этих веществ существует предельно-допустимая величина концентрации.

В европейском нормативном поле по стандартам Пассивного дома, разработанным еще в 1988 году, в основу положено большинство европейских нормативных документов. Это был в свое время революционный способ стандартизировать здания и параметры микроклимата в них. В этом документе гласится, что средний расход приточного воздуха в доме составляет 20-30 м³/ч на человека, а минимальная кратность воздухообмена 0,30 для внутреннего объема воздуха, рассчитываемого как энергозависимая (отапливаемая) площадь на 2,5 м высоты помещения. Используемый массовый расход воздуха должен

соответствовать фактическим величинам согласно системам регулирования. Этот прием позволяет сэкономить затраты на электроэнергию [12].

Инфильтрация – проникновение воздуха в помещение, обусловленное не герметичностью оболочки здания. Эту величину невозможно рассчитать действительной, но возможно минимизировать. Любому человеку для жизни необходим свежий воздух, а в закрытом помещении с плотным стеклопакетом через некоторое время человек будет чувствовать себя дискомфортно, потому что повысится уровень углекислого газа, несмотря на систему вентиляции. Поэтому во избежание этого есть нормы, прописанные в СНиП, где в разделе вентиляции указано, что для нормального дыхания человека необходимо 30–40 м³/ч наружного воздуха, поэтому необходимо учитывать инфильтрацию. Существуют нормы, которые устанавливают предельную кратность воздухообмена при перепаде давления в 50 Па, это перепад давления при несильных ветрах с подветренной стороны здания. Нормы, прописанные в СНиП 23-02-2003, гласят, что при естественной вентиляции кратность воздухообмена должна быть не менее 4, а при приточно-вытяжной вентиляции не менее 2, поэтому на инфильтрацию добавляют еще 50 % к теплотерям вентиляции по сезону [5].

Всем хочется иметь «дом мечты» с оптимальными значениями микроклимата, экологически чистый, экономически оправданный. Ряд популярных мероприятий, возможных для оптимизации всех этих параметров, представлен на рис.2.

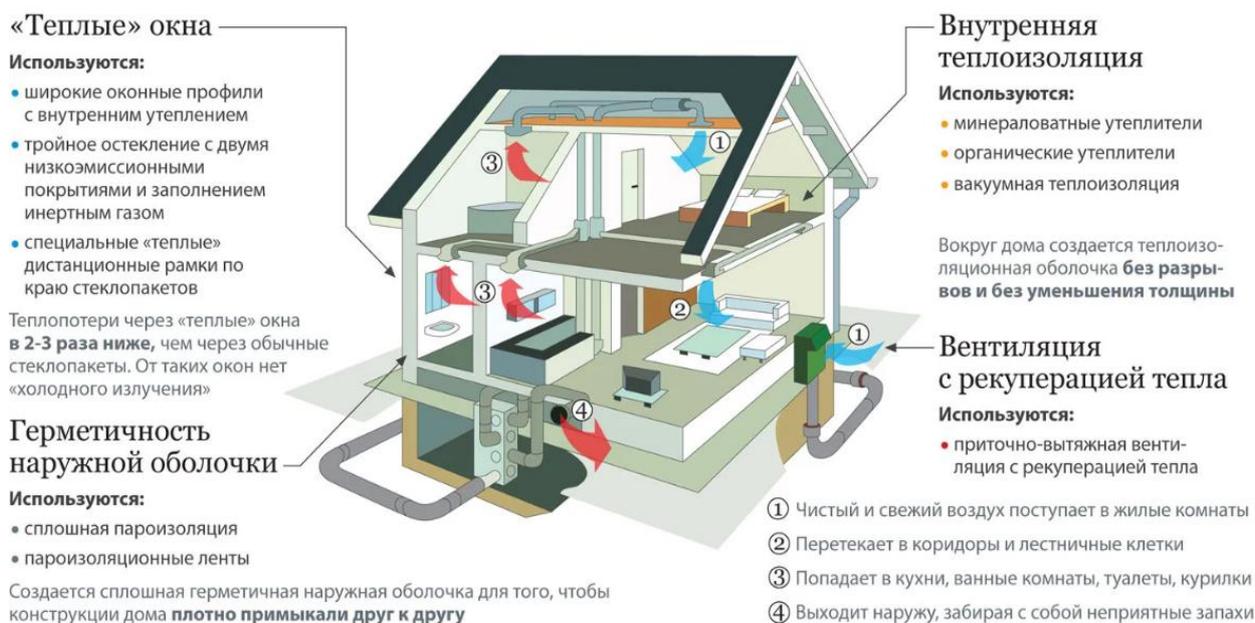


Рис.2. Комплексные мероприятия по оптимизации теплотерь

Рассмотрим вентустановку. Приток воздуха на одного человека (30 м³/ч) и теплоемкость воздуха 1,3 (кДж/(м³·К)). Общий расход энергии в год вычисляется при умножении мощности на градус часы отопительного периода (ГЧОП). При умножении на перепад температур мы получаем, что на одного человека в небольшой дом необходима установка, пиковая мощность которой будет не около 0,54 кВт. При расчете на некоторое количество людей, надо умножить искомые данные на n человек.

Если у нас приточно-вытяжная система с рекуператором, то по российским нормам, мы рассчитываем приток воздуха по 45 м³/ч на одного человека. Рекуперативная установка – тип вентиляционной установки, в которой теплый воздух смешивается с приточным, отдавая ему тепловую энергию тем самым уменьшая количество тепла, затрачиваемое на подогрев

холодного воздуха. Незамысловатая установка уменьшает потребление энергии на вентиляцию на 40–75 %. Существуют также рекуператоры РНІ, они имеют тепловой насос и их эффективность доходит до 95 %. Общий расход энергии и пиковой мощности рассчитывается так же, как и в естественной вентиляции, за исключением того, что получаемое число умножается на значение разности и коэффициент возврата тепла [3, 7, 11].

При сравнении естественной и приточно-вытяжной вентиляции мы можем сделать вывод, что приточно-вытяжная установка с рекуператором должна проводить через себя в 1,5 раза больше, чем естественная вентиляция, однако, за счет своей особенности, позволяет меньше тратить энергии на подогрев воздуха (разница в 1,5–2 раза). В реальном времени количество теплоты невозможно рассчитать точно, потому что значение инфильтрации может существенным, особенно это касается каркасных и деревянных зданий. Поэтому рекомендуется закладывать на инфильтрацию в вентиляции значение в 1,5 раза превышающие расчеты.

Выводы. Оптимизация теплотерь здания имеет комплексный подход и позволяет решить вопросы не только экономического характера, но и комфортности условий труда и жизни. Соблюдение строительных и санитарных норм на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации приведет к рациональному использованию систем жизнеобеспечения и топливно-энергетическим ресурсам, улучшит микроклимат помещений.

Библиографический список

1. Чудинов Д.М., Попова Н.М., Петрикеева Н.А. Расчет поступления солнечной энергии на поверхности при проектировании систем солнечного теплоснабжения // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. № 2 (31). С. 10–16.
2. Голядкина А.Д., Мартыненко Г.Н., Петрикеева Н.А. «Живые» материалы в строительстве // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 3 (28). С. 32–37.
3. Оценка технического состояния тепловых сетей в РФ / Н.М. Попова, В.Е. Таран, Н.А. Петрикеева, Д.М. Чудинов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. № 1 (22). С. 16–21.
4. Уровень снижения температуры теплоносителя в системе отопления многоэтажного жилого дома / Д.М. Чудинов, Т.В. Щукина, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2020. № 1 (18). С. 17–21.
5. Сравнительный расчет изоляционных материалов, применяемых в трубопроводных конструкциях / К.А. Григорьева, Е.Е. Ерилова, Н.А. Петрикеева, Д.М. Чудинов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2020. № 4 (21). С. 28–38.
6. Энергосберегающие мероприятия в многоквартирных жилых домах / Д.М. Чудинов, Т.В. Щукина, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 1. С. 32–36.
7. Вариант решения задачи оптимизации толщины теплоизоляционного слоя в теплоснабжении / Н.А. Петрикеева, Д.М. Чудинов, Е.А. Копытина, Л.П. Мышовская // Научный журнал строительства и архитектуры. 2018. № 2 (50). С. 21–28.
8. Гладышева Т.Ю., Петрикеева Н.А., Заид Т.М. Децентрализация как способ реконструкции инженерных систем зданий и сооружений // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. № 1 (6). С. 14–18.
9. Гладышева Т.Ю., Петрикеева Н.А. Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. № 2 (23). С. 14–21.
10. Попов Н.О., Петрикеева Н.А., Копытин А.В. Определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов систем теплоснабжения // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2015. № 1 (18). С. 15–22.
11. Петрикеева Н.А., Тюленева О.В., Кучеров Н.Н. Экономически целесообразный уровень теплозащиты зданий при работе систем теплогазоснабжения и вентиляции // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2012. № 1 (6). С. 9–12.
12. Петрикеева Н.А., Березкина Л.В. Влияние инсоляции на интенсивность теплопоступлений в жилые помещения // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2010. № 2 (3). С. 100–103.

Для цитирования: Буев Д.Ю., Чудинов Д.М., Петрикеев А.Д. Нормирование теплотерь в современных зданиях // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. № 4 (33). С. 11–16.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 007.52:654.94

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. Д. Голядкина, Д. П. Субботин, А. Н. Красникова, Д. О. Бугаевский

*Воронежский государственный технический университет**А. Д. Голядкина, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(908)135-14-43, e-mail: nutagolyadkina@mail.ru**Д. П. Субботин, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(930)412-56-93, e-mail: dimdim160402@gmail.com**А. Н. Красникова, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(919)239-10-77, e-mail: krasnikowa.arina@yandex.ru**Д. О. Бугаевский, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: dbugaevskii@gmail.com*

Постановка задачи. Идея технологии моделирования в строительстве с применением цифровых двойников зданий и сооружений в режиме реального времени уже не нова, но по ряду причин до сих пор не получила широкого применения. Вопросы использования данного метода строительства в регионах с различным климатом и техническая надежность зданий и сооружений, выполненных с помощью метода цифровых двойников, достаточно актуальны.

Результаты. Приведены преимущества использования цифровых двойников как перспектива более качественного проектирования и технологического выполнения поставленных перед строителями задач. Данный подход является прогрессивным при организации и технологическом ведении процессов строительства.

Выводы. Получена информация о результативности и экономическом преимуществе строительства зданий данным методом, определены достоинства и недостатки применения цифровых технологий, сделаны выводы о перспективности развития применения данных технологий, представлены вид и процесс строительства.

Ключевые слова: BIM-технология, цифровой двойник, строительство, цифровизация, моделирование.

Введение. Цифровизация – важный этап в развитии строительства как ведущей отрасли создания новых объектов инфраструктуры. С возрастанием требований стандартизации и новшества построенных, реконструируемых и перевооруженных зданий и сооружений в кратчайшие сроки инженерам, технологам и строителям требуются новейшие инструменты, позволяющие минимизировать затраты финансов и труда без снижения качества построек.

Автоматизация процессов является важнейшим фактором в данном вопросе. Возможность выполнять процессы в режиме реального времени с помощью различных приборов, датчиков и систем управления и слежения позволяют уйти от создания малых базовых моделей и затрат времени на их испытания различными приборами. Обработка огромного количества информации, требуемой для предприятий, помогает строительным компаниям расставлять приоритеты на дизайнерские и технологические решения, которые могут легко изменяться автоматически с помощью различных программ.

С этой задачей помогают справиться информационные цифровые модели в реальных размерах. Они собирают, хранят и анализируют данные о построенном и проектируемом объекте, непрерывно собирают и хранят данные всех систем, датчиков и оборудования, установленных на объекте. Такая технология дает реальный прогноз технического состояния систем, возможные поломки и сигнализирует о возникновении чрезвычайных ситуаций.

1. История развития цифровых двойников. История создания цифровых двойников в строительстве началась с развития компьютерных технологий и появления трехмерного моделирования. В начале 1990-х годов компьютерные программы для трехмерного моделирования стали все более доступными и мощными, что позволило создавать виртуальные модели объектов и процессов в строительной отрасли [1, 2].

Одним из первых примеров использования цифровых двойников в строительстве было создание виртуальных моделей зданий для архитектурного проектирования. Архитекторы могли создавать детальные трехмерные модели зданий и проводить визуализацию различных вариантов дизайна и планировки. Это помогало им лучше представить, как будет выглядеть здание в реальности и вносить необходимые изменения до начала строительства.

С развитием технологий 3D-сканирования и дронов появилась возможность создавать более точные и детальные цифровые двойники физических объектов. 3D-сканеры позволяют собирать точные данные о геометрии объекта, а дроны могут использоваться для съемки объектов с воздуха и сбора данных о их состоянии. Эти данные затем используются для создания цифровых двойников, которые точно отображают физический объект.

С появлением различных систем сбора информации, таких как датчики и системы управления зданиями, стало возможным включать в цифровые двойники данные о расходе энергии, использовании ресурсов, состоянии конструкций и других параметрах объекта. Это позволяет проводить мониторинг и анализ работы объекта в режиме реального времени и принимать меры по оптимизации его использования.

2. Использование цифровых двойников в строительстве. Наряду с преимуществами использования таких новых технологий для строительства, не все компании могут позволить себе создание цифровых двойников из-за дороговизны технологий и малого количества специалистов в данной сфере, что приводит в потребности обращения к подрядным организациям, использующим данный вид проектирования (крупные проектные институты). Несмотря на надежность и удобство цифровых технологий, их создание является трудоемким и сложным процессом. Чаще всего, создание двойников разделяется на приоритетные части: отопление, вентиляцию, водоснабжение, объединяемые после создания в единую модель и помещаемую в модель здания.

Основами для цифрового двойника служат:

- исходные графические 3D и 4D-модели (разработанные с применением САД-систем инженерного проектирования);
- модель на основе интернета вещей (IoT);
- математическая модель для инженерных анализов и расчетов (к ним относятся CAE-системы);
- голограммы и другие способы визуализации объекта [3].

Имеются два способа создания исходной модели объекта:

- лазерное сканирование объекта, помогающее получить цифровой «слепок» для моделирования отдельных элементов;
- модель, созданная с помощью BIM-технологий. Она образуется на этапе проектирования и авторского надзора за проектом. На её основе делается исполнительная модель до окончания возведения объекта.

BIM-проектирование включает в себя несколько этапов, каждый из которых вносит свой вклад в создание цифровой модели здания или инфраструктуры [4].

1. Сбор и анализ информации: на этом этапе производится сбор всех необходимых данных о проектируемом объекте, включая геометрические параметры, конструкцию, материалы, системы и процессы. Эта информация может быть получена из различных источников, таких как чертежи, спецификации, стандарты и т. д. Затем проводится анализ полученных данных для выявления потенциальных проблем и определения требований проекта.

2. Создание цифровой модели: на этом этапе проектировщики используют специальное программное обеспечение для создания трехмерной модели объекта. Они добавляют геометрию, конструкцию, материалы и системы в модель, используя информацию, полученную на предыдущем этапе. Модель может быть создана поэтапно, начиная с общего контура и постепенно детализируясь.

3. Анализ и симуляции: после создания модели производятся различные анализы и симуляции для проверки ее работоспособности и соответствия требованиям проекта. Например, проводятся анализы прочности, энергоэффективности, освещения, вентиляции и других параметров. Это позволяет выявить возможные проблемы и оптимизировать проект.

4. Координация и совместная работа: BIM-технологии позволяют различным участникам проекта работать с общей моделью и взаимодействовать между собой. На этом этапе производится координация действий архитекторов, инженеров, строителей, дизайнеров и других специалистов, чтобы учесть все аспекты проектирования и строительства.

5. Генерация документации: BIM-технологии позволяют автоматически генерировать различные документы, такие как чертежи, спецификации, сметы и технические отчеты. Это значительно упрощает процесс создания и обновления документации, а также уменьшает вероятность ошибок.

6. Управление объектом: после завершения проектирования и строительства BIM-модель может быть использована для управления объектом в процессе его эксплуатации. Вся необходимая информация о здании или инфраструктуре доступна в удобной форме, что позволяет эффективно планировать ремонтные работы, обслуживание и модернизацию.

3. Основные виды цифровых двойников. На данный момент существует несколько видов цифровых двойников:

– DTP или Digital Twin Prototype, прототип – виртуальный аналог объекта, содержащий информацию для производства объекта в реальных масштабах, таких как геометрические размеры, структуры используемых материалов, технические требования (рис.1). Такие модели помогают при проектировании и расчете предварительной стоимости объекта [5, 6].

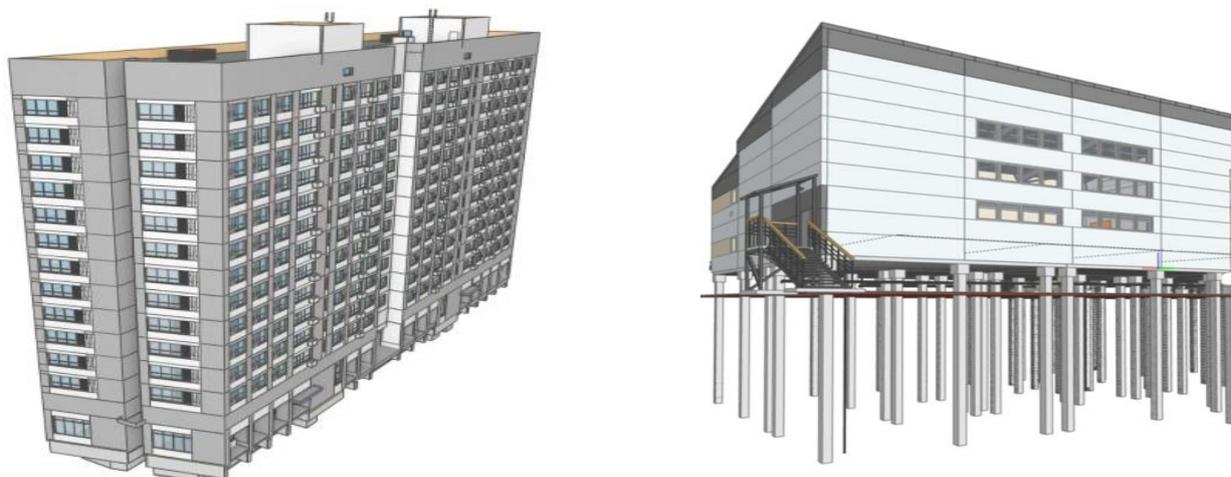


Рис.1. Цифровые двойники зданий в геометрических размерах основных конструктивных элементов

– DTI или Digital Twin Instance, экземпляр – содержит описание конкретного имеющегося здания на протяжении всего срока эксплуатации. В нём уже содержатся данные о технических характеристиках объекта, его трёхмерная модель и набор коммуникаций, история строительства здания, сроки эксплуатации, данные о применённых материалах и комплектующих (рис.2).

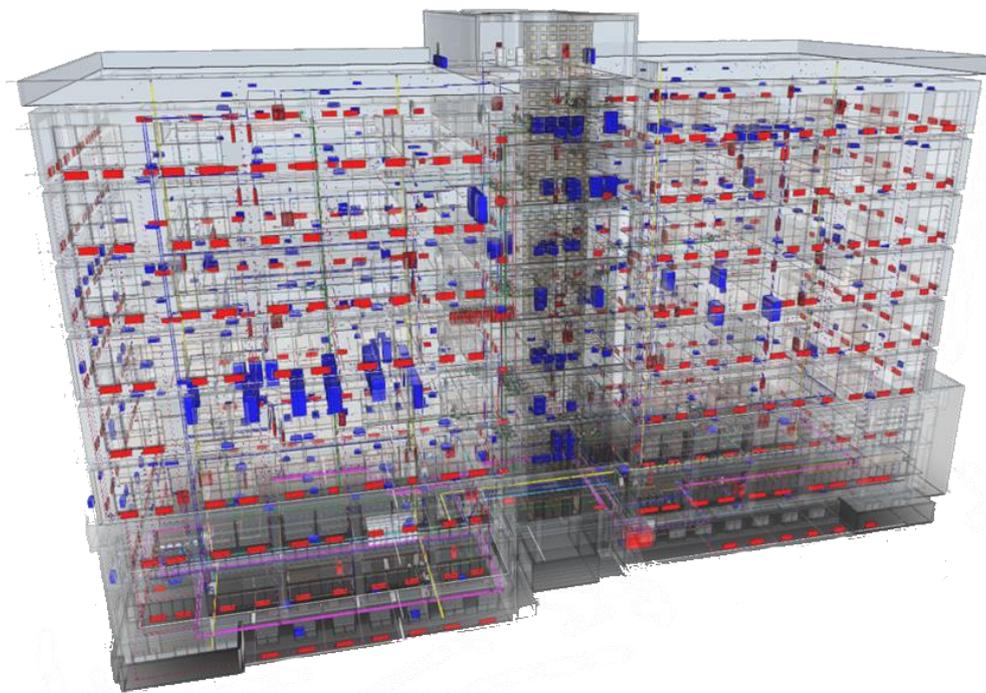


Рис.2. Цифровая модель коммуникаций здания в режиме реального времени

– DTA или Digital Twin Aggregate, агрегат – объединяет двойник и оригинал для обмена информацией и управления единым центром, что позволяет копировать прототип и вносить в нём современные корректировки несколькими проектировщиками для создания базы для подобных особых объектов в требуемой конфигурации, стилях и назначениях (производств, общественных зданиях, объектов в сложных сейсмических условиях и тд.) и проведение виртуальных испытаний над ними.

Применение цифровых двойников в строительстве имеет множество преимуществ:

1. Они позволяют визуализировать проект и легко вносить изменения до начала физического строительства. Это помогает устранить ошибки и недоразумения в планировании путем своевременного реагирования на недостаточный запас ресурсов материалов на складах, что в свою очередь снижает затраты и время строительства.

2. Позволяют проводить виртуальное моделирование и симуляции работы объекта. Например, можно протестировать эффективность системы отопления и кондиционирования воздуха, оптимизировать использование энергии или проверить безопасность и эргономику рабочих мест, что позволяет оперативно принимать решения всеми субъектами проектной деятельности.

3. Позволяют улучшить коммуникацию между всеми участниками проекта. Они предоставляют общую платформу для обмена информацией и координации работ, что помогает избежать конфликтов и несоответствий между различными специалистами. Доступ к данной модели также имеют все участники инвестиционного проекта, обеспечивая прозрачность для заказчика для оценки качества реализованного проекта [6, 7].

4. Цифровые двойники позволяют проводить мониторинг и анализ работы объекта в режиме реального времени. Например, можно отслеживать расход энергии, контролировать состояние конструкций или определять необходимость технического обслуживания, сравнить проектные решения для каждого вида работ и конструкций с построенными, что позволяет сократить ошибки и уменьшить количество переделок. Это помогает повысить эффективность использования объекта и улучшить его долговечность.

В России также начинается постепенное внедрение технологии моделирования зданий. В 2012 году группа компаний «Эталон» впервые строила ЖК «Галант» и использовала BIM: строители применяли аналитику план-факт, делали 4D-модель.

Причинами узкого диапазона использования данной технологии являются ряд причин:

– для простого строительства жилищного фонда нет необходимости в цифровом двойнике. Базовую эксплуатацию здания можно вести классическими методами с помощью ТСЖ и управляющими компаниями;

– для сложных объектов уже существуют системы диспетчеризации, которые умеют собирать информацию.

Цифровые двойники начинают входить в широкое применение, в основном, в сложных добывающих промышленности и технологических процессах, а также в регионах с сложными климатическими условиями, где применение искусственного интеллекта оперативно принимать решения на основании больших данных [8].

Выводы. Информационные двойники являются мощным инструментом в сфере строительства, позволяющие повысить эффективность проектов, исключить критические технические ошибки и снизить трудозатраты и ошибки строителей. Это оптимальное ведение процессов организации строительства. Однако всё ещё остается потребность в оценивании денежных затрат на инновационное обеспечение сотрудников в применении повсеместного использования технологий для строительных компаний в масштабах всей страны.

Библиографический список

1. Васильева Е. Компоненты индустрии 4.0: Цифровые двойники // Автоматизация проектирования. 2019. №3. С.22–38.
2. Петров А.В. Имитация как основа технологии цифровых двойников // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. №10. С.56–66.
3. Кузнецова С.В. Преимущества применения технологии «цифровых двойников» в зарубежном и отечественном производстве // Проблемы экономики, финансов и управления производством: сборник научных трудов вузов России. 2019. № 45. С. 49–57.
4. Плотникова И.А., Сорокина И.В. Проблемы развития современного жилищно-коммунального хозяйства // Проблемы развития территории. 2019. № 6 (104). С. 52 – 67.
5. Строительство зданий с помощью 3D-технологий / А.Д. Голядкина, Д.П. Субботин, Н.А. Петрикеева, А.А. Кратько // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. № 1 (30). С. 29–33.
6. Голядкина А.Д., Петрикеева Н.А., Чудинов Д.М. Энергетический эффект при 3D-строительстве зданий и сооружений // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов. Тюмень, 2022. С. 20–22.
7. Оценка надежности газоснабжения отдельных потребителей с использованием цифрового моделирования / Г.Н. Мартыненко, Н.А. Петрикеева, С.А. Горских, А.А. Горских // Альтернативная и интеллектуальная энергетика: материалы II Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2020. С. 159–160.
8. Беленко И.В., Скляров К.А., Петрикеева Н.А. Надежность работы тепловых электрических станций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 40–45.

Для цитирования: Цифровые двойники в строительстве / А.Д. Голядкина, Д.П. Субботин, А.Н. Красникова, Д.О. Бугаевский // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. № 4(33). С. 17–21.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

УДК 621.039.003

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОСКОРПОРАЦИИ РОСАТОМ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ

К. В. Алексева, А. И. Колосов, Н. А. Петрикеева

*Воронежский государственный технический университет**К. В. Алексева, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(919)239-10-77, e-mail: kristina.v19@mail.ru**А. И. Колосов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru**Н. А. Петрикеева, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)101-72-96, e-mail: petrikeeveva.nat@yandex.ru*

Постановка задачи. В статье представлен обзор собственного видения развития Госкорпорации «Росатом» в условиях санкций с учетом продолжения ориентации на глобальную повестку в области устойчивого развития.

Результаты. Рассмотрена реализация собственной линейки продукции и финансово-экономического результата деятельности, обеспечение устойчивости внутренних процессов в области качества управления.

Выводы. Несмотря на значительные ограничения из-за введенных санкций, корпорация Росатом крайне конкурентоспособна. Она продолжает оставаться в активном мировом диапазоне даже в сложившихся неблагоприятных условиях и все потому, что стратегия развития Росатома верно выделила ключевые направления, в которых можно совершить рывок, опираясь на уже достигнутые результаты. В отличие от конкурентов, Росатом объединяет в себе сотни предприятий, которые, работая вместе, охватывают своими компетенциями все процессы жизненного цикла атомных технологий.

Ключевые слова: Росатом, технологии, санкции, устойчивое развитие, рынок, конкурентоспособность.

Введение. Корпорация Росатом – лидер атомной индустрии. В рамках программы «Видение Росатома 2030» [1] государственная корпорация Росатом установила четыре глобальных цели на следующее десятилетие (рис.1), а именно:

- увеличение доли на международных рынках до более 50 % выручки;
- снижение себестоимости продукции и времени протекания процессов;
- разработку новых продуктов для российского и международных рынков, которые должны обеспечивать более 40 % выручки;
- достижение глобального технологического лидерства в атомной отрасли.

Крайне амбициозный план, тем более для госкомпании. Но поставленные цели на тот момент не казались фантастикой, так как Росатом во многом уникальная компания для мировой атомной отрасли. Это разветвленная сеть энергоснабжения по всей стране. В отличие от многих конкурентов, Росатом объединяет в себе сотни предприятий, которые, работая вместе, охватывают своими компетенциями все процессы жизненного цикла АЭС.

Это проектирование, строительство, наладка, обслуживание и модернизация оборудования, эксплуатация, вывод из работы, а также добыча урана и производство топлива, крупнейшая энергосыработка.



Рис.1. Видение Росатома 2030 [1]

Ни один из конкурентов не имеет столь широкого набора компетенций (рис.2), обычно ограничиваясь лишь несколькими ключевыми. Таким образом, Росатом конкурирует на разных шахматных досках с разными игроками и делает это успешно.



Рис.2. Достижения «Росатома» [1]

1. Показатели компании. На 2020 год показатели Росатома (табл.1) выглядели следующим образом [2].

Таблица 1

Показатели Росатома в мире

Показатель	Место в мире
Количество одновременно сооружаемых блоков АЭС за рубежом	1
Количество и мощности атомного судоходства	1
Объем минерально-сырьевой базы урана	2
Установленная мощность среди атомных генерирующих компаний	2
Объем добычи урана	2
Обогащение урана (37 % мирового рынка)	1
Фабрикация ядерного топлива (17 % мирового рынка)	3

Стратегия развития Росатома верно выделила ключевые направления, где можно совершить рывок опираясь на уже достигнутые результаты (рис.3). Тем не менее, легким выбранный путь не выглядел – хотя не все ключевые конкуренты Росатома в отрасли успешно пережили годы после аварии на АЭС «Фукусима» [3], общее оживление экономики привело к росту конкуренции на внешних рынках.

Направления деятельности Росатома

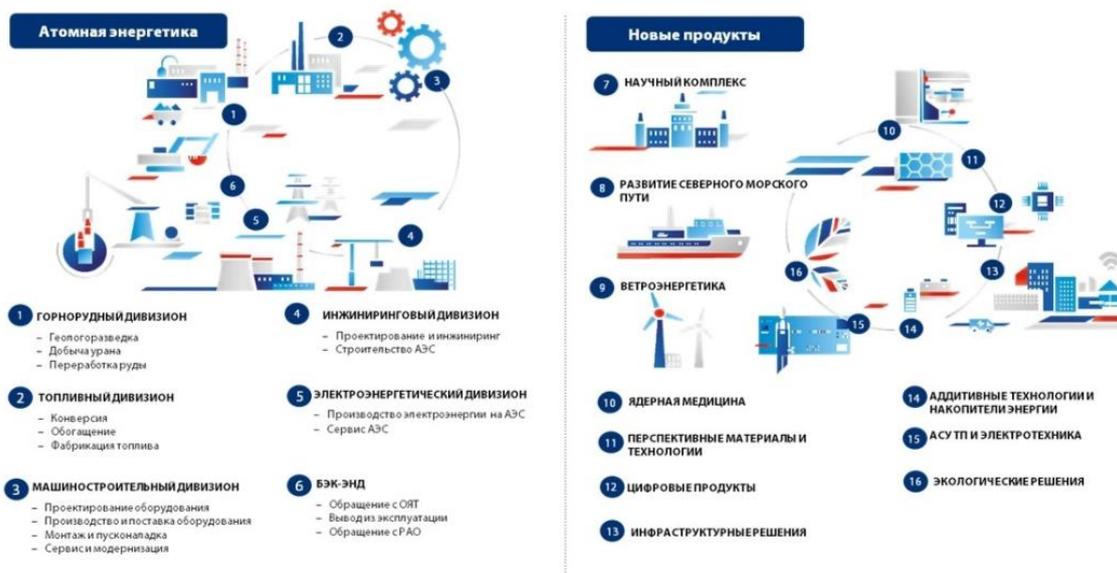


Рис.3. Направления деятельности Росатома [1]

2. Наличие рисков. Огромный опыт, конкурентная цена и готовность частично, а иногда и полностью, финансировать строительство собственных проектов за рубежом были основными преимуществами Росатома. Но даже в таких условиях не всегда можно было рассчитывать на успех в тендерах, и борьба за рынки с каждым годом все накалялась. Старт СВО в феврале 2022 года стал шоком для российской экономики, и Росатом не был

исключением. Выполнение «Видения Росатома 2030» в новых условиях сопряжено с множеством рисков, которые мы сейчас и рассмотрим.

1) Сооружение АЭС в России (рис.4). Росатом в последнее десятилетие сосредоточился на консолидации предприятий, участвующих в жизненном цикле АЭС, в рамках Госкорпорации, а также на импортозамещении иностранных компонентов.

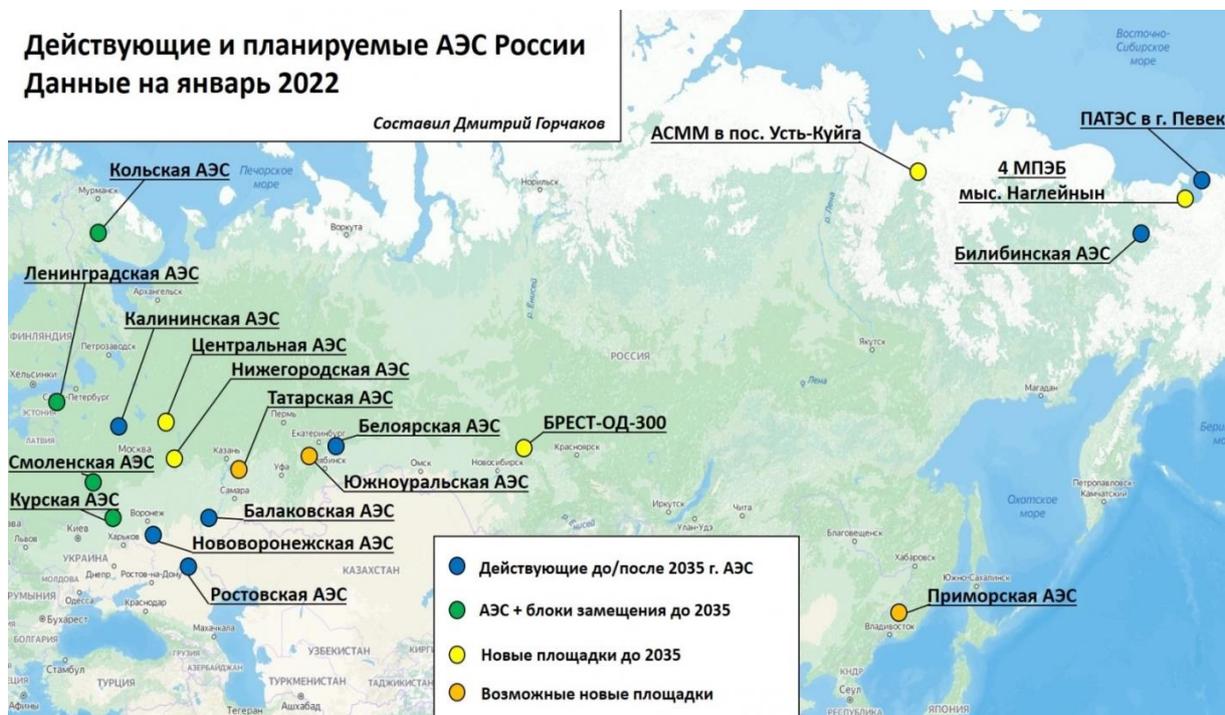


Рис.4. Действующие и планируемые АЭС России [2]

Проще говоря, целью было строить АЭС внутри страны полностью силами Росатома и из российских комплектующих. Старт программы импортозамещения в 2014 году, которая идет до сих пор, лишь подтвердил верность выбранного пути [4]. Для строящихся российских АЭС удалось добиться высокой степени локализации оборудования: основное силовое, насосное и энергетическое оборудование произведено полностью в России. Значительного прогресса удалось добиться и в области промышленной автоматики и связи, но полностью заменить иностранные комплектующие так и не удалось, и значительную часть телекоммуникационного оборудования (коммутаторы) составляет все еще импортное из-за отсутствия альтернатив по характеристикам. Дешевые комплектующие, наподобие розеток или пакетных выключателей, также в значительной мере иностранные, так как-либо аналогов вообще нет, либо иностранные образцы были просто дешевле и привычнее.

Однако, несмотря на значительный прогресс в локализации производства оборудования для АЭС, полностью заменить иностранные комплектующие так и не удалось. Санкции, наложенные на страну, привели к уходу многих иностранных фирм с рынка, что затруднило импортозамещение некоторых позиций. Поиск альтернатив приводит к росту стоимости и затягиванию сроков производства, что может отрицательно сказаться на экономической составляющей проектов. Росатом должен продолжать работу по импортозамещению и улучшению качества своей продукции и услуг, чтобы оставаться конкурентоспособным на мировых рынках, одновременно готовясь к возможным рискам и изменениям на рынке. Пока что отрасль справляется с этим вызовом, но определенно итоговые финансовые показатели АЭС будут хуже, чем в 2021 году.

2) Сооружение АЭС за рубежом (рис.5). Здесь все значительно сложнее и комплекс проблем, стоящих перед Росатомом имеет колоссальную сложность. Рассмотрим каждую проблему в отдельности.



Рис.5. Потенциал строительства АЭС Росатомом в мире на 2021 год [2]

а) оборудование. В отличие от российских АЭС при сооружении объектов за рубежом заказчики предпочитают не ограничивать себя оборудованием Росатома, а требуют либо значительной степени локализации, либо применения оборудования крупных зарубежных производителей. Логика обоих выборов очевидна: чем больше степень локализации, тем больше денег после сооружения останется в стране; выбор только российского оборудования крепко привязывает к Росатому, в том время как зарубежную технику можно обслуживать отдельно. Росатом обычно соглашается на такие требования для большей лояльности клиентов, и на долю российского оборудования в проектах приходится от 40 до 60 % [5, 6].

Но из-за санкций возникают риски при использовании иностранного оборудования. Во-первых, в случае поставки оборудования сразу на площадку поставщики могут отказаться работать с фирмами, сооружающими АЭС Росатома, из-за риска вторичных санкций, хотя о таких случаях пока неизвестно в широкой аудитории.

Во-вторых, часть оборудования комплектуется в России и невозможность поставки иностранных компонентов приводит к необходимости либо искать замену, либо перепроектировать систему. В теории, для решения данных проблем, особенно в случае введения против госкорпорации санкций, Росатом мог бы создавать в странах, строящих АЭС, фирмы-прокладки, формально не имеющие к нему никакого отношения и закупающие оборудование как бы для себя. Но на практике такие фирмы могут быть очень быстро подвергнуты вторичным санкциям. Другой вариант – это увеличение локализации за счет создания сборочных цехов в стране строительства. Но опять же – это все лишние деньги и время.

б) финансирование строительства. Стоимость строительства блока АЭС очень высока и сейчас составляет около 8–9 млрд. долларов, а с учетом санкционных последствий – около

10–11 млрд. долларов. Кроме того, требуется модернизировать электрические сети, чтобы они могли принимать мощность АЭС без аварий, что может стоить еще пару миллиардов. Это огромная сумма, которую не все страны могут позволить себе. Поэтому обычной практикой при сооружении АЭС Росатомом стал механизм выделения кредитов на строительство, которые покрывают до 50 % стоимости АЭС и выдаются на длительный срок под ставку выше инфляции валюты, в которой он номинирован [7–9]. Кредит выдает РФ как главный акционер Росатома, заинтересованный в его успехе, но в условиях дефицита бюджета РФ может не найтись лишних денег на кредитование новых зарубежных строек. Тем не менее, покупателю АЭС еще нужно найти как оплатить оставшуюся сумму, и тут покупателю АЭС нужно найти инвесторов, которыми могут быть крупные энергокомпании, банки или международные финансовые организации. Однако существует риск того, что эти организации, опасаясь вторичных санкций, могут не захотеть участвовать в проектах. На данный момент Росатом не включен в санкционные списки, но риск такого исхода довольно высок. С учетом роста цены на сооружение и рисков финансового характера предложения Росатома могут потерять в коммерческой привлекательности.

в) политические риски. С этим типом рисков Росатом сталкивался еще задолго до 2022 и даже 2014 года. Разговоры об угрозе российского атома в Европе начались уже в конце нулевых с подачи США и Великобритании. Здесь особенно показательна история сооружения АЭС «Беленэ» в Болгарии [10]: США долго и упорно давили на власти страны, чтобы те отменили строительство. В итоге Болгария, получив гарантии США помочь в строительстве АЭС, отказалась от услуг Росатома, получила гигантский штраф, а потом все равно была «кинута» американцами, оставшись в результате без АЭС. С 2014 года разговоры об угрозе Росатома безопасности Европы лишь усилились (например, из чешского тендера Росатом был исключен именно по политическим причинам), а после 2022 года рынок Европы фактически закрыт для России. Единственное исключение здесь – это Венгрия, где не отказываются от сооружения АЭС «Пакш» Росатомом [11].

Хотя рынок Европы и не был самым перспективным, но фактическое закрытие его снижает возможности Росатома для продвижения своих реакторов в мире. Сейчас не так много стран, которые имеют желание и возможность строить АЭС и при этом быть устойчивыми к давлению со стороны США. Это создает значительные риски того, что число потенциальных покупателей российских реакторов может упасть еще сильнее. А значит и планы по увеличению доли иностранных проектов в выручке могут быть невыполнимы.

3) Технологическое лидерство. В плане технологий Росатом может дать фору другим: у него есть отработанный реактор ВВЭР-1000 и уже успешно работающий ВВЭР-1200, проекты малых модульных реакторов, реакторы на быстрых нейтронах серии БН и эксперименты по замыканию топливного цикла. Кроме того, активно развиваются производственные технологии, такие как ядерная медицина или водородные технологии, и вспомогательные VR/AR технологии проектирования, материаловедение, системы промышленной автоматизации и цифровизации, лазерные и даже авиационные технологии [12]. Помимо этого, Росатом значительно диверсифицировал свой бизнес, развивая направление ветрогенерации и систем накопления энергии (рис.6).

Но и здесь санкционное влияние ощутимо. Проблема заключается как в необходимости использовать импортные компоненты, вычислительную технику, так и в применении западного программного обеспечения (ПО). Фактически отечественный IT сектор атомной индустрии начал давать результаты в части импортозамещения не так давно, и здесь еще предстоит долгий путь для полного замещения иностранного ПО [12, 13].

В части же вычислительной техники отказаться от западных комплектующих просто невозможно – отечественные микропроцессорные технологии отстают на несколько поколений и сами испытывают кризис из-за санкций. Поэтому развитие новых технологий

также сопряжено с рисками увеличения стоимости и длительности проектов. Особенно проблемная ситуация сейчас сложилась в области ветрогенерации, так как степень локализации оборудования составляла всего 60 %, а поставщики оставшихся 40 % были в основном из Европы.

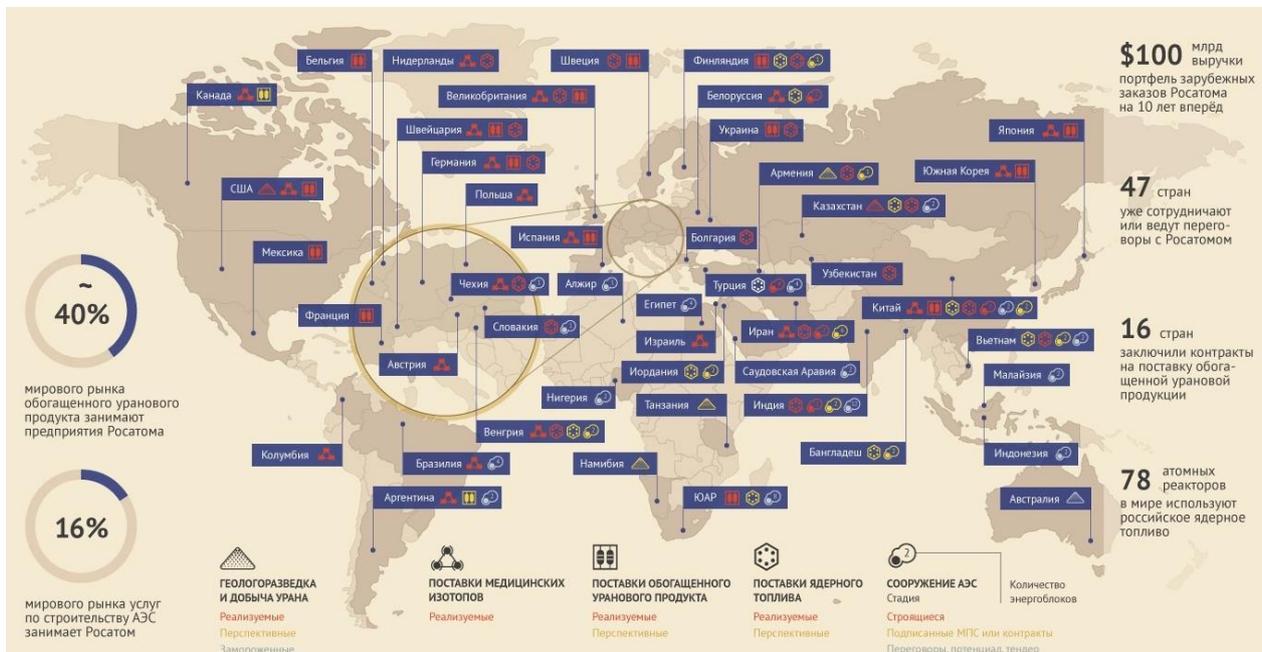


Рис.6. Зарубежная экспансия технологий и продукции Госкорпорации «Росатом» [4]

4) Севморпуть (рис.7). До этого в тексте Севморпуть (СМП) не упоминался, равно как его и нет в «Видении Росатома 2030».

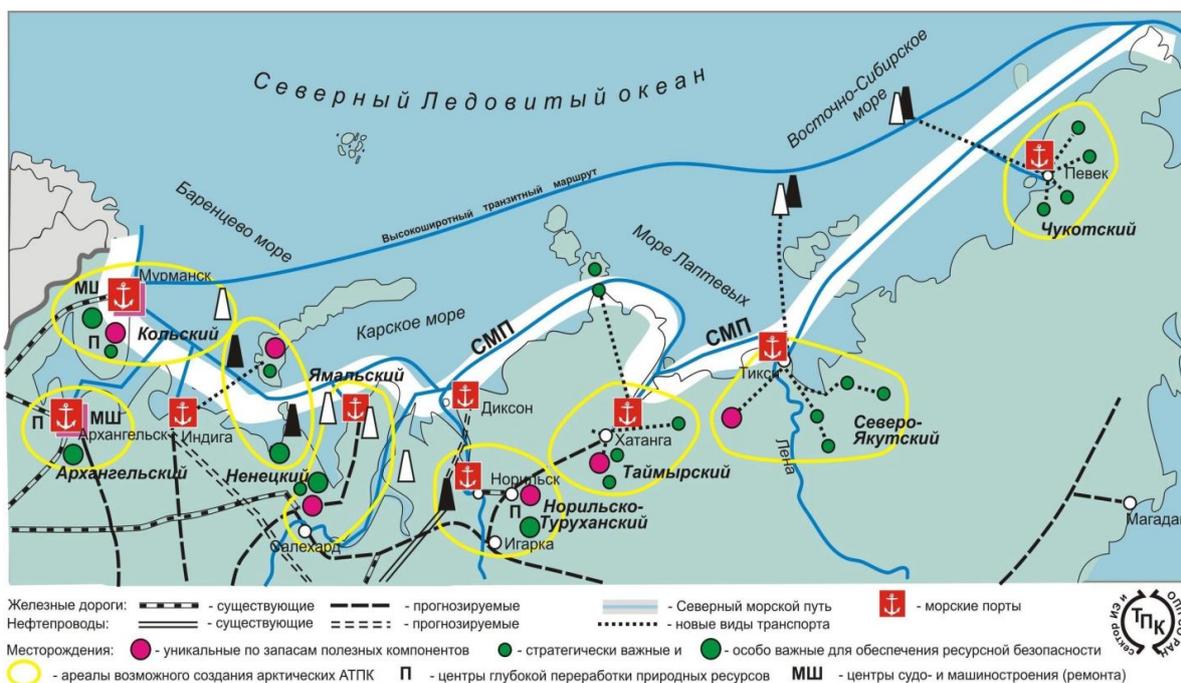


Рис.7. Обзорная схема прогнозируемых Арктических акваториально-производственных комплексов (АТПК) [13]

Тем не менее это странное упущение, так как Росатом является инфраструктурным оператором СМП и немалая часть его программы развития зависит от реализации этого проекта. Здесь и расширение ледокольного флота, строительство портовой и энергетической инфраструктуры для ее питания, а также полный контроль над судоходством по СМП [14, 15]. Фактически успех проекта полностью зависит от Росатома.

Концепция СМП предполагает создание круглогодичного маршрута для торговых кораблей в Европу. СМП позволит сократить путь из Юго-Восточной Азии в Европу примерно вдвое. Но у проекта есть несколько подводных камней. Во-первых, санкции ЕС на морское сообщение с Россией сильно ограничат возможности по использованию кораблей, зависимых от европейских юрисдикций из-за опасности вторичных санкций. Во-вторых, отношения ЕС и Китая имеют тенденцию к ухудшению. А это значит, что в случае усугубления ситуации в мире СМП может оказаться уже не столь востребованным, как того хотелось бы.

5) Поставка топлива (рис.8). Это самое пока что устойчивое к санкциям направление деятельности Росатома. Топливо, произведенное в России, закупают США и ЕС [16, 1716].

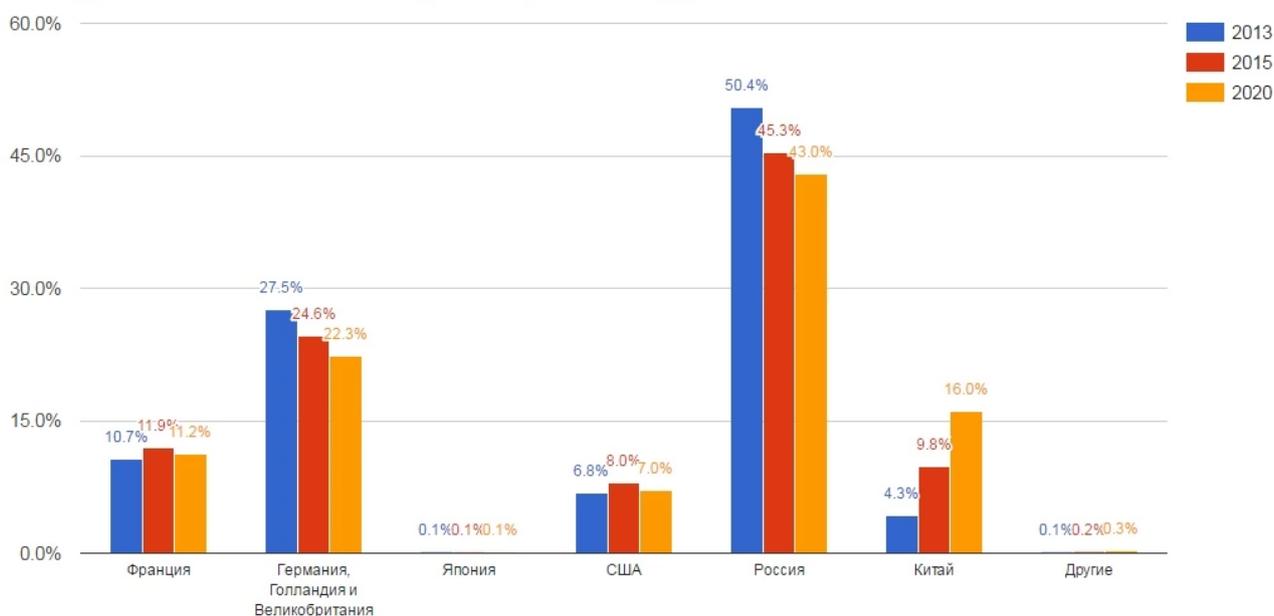


Рис.8. Доля мощностей по обогащению урана – текущие и планируемые [12]

В США операторы АЭС пока что успешно лоббируют запрет на ограничение поставок из-за невозможности заменить его другими поставщиками в нужных объемах [18–20]. Тем не менее, нет никаких гарантий того, что политики ЕС и США не решат пожертвовать экономическими перспективами атомной отрасли ради того, чтобы навредить России.

Вывод. Вызовы, с которыми столкнулся Росатом из-за санкций, беспрецедентны по своему масштабу. Но госкорпорация оказалась готова к ним гораздо лучше, чем можно было ожидать. Однако, наполеоновские планы по завоеванию лидерских позиций на рынке атомной энергии в мире скорее всего будут скорректированы в сторону сохранения позиций и укрепления на новых, уже полученных рынках сбыта. При этом не стоит ожидать отказа Росатома от международной экспансии, так как АЭС – это один из немногих продуктов российской экономики, который крайне конкурентоспособен даже в неблагоприятных условиях. И это положение вещей следует сохранять всеми силами. Масштабы

энерговыработки и разветвленных энергетических сетей в данной отрасли огромны в масштабах страны и не только.

Библиографический список

1. «Росатом» определил стратегию своего развития до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <https://news.rambler.ru/other/44944427-rosatom-opredelil-strategiyu-svoego-razvitiya-do-2030-goda/> (дата обращения: 19.04.2023).
2. «Росатом» за 15 лет работы стал мировым лидером в атомных технологиях [Электронный ресурс]. URL: <https://vz-ru.turbopages.org/vz.ru/s/news/2022/12/1/1189165.html> (дата обращения: 19.04.2023).
3. Что происходит с атомной энергетикой после Фукусимы? [Электронный ресурс]. URL: https://www.worldandwe.com/ru/page/Chto_proishodit_s_atomnoy_energetikoy_posle_Fukusimy.html (дата обращения: 19.04.2023).
4. «Росатом» рассчитывает преодолеть зависимость от импорта к концу 2023 года [Электронный ресурс]. URL: <https://strana-rosatom.ru/2022/08/11/rosatom-rasschityvaet-preodolet-z/> (дата обращения: 19.04.2023).
5. «Росатом» считает, что локализация строительства АЭС в Египте будет выше 25 % [Электронный ресурс]. URL: <https://tass-ru.turbopages.org/tass.ru/s/ekonomika/15381143> (дата обращения: 19.04.2023).
6. Сколько обойдется построить атомную электростанцию – обзор [Электронный ресурс]. URL: <https://skolko-poluchaet.ru/skolko-stoit/skolko-obojetsya-postroit-atomnuyu-elektrostantsiyu.html> (дата обращения: 19.04.2023).
7. «Сбербанк» выдаст компании «Росатома» кредит в \$800 млн. для строительства АЭС «Аккую» в Турции [Электронный ресурс]. URL: <https://tass-ru.turbopages.org/tass.ru/s/ekonomika/12946001> (дата обращения: 19.04.2023).
8. Бангладеш и Россия перейдут к использованию юаней для оплаты \$12-миллиардного кредита на строительство АЭС «Руппур» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/04/17/134431> (дата обращения: 19.04.2023).
9. Атомную станцию «Аккую» в Турции построят на наши деньги [Электронный ресурс]. URL: <https://versia-ru.turbopages.org/versia.ru/s/atomnuyu-stanciyu-akkuuyu-v-turcii-postroyat-na-nashi-dengi> (дата обращения: 19.04.2023).
10. 15 лет пустых переговоров. России не дали построить АЭС в Болгарии [Электронный ресурс]. URL: <https://turbo.gazeta.ru/business/2022/02/15/14536435.shtml> (дата обращения: 19.04.2023).
11. «Росатому» разрешили строить АЭС «Пакш-2» в Венгрии [Электронный ресурс]. URL: https://rbc-ru.turbopages.org/rbc.ru/s/technology_and_media/26/08/2022/6308736c9a7947da79c7a12f (дата обращения: 19.04.2023).
12. Инновационная деятельность «Росатома» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosatom.ru/about/innovatsionnaya-deyatelnost/> (дата обращения: 19.04.2023).
13. Развитие Северного морского пути. Цель российских вложений в СМП [Электронный ресурс]. URL: <https://topwar-ru.turbopages.org/topwar.ru/s/158838-vzglyad-iz-moskvy-na-razvitie-severnogo-morskogo-puti.html> (дата обращения: 19.04.2023).
14. Севморпуть 2.0. Как совершить арктический прорыв [Электронный ресурс]. URL: <https://icebreakers.tass.ru/> (дата обращения: 19.04.2023).
15. В «Росатоме» заявили, что обязательства по поставкам ядерного топлива на Украину [Электронный ресурс]. URL: <https://tass-ru.turbopages.org/tass.ru/s/ekonomika/10626993> (дата обращения: 19.04.2023).
16. Почему «Росатом» продолжает лояльно обеспечивать энергетику США ураном? [Электронный ресурс]. URL: <https://versia-ru.turbopages.org/turbo/versia.ru/s/pochemu-rosatom-prodolzhaet-loyalno-obespechivat-yenergetiku-ssha-uranom> (дата обращения: 19.04.2023).
17. Природосберегающие технологии [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2014/10/28/reg-cfo/pravila.html> (дата обращения: 07.04.2023).
18. Тульская С.Г., Калинина А.И., Петрикеева Н.А. Основные аспекты экологических проблем нефтегазовой отрасли // Нефтяная столица: материалы 4-й Международного молодежного научно-практического форума. Ханты-Мансийск, 2021. С. 199–202.
19. Оптимизация работы энергосистем. Определение вероятного ущерба от перерывов энергоснабжения / Е.А. Куликова, Н.М. Попова, Н.В. Коротких, Н.А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2018. № 4 (13). С. 29–36.
20. Беленко И.В., Склярков К.А., Петрикеева Н.А. Надежность работы тепловых электрических станций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 40–45.

Для цитирования: Алексеева К.В., Колосов А.И., Петрикеева Н.А. Перспективы развития Госкорпорации Росатом в условиях санкций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. №4 (33). С. 22–30.

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

УДК 532.595.2

РАЗВИТИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ

Д. В. Ермоленко, О. М. Мартыненко, Н. А. Петрикеева

Воронежский государственный технический университет

*Д. В. Ермоленко, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел. +7(919)187-65-37, e-mail: mialan2019@mail.ru*

*О. М. Мартыненко, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел. +7(920)413-43-23, e-mail: fggbhvbbbff@gmail.com*

*Н. А. Петрикеева, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)101-72-96, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

Постановка задачи. Негодность какого-либо элемента трубопроводной системы, внезапная остановка насосов, столкновение потока с неподвижной жесткой запорной арматурой, ошибка оператора – все это может привести к явлению гидравлического удара в системе. Гидравлические удары снижают степень надежности и безопасности промышленных объектов.

Результаты. В работе рассмотрены основные положения, связанные с гидравлическим ударом, определены способы защиты и возможности минимизировать негативные последствия данного явления. На стадии проектирования должен быть заложен расчет нестационарных процессов при выходе элементов оборудования из строя, реализованный в программной среде.

Выводы. Результатом проведенного исследования являются установленные аспекты технически правильной эксплуатации трубопроводных систем. Выявлены действенные меры по защите технологического оборудования.

Ключевые слова: гидравлический удар, волна, поток, сжатие, клапан, энергия, деформация.

Введение. Преимущественно гидравлический удар образовывается при столкновении потока жидкости с барьером (заслонкой или заглушкой). В результате кинетическая энергия жидкости превращается в энергию упругой деформации, жидкость останавливается. Инерция не дает адаптироваться скорости потока жидкости к новым условиям, изменяются свойства среды и этот процесс сопровождается новыми перепадами давления. Из перечисленного следует прямо пропорциональная зависимость – чем меньше сжимаемость и выше скорость жидкости, тем больше скачок давления [1, 2]. Гидроудар внезапно остановленной жидкости происходит из-за резкого перепада значений давления (рис.1).

Поток под влиянием давления накапливает скорость, после чего заслоняется – таков механизм действия гидравлических таранов. Определив максимальную скорость и время распространения, можно судить о следующих циклах. Импульс движения столба воды – главный источник существования гидравлического тарана. В трубах, имеющих одинаковый внешний диаметр случается сильный гидроудар в длинной трубе и слабый в короткой. Это объясняется продолжительностью протекания гидравлического удара, даже при одинаковой скорости.

Скорость фронта волны и перепад давления можно уменьшить, увеличив диаметр трубы, однако возрастет продолжительность воздействия. Точно о гидроударе можно сказать, зная диаметр, материал трубы и коэффициент сжимаемости жидкости.

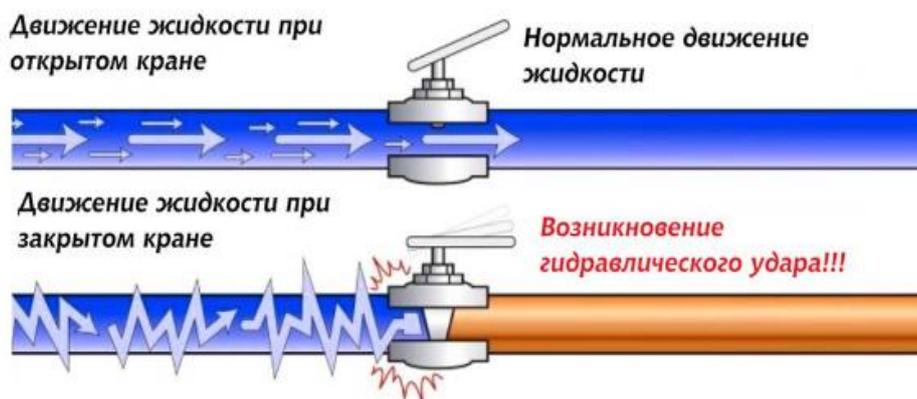


Рис. 1. Схема возникновения гидравлического удара [1]

1. Виды и последствия гидравлического удара. Можно выделить два основных вида гидравлических ударов в зависимости от времени распространения ударной волны T и времени перекрытия задвижки t :

1) Прямой гидравлический удар ($t < T$). При полном гидроударе фронт возникшей ударной волны движется в противоположном направлении, обратном первоначальному направлению движения жидкости в трубопроводе. Его дальнейшее направление движения зависит от элементов трубопровода, расположенных до закрытой задвижки.

2) Непрямой гидравлический удар ($t > T$). Сопровождается изменением движения на противоположное направление и прохождением далее через не до конца закрытую задвижку.

По статистике больше половины дефектов на трубопроводах происходит из-за гидравлических ударов. Резкие сужения диаметра приводят к увеличению скорости наполненной жидкости. В группе риска находятся старые изношенные трубы [1, 3]. Противодействовать проявлению и следствиям такого феномена очень сложно. При изменении свойств одного из элементов (включение арматуры, активация насосного оборудования) может произойти изменение стационарного принципа работы всей системы. По итогу, любые преобразования или нарушения в среде, вносящие изменения в течение жидкости путем преобразования давления и расхода, приводят к негативным последствиям.

Для нейтрализации аварии в магистральном трубопроводе, вода по которому идет к жилым домам, требуется продолжительное время. Сложность заключается в том, что вред от гидроудара в большинстве случаев замечен не сразу. Последствия образования могут обнаружиться спустя долгое время. Определить первопричину в таком случае очень сложно.

2. Характерные особенности гидравлического удара. Прежде всего это стремительный темп распространения. Темп перемещения границ зон с различным давлением при высокой жесткости трубы к заглушке рассчитывается как скорость рассеивания упругих деформаций в жидкости – скоростью звука. Скорость звука в жидкостях составляет около 1500 м/с и увеличивается с повышением температуры. Если увеличивается давление, то скорость также увеличивается. При температуре 4 °С скорость равна 1435 м/с, при 45 °С – 1510 м/с. Время прохождения ударной волны в трубе длиной 15 метров, заполненной водой, от заглушки до входа и обратно примерно 10 миллисекунд. Трубопровод, расположенный горизонтально не успевает рассредоточить пустоту в зоне отрыва и пребывает сосредоточенной около запорной арматуры.

Следующей особенностью можно считать явление отрыва жидкости. Направляясь в сторону входа трубы, жидкость в силу инерции стремится оторваться от заглушки. Возле заглушки появляется зона разрежения если удар достаточно сильный (рис.2).

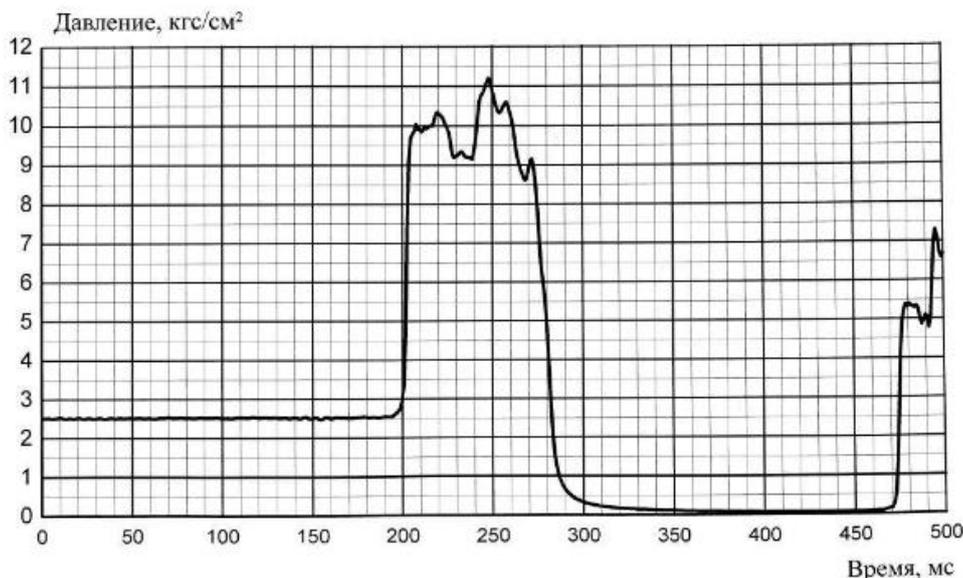


Рис. 2. Пример гидроудара на основе графика роста давления при закрытии задвижки [2]

Для отступления жидкости от заглушки и формированию области отрыва, значение величины обратного давления должно превысить давление среды снаружи.

При реализации следующего фактора возможен отрыв жидкости с развитием вакуума:

$$\Delta P_{y0} > P_0 + \Delta P_h + \Delta P_m, \quad (1)$$

где ΔP_{y0} – максимальное повышение давления в фазе сжатия относительно внешнего давления; P_0 – абсолютное внешнее давление в резервуаре возле входа в трубу (т.е. давление относительно вакуума, а не атмосферы над поверхностью жидкости); ΔP_h – гидростатическая разность давлений между входом в трубу и заглушкой, если труба расположена не горизонтально; ΔP_m – необратимые потери давления при сжатии и расширении жидкости и стенок трубы.

Условие проявления фронта вакуума при пренебрежении потерями горизонтальной трубы определяется [4]:

$$\Delta P_{y0} > P_0. \quad (2)$$

Гидравлический удар может возникнуть даже при небольшой скорости потока, основное влияние оказывает жесткость остановки и нааккумулируемая кинетическая энергия. Также он может случиться и в случае столкновения с другим потоком, перемещающимся по трубе. Подобные случаи носят единичный характер. Авария может образоваться в любом закольцованном трубопроводе. При встречном столкновении сила гидроудара равна сумме давлений каждого из потоков. Повышение давления при встречном контакте равно разности перепадов давлений гидроударов каждого из потоков о статичное препятствие [5].

Положительный гидравлический удар представляет наибольшую опасность для водопроводных и отопительных систем. Последствием гидроудара может стать нарушение герметичности запорных элементов, произойти растрескивание трубы, выход из строя технологического оборудования. Задачей персонала, обслуживающего оборудование, является предупреждение возникновения гидравлических ударов, обнаружение и нейтрализация дефектов на ранней стадии развития.

Симптомами, характеризующими гидравлический удар, являются посторонние звуки (щелчки, стуки и т.д.), проявляющиеся при открываниях или перекрытиях запорного элемента [5, 6].

3. Защита от гидроудара. Невозможно полностью исключить явление гидравлического удара даже в правильно спроектированных системах. Свести к минимуму вероятность возникновения данного явления можно только при соблюдении правил монтажа и эксплуатации трубопроводных систем [3, 7].

Существует ряд действий, способствующих нейтрализации гидроудара:

1. Плановое перекрытие. Открывать или перекрывать запорную арматуру необходимо плавно, так давление будет постепенно выравниваться. Гидроудар при этом все равно происходит, сила гидравлического удара будет минимальной, потому что ударная волна не успеет обрести достаточную мощность и повредить оборудование.

2. Амортизация. Руководя процессом работы отопительной системы невозможно плавно регулировать движение потока жидкости. Амортизирующие устройства устанавливаются для смягчения гидроудара в системе. До установки клапана термостата ставится эластичная трубопроводная вставка из армированного пластика или термостойкого каучука. Таким способом сбрасывается давление перед клапаном.

3. Шунтирование. Шунт – тонкая трубка диаметром 0,2 – 0,4 мм, которую монтируют в клапан по ходу движения жидкости, помогает снизить давление за клапаном. На работу трубопроводной системы влияния не оказывает. Подобный способ должен применяться только в системах, состоящих из новых трубопроводов, наличие же в них коррозии сводит на нет все усилия, так как она быстро заполнит отверстие.

4. Установка компенсирующих устройств. Принимают излишки жидкости, сокращая нагрузку на другие элементы системы. В момент повышения давления жидкости происходит воздействие на мембрану аккумулятора. Находящийся над мембраной воздух сжимается, и она перемещается в сторону. Давление падает за счет увеличения объема, заполняемого жидкостью. Как только действие гидроудара заканчивается, мембрана возвращается на исходное место.

5. Монтаж защитных клапанов. Размещают их на наиболее ответственных участках трубопровода, предрасположенных к гидравлическим ударам. Осуществляют свою деятельность они автономно или от команды контроллера, ответственного за работу системы. При превышении предельного уровня давления, защитный клапан открывается и выбрасывает излишки жидкости наружу. С условием опорожнения размещают их там, где они не принесут никому вреда или дискомфорта. В первоначальное положение клапан приходит по мере изменения давления.

6. Проведение профилактических мер. Изменение величины давления и вибрация трубопровода способствуют образованию микротрещин в структуре металла. После завершения монтажа и выполнения ремонта необходима балансировка отопительной системы.

Работы, выполняемые по предотвращению аварий [2, 8]:

- проверка работоспособности манометра, воздухоотводчика, предохранительного клапана;
- апробирование системы на наличие утечек;

- проверка давления за мембраной расширительного бака;
- апробирование системы на наличие утечек;
- обследование состояния фильтров, задерживающих накипь, песок и частицы ржавчины, при необходимости – прочистка и промывка элементов.

Искусственно снижать накапливаемое давление не выйдет: во-первых, при небольшой скорости напор низкого давления перейдет на компенсацию гидравлического трения, во-вторых, существует физический смысл уравнения Бернулли (давление больше в тех местах струи, где скорость в ней меньше и, следовательно, где сечение струи больше, и наоборот). Зависимость потока на входе трубы при заданном напоре может достигнуть ограниченной скорости даже для сверхтекучей жидкости [4, 9, 10].

Выводы. Исходя из вышесказанного, при эксплуатации производственного оборудования следует снижать риск возникновения аварийных ситуаций. Требуется выполнять действия, предотвращающие или сглаживающие резкие перепады давления. При первых проявлениях повреждений, чтобы не вывести оборудование, располагающееся в непосредственной близости, немедленно предотвращать разрушительные последствия гидравлического удара. Это повысит степень надежности и безопасности любого объекта. На стадии проектирования должен быть заложен расчет нестационарных процессов при выходе элементов оборудования из строя, реализованный в программной среде.

Многокомпонентная и разветвленная трубопроводная система требует правильного обслуживания и постоянной модернизации. Наличие гидроаккумулирующих емкостей в системах, установка компенсаторов, резиновых вставок в местах соединения трубопровода с насосным оборудованием, отлаженная автоматизация, правильно произведенная пусконаладка, заблаговременное обслуживание систем внимательным и квалифицированным персоналом – все это залог надежной и долговечной работы трубопроводной системы.

Библиографический список

1. Гидравлический удар: что это такое и как с этим бороться [Электронный ресурс]. URL: https://armstroy-nn.ru/useful_info/article/gidravlicheskiy-udar-chto-eto-takoe-i-kak-s-etim-borotsya/?ysclid=I911z15tk155018984 (дата обращения: 25.11.2022).
 2. Гидравлический удар [Электронный ресурс]. URL: <https://gidropnevm.ru/gidravlika/gidravlicheskiy-udar?ysclid=I91288bwr645812259> (дата обращения: 28.01.2023).
 3. Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. М.–Л.: Гостехиздат, 1949. 103 с.
 4. Основы гидравлики и аэродинамики / В.И. Калицун [и др.]. М.: Стройиздат, 2001. 296 с.
 5. Беленко И.В., Петрикеева Н.А. Распределение полей скоростей в теплообменных аппаратах // Научная опора Воронежской области: сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2023. С. 263–266.
 6. Петрикеева Н.А., Лавлинская Е.А., Зыкова М.Ю. Аккумуляторы теплоты на фазовом переходе // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. 2015. №8. С. 226–233.
 7. Цуканова О.С., Петрикеева Н.А. Проблема борьбы с шумом. История и основные направления развития методов снижения уровня шума // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2009. № 1 (1). С. 67–74.
 8. Петрикеева Н.А., Турбин В.С., Сотникова О.А. Математическая модель процессов конденсации водяных паров на теплообменных поверхностях // Известия Тульского государственного университета. Серия: Строительство, архитектура и реставрация. 2006. № 10. С. 159–163.
 9. Турбин В.С., Сотникова О.А., Петрикеева Н.А. Управление процессами тепло-и массообмена в напорных экономайзерах котельных агрегатов // Известия Тульского государственного университета. Серия: Строительство, архитектура и реставрация. 2006. № 9. С. 269.
 10. Худиковский В.Л., Жемчужникова Н.А. Устройство глубокого дросселирования рабочего тела // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. 2003. № 1. С. 38–40.
- Для цитирования: Ермоленко Д.В., Мартыненко О.М., Петрикеева Н.А. Развитие гидравлического удара в трубопроводных системах // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. №4 (33). С. 31–35.

УДК 621.039

СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ БАССЕЙНА ВЫДЕРЖКИ

А. А. Кратько, Р. А. Кумаков

*Воронежский государственный технический университет**А. А. Кратько, студент кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)229-91-39, e-mail: teplosnab_kaf@vgsu.vrn.ru**Р. А. Кумаков, ст. преподаватель кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473) 271-53-21, e-mail: r.kum@yandex.ru*

Постановка задачи. После отработки топливные элементы атомных электростанций имеют повышенное радиоактивное излучение и сохраняют способность к тепловыделениям. Это тепловыделение должно быть контролируемым и безопасным для персонала станции. С этой целью предусматривают бассейны выдержки и охлаждения.

Результаты. В работе рассмотрены основные положения, связанные с обеспечением безопасности функционирования бассейна охлаждения и выдержки. На стадии проектирования и строительства необходимо предусматривать системы автоматики и безопасности, контролирующие параметры контура и обеспечивающие безопасность работы системы в целом.

Выводы. Результатом проведенного анализа являются установленные аспекты технической правильной эксплуатации и строительства аварийного и планового расхолаживания, что позволяет подтвердить надежность и эффективность использованного впервые в системах безопасности атомных энергостанций водоструйного агрегата. Выявлены действенные меры по защите технологического оборудования.

Ключевые слова: охлаждение, тепловыделения, бассейн, излучение, аварийная система, стержни.

Введение. Топливо атомных электростанций представляет собой ядерный компонент из таблеток гексафторида урана, которые плотно уложены в металлических стержнях. Отработавшее положенный срок топливо после реактора содержит не выгоревшие радиоактивные элементы и еще какое-то время в стержнях проходит опасная для человека ядерная реакция с выделением излучения и небольшого количества теплоты. На открытом воздухе реакция активизируется и разогрев значителен (до нескольких сотен градусов). С этой целью их нужно охлаждать, изолировать от персонала, и только потом утилизировать окончательно. Для этого используют бассейны выдержки как первичное хранилище стержней. По статистике в течении года выдержки тепловыделения падают примерно в 200 раз, а радиоактивное излучение примерно в 10 раз. Через пять лет радиоактивное загрязнение снижается в 30–40 раз. После этого их можно перевозить в сухое хранилище с дальнейшей переработкой [1, 2].

Требования к бассейнам выдержки достаточно строгие и охлаждающей воде фактически не позволяют нагреваться свыше 38 °С. Теоретически допустимый максимум составляет 70 °С. Также производят контроль за чистотой воды. С этой целью нагревшуюся воду пропускают через систему насосов и фильтров в теплообменные аппараты, охлаждают и подают обратно. Затем цикл повторяют, при необходимости вода пополняется под контролем уровнемеров и системы автоматики [3, 4]. Для этого существует ряд технических средств, объединенных в системы. Рассмотрим некоторые из них более подробно [1].

1. Система аварийного и планового расхолаживания первого контура и охлаждения бассейна выдержки (JNA). Наличие данных систем необходимо предусматривать на стадии проектирования и строительства объекта. Она предназначена для выполнения ряда функций:

- расхолаживания реакторной установки до 70 °С после останова реактора, когда отвод тепла через парогенераторы становится малоэффективным ($P_{IK} < 2,1$ МПа, $T < 150$ °С) во всех режимах работы блока (плановое, ремонтное, аварийное расхолаживание);
- отвода остаточного тепла от топлива в реакторе к системе промежуточного контура ответственных потребителей, предусматривающих работу системы;
- отвода остаточного тепла от топлива в бассейне во всех режимах работы блока;
- сохранение запаса теплоносителя в реакторе во время «большой течи»;
- аварийной подпитки первого контура в режиме «малых течей».

Кроме того, трубопроводы и оборудование, находящиеся за пределами защитной оболочки, выполняет локализующие функции, являясь барьером, препятствующим выходу радиоактивности за пределы защитной оболочки. В соответствии со структурой построения защитных систем безопасности система имеет два независимых физически разделенных канала. Они обеспечивают выполнение функций безопасности в полном объеме в режимах проектных аварий.

В состав первого и второго каналов входят:

- теплообменник аварийного и планового расхолаживания;
- насосы аварийного расхолаживания;
- насос водоструйный основной;
- фильтрующее устройство;
- регулирующая и запорная арматура;
- предохранительные и обратные клапаны,
- трубопроводы.

Расположение оборудования системы обеспечивает возможность проведения технического освидетельствования, периодических осмотров основного оборудования, обслуживания и ремонта оборудования системы при работе реактора на мощности. Часть элементов системы, включая трубопроводы и арматуру, размещается в защитной оболочке здания. Основная часть элементов системы (теплообменники, трубопроводы и арматура) размещена в здании, относящемся к I категории сейсмостойкости. С целью снижения накопления отказов в системе предусмотрено разделение систем электрического оборудования: отказы в одном из каналов не приводят к отказам в другом.

2. Характеристика оборудования системы. Запасом жидкости в системе является раствор борной кислоты БВ сверх уровня, необходимого для безопасного хранения топлива, с соответствующими показателям [1, 2], приведёнными в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики раствора

№ поз.	Наименование показателей	Контрольный уровень
1	Величина pH	не менее 4,2
2	Концентрация борной кислоты, г/дм ³	16,0÷20,0
3	Концентрация хлорид-ионов, мг/дм ³	не более 0,1
4	Концентрация сульфат-ионов, мг/дм ³	не более 0,2
5	Концентрация ООУ, мг/дм ³	не более 1,0
6	Концентрация кремниевой кислоты, мг/дм ³	не более 1,0

Система аварийного и планового расхолаживания и охлаждения бассейна выдержки 1 JNA имеет связи со следующими системами:

- 1) спринклерная система 1 JMN;
- 2) система аварийного ввода бора 1 JND;
- 3) система промконтур ответственных потребителей;
- 3) система аварийного охлаждения активной зоны, пассивная часть;
- 4) система главных циркуляционных трубопроводов;
- 5) система дренажей и организованных протечек первого контура;
- 6) система отбора проб из оборудования здания;
- 7) система удержания расплавленной активной зоны вне реактора;
- 8) система сбора протечек борсодержащих вод;
- 9) система дистиллята;
- 10) система охлаждения бассейна выдержки;
- 11) система гидроёмкостей второй ступени;
- 12) система охлаждающей воды ответственных потребителей;
- 13) система спецканализации здания.

Система JNA является резервной и выполняет функцию охлаждения топлива в бассейне при выводе в ремонт оборудования системы ФАК 10-20. При полной выгрузке активной зоны в бассейн выдержки поддержание требуемой температуры обеспечивается совместной работой одного канала системы ФАК 10-20 и одного канала системы JNA. Упрощенная схема канала системы и основные технические характеристики оборудования системы 1 JNA приведены соответственно на рис.1 и в табл. 2 [1, 2].

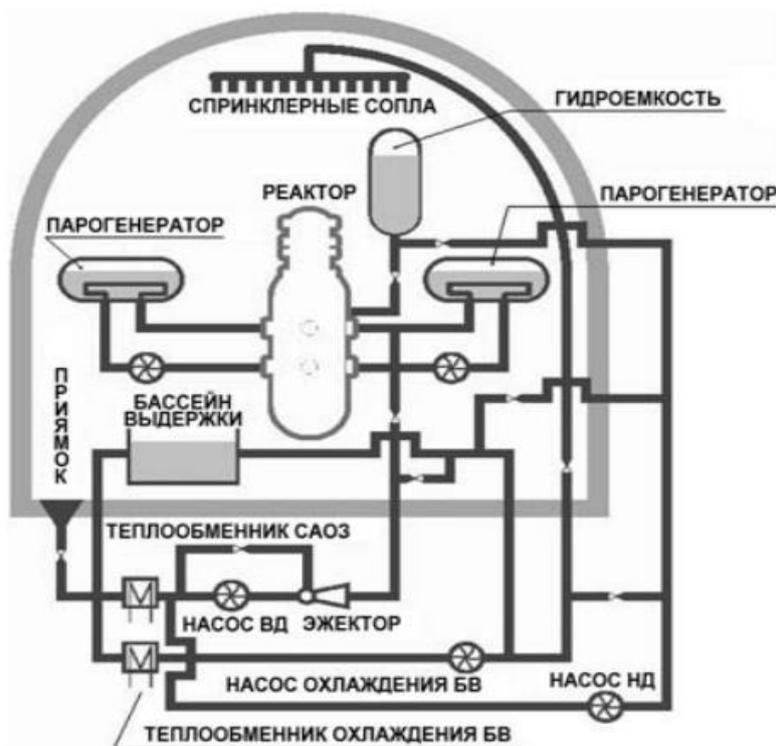


Рис.1. Упрощенная схема канала системы JNA [1]

Таблица 2

Технические характеристики оборудования 1 JNA

№ поз.	Наименование	Основные технические характеристики оборудования
1	2	3
1	Теплообменник аварийного и планового расхолаживания первого контура и охлаждения бассейна выдержки	<p>Тип М30-FD, ТУ 3612-149-07542603-09.</p> <p>Конструкция – двухмодульный, пластинчатый.</p> <p>Расчётное давление по охлаждающей стороне – 1,0 МПа. Расчётное давление по охлаждаемой стороне – 2,1 МПа.</p> <p>Расчётная температура по охлаждающей стороне – 150 °С. Расчётная температура по охлаждаемой стороне – 150 °С.</p> <p>Расход по охлаждающей стороне 2500 м³/ч.</p> <p>Расход по охлаждаемой стороне до 1800 м³/ч.</p> <p>Среда по охлаждающей стороне – обессоленная вода промконтура. Среда по охлаждаемой стороне – теплоноситель 1-го контура.</p> <p>Материал пластин – 10X17H13M2T.</p>
2	Насос аварийного расхолаживания	<p>Тип АЦН 230-65А.</p> <p>Расход от 70 до 300 м³/ч.</p> <p>Напор от 800 до 660 м.</p> <p>Давление на входе не более – 2,1 МПа.</p> <p>Температура перекачиваемой борированной воды от 13 °С до 130 °С.</p> <p>Допускаемый кавитационный запас – 3,5 м.</p> <p>Материал проточной части – сталь аустенитного класса.</p> <p>Номинальная мощность двигателя 800 кВт.</p> <p>Частота вращения 3000 об/мин. Направление вращения – против часовой стрелки.</p>
3	Насос водоструйный основной	<p>Подача до 700 м³/ч.</p> <p>Материал проточной части – сталь аустенитного класса.</p>
4	Насос аварийного расхолаживания	<p>Тип АЦН-800-15А.</p> <p>Расход в рабочей точке от 300 до 900 м³/ч. Напор в рабочей точке – 230 до 130 м.</p> <p>Давление на входе не более 2,16 МПа.</p> <p>Температура на входе не более 50 °С.</p> <p>Допускаемый кавитационный запас – 3,4 м.</p> <p>Номинальная мощность двигателя 630 кВт.</p> <p>Направление вращения (со стороны двигателя) – против часовой стрелки. Материал проточной части – сталь аустенитного класса.</p>

Продолжение табл.2

1	2	3
5	Фильтрующее устройство	<p>Площадь фильтрующей поверхности 144,4 м². Максимальный расход при одновременной работе всех аварийных насосов первого контура с пола гермооболочки 4200 м³/ч. Максимальный расчётный перепад давления 0,03 МПа. Количество фильтрующих элементов ОП196.01.00.00 – 80 шт. Зазоры в стыках, отделяющих грязную зону от чистой не более 0,7 мм. Расстояние между фильтрующими элементами 180 мм. Тип фильтруемого материала – супертонкое стекловолокно по ТУ 5953-159-0578694-00. Фильтруемая среда – раствор воды с концентрацией бора от 12 до 20 г/л с параметрами: – значение от 7 до 10 рН – температура от 50 °С до 150 °С. Габаритные размеры одного БФМ (Д×Ш×В), не более 3700 мм×1600 мм×2300 мм. Масса – 3840 кг.</p>

Выводы. Бассейн выдержки и охлаждения является вспомогательным контуром перед утилизацией топливных стержней. Контроль роста температуры и излучения сдерживается системой автоматики и безопасности, являющейся обязательным элементом системы. Система JNA является резервной и выполняет функцию охлаждения топлива в бассейне. В работе рассмотрена схема канала системы и проанализированы основные технические характеристики оборудования системы 1 JNA. С целью снижения накопления отказов в системе предусмотрено разделение систем электрического оборудования для того чтобы отказы в одном из каналов не приводили к отказам в другом. Наличие данных систем необходимо предусматривать на стадии проектирования и строительства объекта. В результате постоянных разработок и исследований, а также уже введенных инноваций увеличена общая надежность систем безопасности.

Библиографический список

1. Основные результаты пусконаладочных работ по системе аварийного и планового расхолаживания блока АЭС-2006 С РУ В-392М / Д.Б. Стацера, А.С. Вольнов, В.Н. Шкаленков, К.В. Жирнов, Р.М. Топчиян // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2017. № 3. С.55–65.
 2. Нововоронежская АЭС. Проект АЭС-2006 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/f01/f01b5ca309dbda1917c112d6897c0959.pdf> (дата обращения: 20.06.2017).
 3. Петрикеева Н.А., Турбин В.С., Сотникова О.А. Математическая модель процессов конденсации водяных паров на теплообменных поверхностях // Известия Тульского государственного университета. Серия: Строительство, архитектура и реставрация. 2006. № 10. С. 159–163.
 4. Турбин В.С., Сотникова О.А., Петрикеева Н.А. Управление процессами тепло-и массообмена в напорных экономайзерах котельных агрегатов // Известия Тульского государственного университета. Серия: Строительство, архитектура и реставрация. 2006. № 9. С. 269.
- Для цитирования: Кратько А.А., Кумаков Р.А. Система безопасности бассейна выдержки // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. № 4 (33). С. 36–40.

УДК 621.039.68

СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Н. С. Каракаш, К. А. Складов, С. Г. Тульская

*Воронежский государственный технический университет**Н. С. Каракаш, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)450-83-16, e-mail: nikita-kar96@mail.ru**К. А. Складов, канд. техн. наук, доц. кафедры техносферной и пожарной безопасности**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-30-00, e-mail: u00078@vgasu.vrn.ru**С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru*

Постановка задачи. Безопасность работы атомных электростанций на всех стадиях их жизненного цикла является приоритетной вне зависимости от ситуации в стране и выбранного внешнеполитического курса. Любое нарушение безопасности может стать фатальным, поэтому обязательным является исполнение нормативов, рабочих и должностных инструкций.

Результаты. В работе рассмотрены рекомендации, порядок действий и выдержки рабочих инструкций, необходимые для безопасного и оптимального функционирования оборудования атомных электростанций. Все мероприятия должны быть предусмотрены еще на стадии строительства и проектирования.

Выводы. В соответствии с разработанными федеральными и локальными нормативами и инструкциями необходимо выполнять все необходимые мероприятия, такие как испытания, проверки, контроль параметров безопасности, моделирование и анализ штатных и нештатных ситуаций.

Ключевые слова: системы безопасности, контроль, контур, энергоблок, автоматика, барьер, эксплуатация.

Введение. Атомные электростанции (АЭС) Российской Федерации эксплуатируются надежно и безопасно, что подтверждается результатами регулярных проверок как независимых органов (Ростехнадзора), так и международных организаций (ВАО АЭС и др.). На Российских АЭС с 1998 года не зафиксировано ни одного нарушения безопасности, классифицируемого выше первого уровня по Международной шкале INES [1]. Безопасность в промышленности и строительстве всегда находится на первом месте.

Ближайшей и технически используемой в г. Воронеже АЭС является Нововоронежская атомная станция. Согласно сведениям, имеющимся в открытом доступе, ее текущее состояние выглядит следующим образом (рис.1). В результате постоянных разработок и исследований, а также уже введенных инноваций увеличена общая надежность систем безопасности. Успешное завершение ресурсных испытаний агрегата системы аварийного и планового расхолаживания позволило подтвердить надежность и эффективность использованного впервые в системах безопасности АЭС водоструйного агрегата [2]. В данном случае он был включен в технологическую схему на стадии модернизации, позже данный тип предусмотрен уже на стадии проектирования и строительства.

Развитие принципа совмещения функций позволило принять простые технологические решения, обеспечивающие в процессе развития аварии выполнение ряда последовательных функций безопасности одним набором механизмов, что исключает необходимость дополнительных переключений, являющихся источником отказов, допускает уменьшение количества единиц оборудования, трубопроводов, арматуры, блокировок и т.п. [2].

№ блока	Тип реакторной установки	Год пуска	Год останова для вывода из эксплуатации
1	ВВЭР-210	1964	1984
2	ВВЭР-365	1969	1990
3	ВВЭР-440 (срок службы – 30 лет)	1971	2016
4	ВВЭР-440 (срок службы – 30 лет)	1972	2032
5	ВВЭР-1000 (срок службы – 30 лет)	1980	2040
НВАЭС-2 №1	ВВЭР-1200 (срок службы – 60 лет)	2017	2077
НВАЭС-2 №2	ВВЭР-1200 (срок службы – 60 лет)	2019	2079

Рис.1. Характеристика энергоблоков НВАЭС [1]

Рассмотрим подробнее некоторые системы безопасности.

1. Проверки и испытания системы контура. Перед пуском блока, при работе на мощности, в процессе останова блока, а также после выполнения ремонта системы или отдельного оборудования, проводятся проверки и испытания системы в целях подтверждения соответствия технических характеристик проектным. Сроки, объем и методы проведения испытаний определяются программами испытаний. В целях поддержания работоспособности системы в процессе эксплуатации, выявления возможных скрытых отказов ее компонентов, проводятся периодические проверки каналов. Они проводятся при работе реактора на мощности и при остановленном реакторе, включая работу от дизельгенераторов, с проверкой формирования и прохождения сигналов на включение системы. Длительность между очередными проверками каждого канала не должна превышать одного месяца.

Вывод нерезервируемых элементов канала системы в незапланированный ремонт во время работы энергоблока на мощности или минимально контролируемом уровне мощности (МКУ) выполняется в случае обнаружения отказа данных элементов при условии полного подтверждения работоспособного состояния аналогичных элементов системы другого канала. Допустимое время ремонта в данном состоянии равно 72 часа.

Энергоблок должен быть остановлен и переведен в «горячее» состояние при превышении указанного допустимого времени ремонта. В случае отказа нерезервируемых элементов канала в режиме разогрева энергоблока, разрешается продолжать разогрев и поддерживать энергоблок в «горячем» состоянии до устранения отказа элемента. Допустимое время ремонта в «горячем» состоянии с учетом фактически затраченного времени ремонта нерезервируемых элементов во время работы энергоблока на мощности составляет 192 часа.

При превышении указанного времени ремонта энергоблок должен быть переведен в «холодное» состояние, в котором работы по восстановлению отказавших нерезервируемых элементов должны быть продолжены до полного устранения отказов. Энергоблок должен быть остановлен и переведен в «холодное» состояние также при обнаружении отказа нерезервируемых элементов двух каналов системы, за исключением отказов элементов линий вывода теплоносителя первого контура. Вывод в ремонт указанных элементов производится без перехода в холодное состояние до полного устранения отказов.

Перед пуском энергоблока, в случае обнаружения отказов элементов канала системы при опробовании и техническом обслуживании, энергоблок не переводится в состояние «разогрев» и не выводится на мощность, а остается в состоянии «холодный останов». После

устранения отказов элементов канала системы энергоблок переводится в «горячее» состояние и выводится на мощность. Перед выходом энергоблока в состояние минимально-контролируемого уровня мощности количество работоспособных элементов канала системы должно быть не ниже, чем при работе энергоблока на мощности.

В процессе эксплуатации элементы системы подвергаются следующим испытаниям и проверкам в соответствии с программами испытаний:

- гидравлические (пневматические) испытания оборудования и трубопроводов;
- испытания арматуры (проверка открытия и закрытия, отсутствие протечек, исправность указателей положения и т.д.);
- испытания и проверка настройки предохранительной арматуры.

Сроки и требования к проведению данных испытаний приведены в соответствующих программах испытаний, которые разрабатываются на основе заводской документации, технологического регламента по эксплуатации и других документов. В условиях нормальной эксплуатации с периодичностью один раз в 672 часа проводится проверка работоспособности одного канала при работе реактора на мощности и при остановленном реакторе, включая работу от дизельгенераторов, с проверкой формирования и прохождения сигналов на включение системы. По требованию Ростехнадзора могут проводиться внеочередные проверки.

2. Барьеры безопасности. Система безопасности современных российских АЭС состоит из четырех барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду. Первый – это топливная матрица, предотвращающая выход продуктов деления под оболочку тепловыделяющего элемента. Второй – сама оболочка тепловыделяющего элемента, не дающая продуктам деления попасть в теплоноситель главного циркуляционного контура. Третий – главный циркуляционный контур, препятствующий выходу продуктов деления под защитную герметичную оболочку. Наконец, четвертый – это система защитных герметичных оболочек (контайнмент), исключающая выход продуктов деления в окружающую среду. Если что-то случится в реакторном зале, вся радиоактивность останется внутри этой оболочки.

3. Система отсечения главных паропроводов. Проектом обычно предусмотрены эксплуатационные испытания и контроль за состоянием оборудования системы, включающие:

- периодические осмотры элементов системы;
- периодические функциональные испытания с целью проверки целостности компонентов, контроля работоспособности и готовности системы к выполнению заданных функций.

Для обеспечения требований надежности и долговечности быстродействующего запорно-отсечного клапана (БЗОК) и отсечной электроприводной задвижки должны производиться:

- профилактический осмотр и мелкий ремонт через 10000 часов работы установки;
- ревизия задвижек и необходимый ремонт через четыре года (30000 часов работы установки).

Вероятность безотказной работы БЗОК и отсечной электроприводной задвижки подтверждается заводом-изготовителем расчетным методом, в том числе на двухфазной среде. Гарантированное число циклов срабатываний (закрытие-открытие) подтверждается проведением приемочных испытаний. Способность арматуры сохранять прочность, герметичность и работоспособность при сейсмическом воздействии от максимального расчетного землетрясения подтверждается расчетным или экспериментальным путем (определяется разработчиком арматуры). Перед пуском блока проводится комплекс испытаний системы по программе пусконаладочных испытаний для проверки соответствия

БЗОК и отсечной электроприводной арматуры проектным техническим характеристикам. В процессе эксплуатации предусматриваются периодические испытания БЗОК и отсечной электроприводной арматуры при работе блока на мощности и при остановленном реакторе с проверкой формирования и прохождения сигналов на включение системы.

Проверка функциональной способности действия БЗОК и схем управления, а также отсечных электроприводных задвижек, проводится перед первым пуском блока и последующими плановыми пусками. При этом проверяется правильность настройки конечных выключателей, сигнализации крайних положений, время закрытия БЗОК и отсечных электроприводных задвижек. Проверка работоспособности БЗОК при отсутствии давления в системе производится паром от коллектора собственных нужд. Опробование БЗОК свежим паром проводится при давлении в главном паропроводе более 0,5 МПа.

Периодичность опробования выбирается в соответствии с требованиями заводской документации, норм и правил по безопасности, технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока, а также в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

Проверки и испытания проводятся по программам, в которых определяются цели, порядок, методы и достигаемые критерии испытаний, а также меры безопасности и ответственные лица. Программы испытаний разрабатываются на основе заводской документации, технологического регламента безопасной эксплуатации, норм и правил по безопасности [3].

4. Система защиты второго контура от превышения давления. Перед пуском блока проводятся испытания импульсно-предохранительного устройства (ИПУ) по программе пусконаладочных испытаний для проверки соответствия проектным техническим характеристикам. При этом проверяется формирование и прохождение сигналов на включение системы, а также срабатывание предохранительных устройств.

Периодичность и объем испытаний определяются в соответствии с требованиями заводской документации, технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока, а также в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Для повышения надежности системы защиты второго контура от превышения давления проектом предусмотрены эксплуатационные испытания и контроль за состоянием оборудования системы, включающие:

- периодические осмотры элементов системы;
- периодические функциональные испытания в соответствии с нормативно-технической документацией.

Комплексная проверка элементов системы производится один раз в год. Эти испытания проводятся по программам, в которых определяются цели, порядок, методы и достигаемые критерии испытаний, а также меры безопасности и ответственные лица [3].

5. Система пассивного отвода тепла. Перед пуском станции проводятся частные и комплексные испытания системы по программе пусконаладочных испытаний для проверки того, что достигнута проектная техническая характеристика системы и ее компонентов. Периодичность и объем испытаний определяются в соответствии с требованиями заводской документации, технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока, а также в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Испытания система пассивного отвода тепла (СПОТ) проводятся во время пусконаладочных работ системы в период пуска АЭС и совмещаются с пуско-наладочными работами.

Для повышения надежности системы пассивного отвода тепла проектом предусмотрены эксплуатационные испытания и контроль за состоянием оборудования системы, включающие:

- периодические функциональные испытания в соответствии с нормативно-технической документацией;

– периодические осмотры элементов системы.

Испытания отдельных компонентов в составе системы проводятся перед выводом в плановый ремонт, после ремонта, а также при нормальной эксплуатации, в составе контура циркуляции с периодичностью испытаний каждого контура один раз в год. Если утрачивается работоспособность одной петли (контур СПОТ), то ее работоспособность должна быть восстановлена за 72 часа.

В результате введенных в действие мероприятий на АЭС, включающих жесткий контроль и реконструкцию ряда систем, в том числе автоматики безопасности, можно выделить глобальные проблемы, имеющие важное значение для АЭС в целом (рис.2).



Рис.2. Результат введения усовершенствований НВАЭС [1]

Выводы. Периодичность и объем испытаний выбирается в соответствии с требованиями заводской документации, технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока, а также в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Испытания системы проводятся по программам, в которых определяются цели, порядок, методы и достигаемые критерии испытаний, а также меры безопасности и ответственные лица. В период работы блока на мощности периодической проверки требуют те механизмы, которые меняют свое положение при выполнении системой функций безопасности. При ведении работ учитывают требования федеральных и локальных нормативных актов, которые являются обязательными к исполнению и напрямую или косвенно влияют на безопасную и стабильную работу оборудования. Обеспечение безопасности и на стадии проектирования, и на стадии строительства, и на стадии эксплуатации, особенно на таких объектах как АЭС, должно быть всегда в приоритете.

Библиографический список

1. Основные результаты пусконаладочных работ по системе аварийного и планового расхолаживания блока АЭС-2006 С РУ В-392М / Д.Б. Стацур, А.С. Вольнов, В.Н. Шкаленков, К.В. Жирнов, Р.М. Топчийн // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2017. №3. С.55–65.
 2. Беленко И.В., Скляров К.А., Петрикеева Н.А. Надежность работы тепловых электрических станций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 40–45.
 3. Кожухов Р.О., Петрикеева Н.А. Экологические аспекты при передаче высоковольтной электрической энергии // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2015. № 2 (19). С. 47–51.
- Для цитирования: Каракаш Н.С., Скляров К.А., Тульская С.Г. Системы безопасности атомных электростанций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. №4(33). С.41–45.

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Уважаемые авторы, пожалуйста, строго следуйте правилам написания и оформления статей для опубликования в журнале «Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации».

1. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Обязательными структурными элементами статьи являются *Введение* (~0,5 страницы) и *Выводы* (~0,5 страницы), другие логические элементы (пункты и, возможно, подпункты), которые следует выделять в качестве заголовков.

1.1. *Введение* предполагает:

- обоснование актуальности исследования;
- анализ последних публикаций, в которых начато решение исследуемой в статье задачи (проблемы) и на которые опирается автор в своей работе;
- выделение ранее не решенных частей общей задачи (проблемы);
- формулирование цели исследования (постановка задачи).

1.2. Основной текст статьи необходимо структурировать, выделив логические элементы заголовками (например, «Анализ характера разрушения опытных образцов...», «Расчет прочности тела фундамента»). В основном тексте рекомендуется выделение не менее двух пунктов (разделов).

1.3. Завершить изложение необходимо *Выводами*, в которых следует указать, в чем заключается научная новизна изложенных в статье результатов исследования («Впервые определено/рассчитано...», «Нами установлено...», «Полученные нами результаты подтвердили/опровергли...»).

1.4. Оригинальность научной работы должна составлять не менее 75 %, при этом величина цитирования и самоцитирования в это значение не входят.

2. Особое внимание следует уделить аннотации: она должна в сжатой форме отражать содержание статьи. Логически аннотация, как и сам текст статьи, делится на три части - *Постановка задачи* (или *Состояние проблемы*), *Результаты*, *Выводы*, которые также выделяются заголовками. Каждая из этих частей в краткой форме передает содержание соответствующих частей текста - введения, основного текста и выводов. Аннотация приводится сразу после информации об авторах.

Требуемый объем аннотации – 7÷10 строк, набранных шрифтом высотой 10 пт. Отступ справа и слева – 1 см, выравнивание по ширине.

3. Обязательно указание мест работы всех авторов, их должностей, контактной информации (сведения об авторах приводятся в начале статьи и набираются шрифтом высотой 10 пт.).

4. Объем статьи должен составлять не менее 4 и не более 10 страниц формата А 4. Поля слева и справа – по 2 см, снизу и сверху – по 2,5 см.

5. Обязательным элементом статьи является индекс УДК, который приводится перед заглавием.

6. Ключевые слова, расположенные в тексте после аннотации, приводятся шрифтом высотой 10 пунктов и помогают в поиске материала статьи в сети Интернет.

7. Для основного текста используйте шрифт Times New Roman высотой 12 пунктов с одинарным интервалом. Не используйте какой-либо другой шрифт. Для обеспечения однородности стиля не используйте курсив, а также не подчеркивайте текст. Отступ первой строки абзаца – 1 см.

8. Графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них. Название иллюстраций (10 пт., обычный) дается под ними после слова Рис. с

порядковым номером (10 пт., полужирный). Если рисунок в тексте один, номер не ставится. Все рисунки и фотографии желательно представлять в цветном варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение не менее 300 dpi. Избегайте тонких линий в графиках (толщина линий должна быть не менее 0,2 мм). Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются.

9. Слово «Таблица» с порядковым номером размещается по правому краю. На следующей строке приводится название таблицы (выравнивание по центру без отступа) без точки в конце. Единственная в статье таблица не нумеруется.

10. На первой странице внизу также обязательным элементом является указание авторского знака © с перечислением ФИО всех авторов и года издания статьи.

11. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми. Все употребляемые автором обозначения и аббревиатуры должны быть определены при их первом появлении в тексте.

12. Все латинские обозначения набираются курсивом, названия функций (sin, cos, exp) и греческие буквы - обычным (прямым) шрифтом. Все формулы должны быть набраны только в редакторе формул MathType. Расположение формулы по центру, нумерация по правому краю. Пояснения к формулам (экспликация) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки).

13. Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1]. Библиографический список приводится после текста статьи на русском языке в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008. Список источников приводится в алфавитном порядке или по порядку их упоминания в тексте.

14. Статьи представляются в электронном и отпечатанном виде, печатный экземпляр должен быть подписан всеми авторами.

15. Редакция обеспечивает рецензирование статей. Статья рецензируется не более двух раз, после повторной отрицательной рецензии статья отклоняется.

16. Для публикации статьи необходимо заполнить и выслать на адрес редакции сопроводительное письмо (шаблон письма размещен на сайте журнала <http://journal-gik.wmsite.ru>).

17. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи.

18. Редакция поддерживает связь с авторами преимущественно через электронную почту – будьте внимательны, указывая адрес для переписки.

19. Представляя рукопись в редакцию, автор гарантирует, что:

– он не публиковал и не будет публиковать статью в объеме более 50 % в других печатных и (или) электронных изданиях, кроме публикации статьи в виде препринта;

– статья содержит все предусмотренные действующим законодательством об авторском праве ссылки на цитируемых авторов и издания, а также используемые в статье результаты и факты, полученные другими авторами или организациями;

– статья не включает материалы, не подлежащие опубликованию в открытой печати, в соответствии с действующими нормативными актами.

Автор согласен с тем, что редакция журнала имеет право:

– предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;

– производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи;

– допечатывать тираж журнала со статьей автора, размещать в СМИ предварительную и рекламную информацию о предстоящей публикации статьи и вышедших в свет журналах.

20. Рукописи статей авторам не возвращаются (даже в случае отказа в публикации) и вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается.