ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО
ИНФРАСТРУКТУРА
КОММУНИКАЦИИ

Выпуск № 3(44) 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЬИ ОБРАЩАТЬСЯ В РЕДАКЦИЮ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

тел.: +7(473)2-07-22-20;

e-mail: gik_vgasu@mail.ru.

Ознакомиться с ***электронной версией журнала*** можно на сайте:

http:// journal-gik.wmsite.ru

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

http://www.elibrary.ru

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРА КОММУНИКАЦИИ

Выпуск № 3(44)

Сентябрь, 2026

- 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

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО
ИНФРАСТРУКТУРА
КОММУНИКАЦИИ

Научный журнал

Издается с 2015 года **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
Кущев 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 30.09.2026. Усл. печ. л. 7,44. Формат 60×84/8. Тираж 25 экз. Заказ № 133.
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

12+

© ВГТУ, 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

СОДЕРЖАНИЕ

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ 6

Сокольская О. Н., Цупрунов А. Е., Дубиненко Н. А.
Архитектурно-планировочная концепция застройки на территории Черноморского побережья Краснодарского края с учетом бризовых ветров 6

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ 13

Гуляев И. И., Серикова У. Г., Петрикеева Н. А.
Влияние материала труб на уровень ответственности объектов в строительстве 13

Плеханов В. О., Бурлуцкий Д. С., Коровкина А. И.
Стратегические вызовы и инновационные пути развития газоснабжения в Российской Федерации 17

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА 21

Орлов С. Р., Стороженко М. С., Колосова Н. В.
Технологические инновации в бурении скважин 21

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ 27

Сенан А. М. М., Гринев Д. Д., Гущина А. Р.
Методика оценки достоверности данных мониторинга при обеспечении механической безопасности сооружений 27

Сенан А. М. М., Сылка Э. А., Гринев Д. Д.
Усиление капителей безбалочного перекрытия 32

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА 38

Титкова Я. А., Головина Е. И., Ашихмина Т. В.
Мониторинг и оценка состояния атмосферного воздуха города Воронежа 38

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ) 43

Рыбакова С. Д., Щурова А. Р., Серикова И. А.
Современные газоанализаторы как средство повышения безопасности на промышленных объектах 43

Панышева А. А., Максименков А. М., Петрикеев А. Д., Сериков Г. С.
Повышение промышленной безопасности на объектах теплоэнергетики с помощью БПЛА 51

Самофалова А. С., Брехин И. Ю.
Проблемы вибронагруженности узлов и машин нефтегазовой отрасли 55

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ 62

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

УДК 711.4

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЗАСТРОЙКИ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ С УЧЕТОМ БРИЗОВЫХ ВЕТРОВ

О. Н. Сокольская, А. Е. Цупрунов, Н. А. Дубиненко

Кубанский государственный технологический университет
О. Н. Сокольская, канд. техн. наук, доц. кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел.: +7(929)841-82-02, e-mail: ons33@mail.ru
А. Е. Цупрунов, студент кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел.: +7(918)480-59-90, e-mail: alexei060702@gmail.com
Н. А. Дубиненко, лаборант кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел.: +7(989)806-25-65, e-mail: nikita-dubinenko@yandex.com

Постановка задачи. Ведущим фактором на территории городов Черноморского побережья Краснодарского края, формирующим благоприятные для человека микроклиматические условия, является бризовый ветер. Изучение этого фактора является первостепенной задачей градостроительства в сфере обеспечения комфортного проживания людей на указанной территории. В рамках данного исследования представлена архитектурно-планировочная концепция застройки городов Черноморского побережья Краснодарского края с учётом бризовых ветровых потоков.

Результаты. В данном исследовании были применены данные о движении воздушных масс в приземном слое атмосферы, полученные с метеорологических спутников и наземных метеостанций. Впоследствии эти данные систематизировались с помощью метеорологических сервисов с целью формирования архитектурно-планировочной концепции застройки. Были представлены некоторые градостроительные и архитектурно-планировочные рекомендации с учетом влияния ветровых процессов в системе «суша – море» в теплый период года. Предложена альтернативная схема формирования улично-дорожной сети, новый подход к планированию общественных пространств и жилых территорий.

Выводы. В случае внедрения в градостроительную практику представленных решений, города Черноморского побережья Краснодарского края в жаркое время года станут более комфортными для проживания, что положительно скажется на качестве жизни населения и развитии туристического сектора местной экономики, а также сделает данную территорию более привлекательной для инвестиций.

Ключевые слова: градостроительство, Черноморское побережье, Краснодарский край, застройка, городская среда, архитектурное планирование, бриз, ветер, рельеф.

Введение. Уникальные природные условия городов Черноморского побережья Краснодарского края во многом определяют климатические характеристики данной местности. Нарастающая высотность гор Главного Кавказского хребта и непосредственная близость Чёрного моря создают благоприятные природно-климатические условия для

© Сокольская О. Н., Цупрунов А. Е., Дубиненко Н. А., 2026

проживания людей на этой территории [1]. Именно поэтому формирование архитектурно-планировочной концепции, способной учитывать все благоприятные факторы биоклимата среды городов Черноморского побережья Краснодарского края, является значимой и актуальной темой в сфере проведения градостроительных исследований.

Градостроительные и архитектурно-планировочные решения застройки на территории городов и населенных пунктов Черноморского побережья Краснодарского края должны учитывать особенности климата, ведущим из которых является бризовый ветер. Бризовый ветер (бриз) образуется в результате контраста температуры поверхностей моря и суши, действует только в теплый период года (т.е. с марта по ноябрь на черноморском побережье Краснодарского края) [2].

Бризовые ветры Черноморского побережья обладают уникальными свойствами по улучшению микроклиматических характеристик в теплое время года, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве городской застройки и благоустройстве территорий. Они способствуют уменьшению температурных показателей атмосферы приземного слоя прибрежных городов в жаркие летние дни, что, в свою очередь, формирует благоприятные микроклиматические характеристики городской среды и положительно сказывается на здоровья человека [3]. Доказано, что при развитии бризовых потоков, температура приземного слоя атмосферы снижается на величину до 10 °С. Скорость бризовых потоков Черноморского побережья составляет от 1 до 5 м/с [4]. Ряд научных трудов посвящен изучению влияния микроклиматических условий на состояние здоровья населения [5, 6].

1. Материалы и методы. Статья направлена на формирование альтернативных градостроительных, архитектурно-планировочных и объемно-планировочных концепций городской застройки, а также предложений по благоустройству городов, расположенных в Краснодарском крае, на побережье Чёрного моря, с учетом развития бризовых потоков в приземном слое атмосферной среды.

В данном исследовании проанализированы имеющиеся данные гидрометеорологических станций и архивные материалы о преобладающих направлениях ветров для крупных городов Краснодарского края, таких как Новороссийск, Геленджик, Туапсе и Сочи. Также были изучены климатические параметры температур (средних и максимальных) и влажности в приземном слое атмосферы прибрежных городов в теплый период года. Анализ тепловых и ветровых процессов был проведен при помощи известных компьютерных моделей, широко применяемых в прикладной метеорологии, таких как ICON, GFS и GEM. Указанные модели способны учитывать сложный рельеф горных массивов на Кавказе и акваторию Чёрного моря.

Помимо этого, анализировались розы ветров, что позволяет делать выводы о достоверности результатов исследования. Все вышеперечисленные данные были сопоставлены с топографической картой местности, что позволило составить графическую модель движения воздушных потоков.

2. Результаты исследования. Различия в типах климата на всем протяжении Черноморского побережья обуславливаются нарастающей высотой Главного Кавказского хребта, протянувшегося от Анапы до Абхазии. В Анапе высота гор Кавказского хребта минимальна, что позволяет холодным воздушным массам беспрепятственно проходить в город, климат города – средиземноморский. В то же время в районе города Сочи высота гор достигает 3500 метров, благодаря чему Кавказский хребет надежно защищает город от холодных циклонов. По существующей классификации климатических поясов установлено, что Сочи относится к субтропическому климату: зимы здесь мягкие, а летние периоды очень влажные и жаркие.

Проанализировав данные, полученные с метеостанций, были установлены различия в климате городов черноморского побережья. В летний период температура воздуха в Анапе

достигает плюс 28,9 °С, в то время как в Сочи она не поднимается выше плюс 26,5 °С. Средняя годовая температура воздуха так же плавно снижается на участке от Анапы до Сочи: Анапа – плюс 25,5 °С, Новороссийск – плюс 24,2 °С, Геленджик – плюс 24,2 °С, Туапсе – плюс 23,7 °С, Сочи – плюс 24 °С. При этом наблюдается повышение относительной влажности воздуха при переходе от средиземноморского климата в Анапе к субтропическому климату в Сочи. Относительная влажность в Анапе в летний период года составляет 60–65 %, в Новороссийске – 62–68 %, в Геленджике – 62–68 %, в Туапсе – 68–73%, в Сочи – 75–80 % [7].

Средние климатические показатели по разным городам Черноморского побережья Краснодарского края, полученные в результате анализа разнообразных статистических данных, представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1

Средние климатические показатели по некоторым городам на территории Черноморского побережья Краснодарского края

Климатические показатели	**Анапа**	**Новороссийск**	**Геленджик**	**Туапсе**	**Сочи**
Средняя температура	+13,4 °С	+12 °С	+12,4 °С	+12,4 °С	+13,9 °С
Максимальная температура	+28,9 °С	+28,9 °С	+28,1 °С	+27,5 °С	+26,5 °С
Средняя влажность	67,4 %	72 %	73,8 %	74 %	74,8 %

Бризовые ветры, действующие на территории Черноморского побережья Краснодарского края, способны оказывать некоторое воздействие на общие показатели биоклимата. Особенно это проявляется в летний период: благоприятные бризовые потоки позволяют снизить температуру приземного слоя атмосферы до 10 °С, уменьшить запыленность территории и термический нагрев подстилающей поверхности [4]. В среднем, оптимальными метеоусловиями на открытом воздухе, согласно нормативной литературе, считаются: температура плюс 20 °С, влажность воздуха 40–60 %, скорость воздуха 0,1–0,5 м/с, давление воздуха 760 мм рт. ст. Бризовые ветры позволяют максимально приблизить существующие показатели к оптимальным [8].

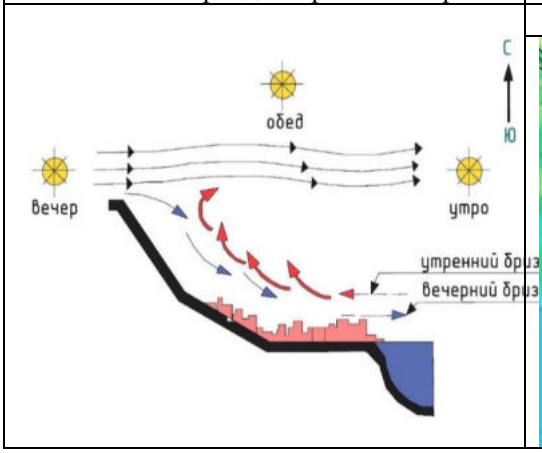
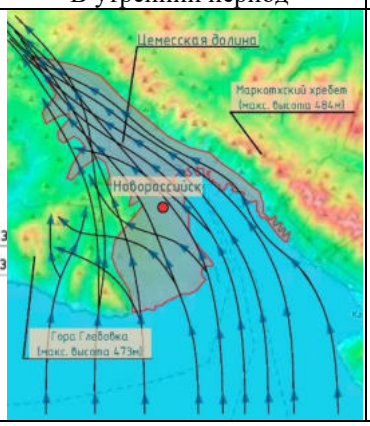
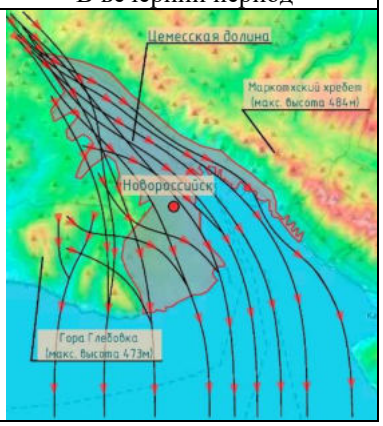
Направление бризовых ветров зависит от конфигурации береговой линии [9]. Днем, когда суша теплее моря, развивается морской бриз, направленный со стороны моря в сторону суши (рис. таблицы 2). В вечернее время возникает береговой бриз, который действует в противоположном направлении, а именно с суши в сторону моря (рис.). Существует множество научных исследований, в которых подробно рассматриваются бризовые ветры над Чёрным морем [10, 11]. Принцип действия бризовых потоков в утренний и вечерний период с марта по ноябрь на территории Черноморского побережья Краснодарского края представлен в виде таблицы 2.

Во многих городах Черноморского побережья (таких, как, например, Новороссийск, Геленджик, Туапсе и Сочи) уникальный рельеф формирует направление бризовых потоков [10]. Так, в Геленджике, расположенном вдоль берега закрытой Геленджикской бухты, бризовые потоки в утренний период времени формируются над водной гладью и, упираясь в горы Маркотхского хребта на северо-восточном направлении, равномерно рассредоточиваются по территории города. В вечерний период бризовые потоки имеют юго-западное направление.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

Таблица 2

Принцип действия бризовых потоков в утренний и вечерний период
с марта по ноябрь на территории Черноморского побережья Краснодарского края

Общая схема распространения бризовых потоков в период с марта по ноябрь	Схема распространения бризовых потоков в условиях города Новороссийска	
	В утренний период	В вечерний период
		

Город Туапсе не имеет бухты, как таковой, он расположен в долине, образованной горами Паук (255 м) и Туишхо (551 м), в пойме одноименной реки. Перепад высот в городе составляет 546 метров. Бризовые потоки в утренний период имеют северо-восточное направление, в вечерний – юго-западное. Бриз устремляется от побережья к горам Главного Кавказского хребта по сужающейся пойме реки Туапсе.

В Сочи, имеющем значительную протяжённость вдоль берега Чёрного моря, перепад высот в городе составляет около 856 метров, что позволяет городу оставаться защищенным от холодных воздушных потоков с севера, при этом благотворное влияние бризовых ветров усиливается. В утренний период времени бризовые потоки имеют северо-восточное направление, в вечерний – юго-западное.

Несколько иная тенденция наблюдается в Новороссийске вследствие того, что город расположен на побережье Цемесской бухты, вытянутой на 6 км в северо-западном направлении (перепад рельефа составляет 464 метра). Если во всех вышеперечисленных городах бризовые ветры имели северо-восточное направление в утренний период и юго-западное направление в вечерний период, то в Новороссийске утром бриз имеет северо-западное направление (впоследствии потоки продолжают движение в Цемесской долине шириной 3,5 км в пойме реки Цемес), а вечером – юго-восточное.

Установлено, что городская застройка может как развивать благоприятную приземную аэрацию в летний период года, так и способствовать её сокращению [8]. Для большего контроля над данными параметрами предложена архитектурно-планировочная концепция проектирования в виде градостроительных, архитектурно-строительных и объемно-планировочных рекомендаций к застройке, а также системы озеленения территории, которые позволят развить бризовые ветры на территории городов черноморского побережья, тем самым улучшив микроклиматические показатели.

3. Обсуждение результатов. Таким образом, в основу архитектурно-планировочной концепции застройки, которая состоит из градостроительных, архитектурно-строительных и объемно-планировочных решений, а также рекомендаций по системе благоустройства для территории городов Черноморского побережья, отличающихся особенностями ветрового режима, следует положить концепцию развития бризовых ветров, оказывающих существенное влияние на комфорт горожан.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

В рамках градостроительной политики на Черноморском побережье Краснодарского края следует рассматривать бризовый ветер в условиях его взаимодействия со сложным рельефом, а именно с территориями морского побережья, горных склонов, предсклоновыми зонами и землями речных долин. На основании данных форм рельефа необходимо проводить градо-климатическое зонирование городской застройки с целью налаживания аэрации ветровых потоков в приземном слое атмосферы [11].

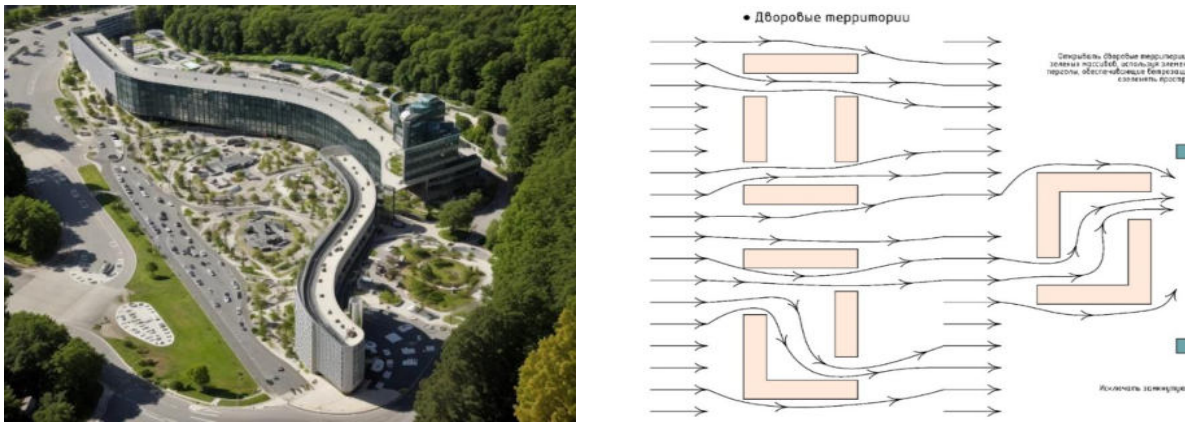
Особое внимание стоит уделить ориентации улично-дорожной сети по направлению движения бризовых ветров. Для городов Геленджик, Туапсе и Сочи следует отдать предпочтение направлению дорожно-транспортной сети с юга-запада на северо-восток. Для города Новороссийска улицы и дороги рекомендуется ориентировать с юго-востока на северо-запад [10].

Рекомендуется проектировать улицы под углом не более 45° к преобладающему направлению ветра [17]. Расположение крупных транспортных артерий в направлении основных потоков бризового ветра способствует увеличению скорости благоприятных бризовых ветров, снижает запыленность воздуха и улучшает микроклиматические показатели в приземном слое атмосферы (рис. 1).



Рис. 1. Схема планировочной конфигурации дорожно-транспортной сети в направлении движения бризовых ветров

Помимо этого, установлено, что при проектировании зданий на Черноморском побережье следует отдавать предпочтение открытой и обтекаемой формам застройки (рис. 2) [8]. Вследствие этого закрытая застройка, колодцеобразные дворы и протяжённые в плане здания должны быть или исключены, или сведены к минимуму. Также необходимо не допускать строительства зданий, расположенных поперёк к преобладающим направлениям ветра, препятствующим дальнейшему развитию бризовых потоков.



а б

Рис. 2. Открытая архитектурно-планировочная концепция застройки:
а – пример здания со сквозным проемом; б – пример сквозной дворовой застройки

Рекомендуется на Черноморском побережье создавать террасную застройку на склонах гор (рис. 3) [1, 4]. При этом здания, расположенные там, тоже целесообразно проектировать с созданием обтекаемой формы основного фасада, сквозных проёмов в фасаде, линейных

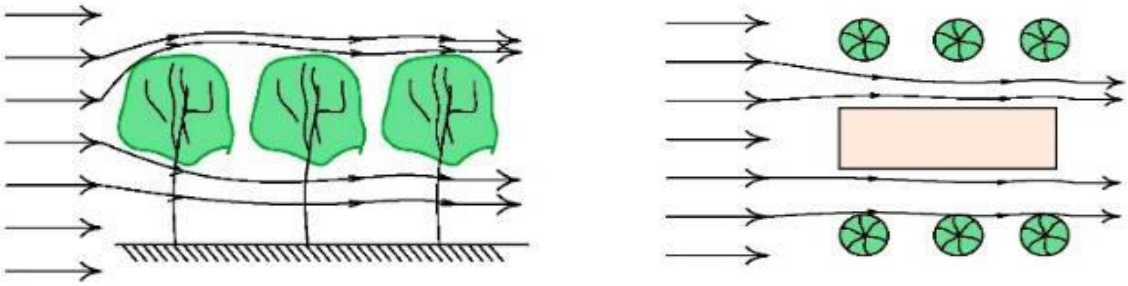
ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

корпусных структур. Также немаловажно открывать дворовые территории жилой застройки в сторону водоемов и зеленых массивов, используя элементы благоустройства, такие как беседки и перголы, обеспечивающие ветрозащиту и воздухообмен.



Рис. 3. Обтекаемые здания и террасная застройка

В зоне развития благоприятных бризовых потоков большую роль играют и зеленые насаждения: древесная растительность, расположенная вдоль транспортных магистралей, поглощает шум и вредные примеси из воздуха. Деревья задерживают большую часть солнечной радиации, уменьшают альбедо городской застройки и понижают радиационную температуру за счет транспирации [2]. Рекомендуется применять растительность с объемной плотной высокой кроной без подлеска, способной затенять территорию и развивать аэрацию бризовых потоков в подкронном пространстве (рис. 4).



а б

Рис. 4. Принципы озеленения в зоне благоприятных бризовых потоков:
а – деревья с высокими кронами, озеленение без подлеска; б – проветриваемое пространство между зданиями и озеленением

Выводы. Таким образом, бризовые потоки на территории Черноморского побережья Краснодарского края способны оказывать благоприятное воздействие на общие биоклиматические показатели городской среды в целом и приземного слоя атмосферы в частности. Именно поэтому их следует при создании архитектурно-планировочной концепции городов, расположенных на Черноморском побережье. В качестве некоторых авторских рекомендаций по формулированию архитектурно-планировочной концепции застройки на территории Черноморского побережья Краснодарского края можно выделить:

1. Необходимость проведения градо-климатического зонирования территории городов Черноморского побережья Краснодарского края с целью выделения конкретных планировочных зон со своими требованиями к формированию городской застройки..

2. В рамках градостроительного проектирования следует учитывать преобладающие направления движения бризовых потоков для формирования улично-дорожной сети, способствующей улучшению климатических параметров населённых пунктов.

3. Проектирование зданий должно осуществляться с применением архитектурно-планировочных и объёмно-планировочных приёмов, обеспечивающих развитие аэрации бризовых потоков.

Комплексный подход к градостроительному проектированию с учетом предложенных градостроительных, архитектурно-строительных, объемно-планировочных рекомендаций, а также рекомендаций по благоустройству городской территории Новороссийска, Геленджика, Туапсе и Сочи позволит:

1. Уменьшить термический нагрев подстилающей поверхности, приблизив его уровень к комфортным показателям.

2. Снизить температурные показатели в приземном слое атмосферы городской застройки.

3. Развить скорость бризовых потоков в жаркие летние дни, тем самым увеличив их благоприятное воздействие на человека.

Вышеперечисленные факторы, в свою очередь, позволят:

1. Увеличить степень комфорта людей, проживающих на территории городов Черноморского побережья Краснодарского края, либо отдыхающих здесь.

2. Снизить риски для здоровья горожан за счёт общего увеличения благоприятных климатических показателей.

3. Уменьшить общее энергопотребление городов Черноморского побережья за счёт использования благоприятных характеристик бризовых потоков.

Изменения климата при формировании застройки с учетом направления бризовых потоков в городах Черноморского побережья Краснодарского края благоприятно скажутся на физиологическом состоянии жителей и гостей городов, а также на повышении миграционной и туристической привлекательности городов черноморского побережья.

Библиографический список

1. Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (Региональная экология): учеб. пособие. Краснодар, 2010. 356 с.

2. Steyn D. G. Scaling the vertical structure of sea breezes revisited // Boundary-Layer Meteorology. 2003. Vol. 107. P. 177–188.

3. Город, архитектура, человек и климат / М.С. Мягков, Ю.Д. Губернский, Л.И. Конова, В.К. Лицкевич. М.: Архитектура-С, 2007. 98 с.

4. Большаков В.В. Принципы градостроительной экологии в планировании территории // Архитектура, градостроительство и дизайн. 2019. № 2(20). С.10–16.

5. Крушлинский В.И. Город, природа и общество. Проблемы взаимодействия: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. 166 с.

6. Hang J., Sandberg M., Li Y. Effect of urban morphology on wind condition in idealized city models // Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43(4). P. 869–878.

7. Разномасштабная изменчивость ветрового режима на прибрежной акватории северо-восточной части Черного моря / Л.В. Москаленко, В.А. Мельников, Н.И. Кузеванова, О.И. Подымов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. С. 74–86.

8. Гиясов А.И., Баротов Ю Г. Тепловое состояние человека в застройке городов с жарким условием климата // Политехнический Вестник. Серия Инженерные исследования. 2018. №4(44). С. 151–156.

9. Гиясов А.И., Гиясов Б.И., Баротов Ю.Г. Биоклиматическая оценка территории городов аридной зоны и его влияние на состояние человека // Научный журнал «Наука и инновация». 2018. №2. С. 223–230.

10. Гиясов А.И., Сокольская О.Н. Формирование городской застройки с учетом экологических факторов атмосферной среды в жарких маловетреных и штилевых климатических условиях: монография. Краснодар: ПринтТерра. 2016. 140 с.

11. Сокольская О. Н., Гиясов А.И. Градоэкологические предпосылки к застройке черноморских городов Краснодарского края с учетом тепло-ветровых процессов // Строительство: наука и образование. 2020. № 3. С. 39–56.

Для цитирования: Сокольская О.Н., Цупрунов А.Е., Дубиненко Н.А. Архитектурно-планировочная концепция застройки на территории черноморского побережья Краснодарского края с учетом бризовых ветров // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. №3(44). С. 6–12.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 620.1

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ТРУБ НА УРОВЕНЬ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

И. И. Гуляев, У. Г. Серикова, Н. А. Петрикеева

И. И. Гуляев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)100-87-64, e-mail: ilya-gulyaev.03@mail.ru
У. Г. Серикова, студент строительно-политехнического колледжа
Россия, г. Воронеж, тел. +7(980)232-87-17, e-mail: serikiva.uliana15@gmail.com
Н. А. Петрикеева, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)207-22-20, e-mail: npetrikeeva@cchgeu.ru

Постановка задачи. В современных условиях прокладка труб из различных материалов осуществляется повсеместно и во всех областях развития. Современные ГОСТы, СП, а также иная нормативная документация размыто прописывают состав материала труб в системах. В связи с этим, возникают неоднозначные вопросы. Один из них: а можно ли повторно использовать трубы, которые уже применялись в какой-либо сфере и зависит ли это от уровня строительства. Это может нести в какой-то степени пользу для экономической состовляющей не только для заказчика, но и для государства в целом.

Результаты. Проанализированы основные составы материала труб из стали, меди, стеклокомпозита и выделены моменты о недопустимости ряда примесей в них. Определены и конкретизированы условия повторного применения труб без риска потери безопасности.

Выводы. Для стальных труб количество углерода должно быть не более 0,25 % (0,46 % для углеродистых и низколегированных сталей), серы – не более 0,06 %, а фосфора – 0,05 %. Для медных труб чистота меди не должна быть менее 99,9 %. Рабочая температура прокладки стеклокомпозита не должна превышать 90 °С. Повторное использование материалов допускается только для объектов пониженного уровня ответственности. Для стали допускаются дефекты поверхности без восстановления толщины до 15 %. Медные трубы допускаются с вмятинами и рисками, а прокладка надземного стеклокомпозита допускается только в случае наличия защиты от ультрафиолетовых излучений и повреждений.

Ключевые слова: трубы, материал, сталь, медь, стеклокомпозит, повторное использование, состав.

Введение. Для строительной сферы понятие «труба» имеет важное значение. Она является изделием, которое представляет собой пустотелый замкнутый профиль постоянного сечения. Применяется для транспортировки различных веществ, чаще в двух агрегатных состояниях: жидком и газообразном. При прокладке газопроводов используются трубы из разных материалов: полиэтилен, медь и сталь. Стальные трубы являются самыми универсальными и применяются во всех сферах [1].

1. Трубы из стали, меди и стеклокомпозита. Для изготовления трубы применяют сталь высокого качества с низким содержанием углерода, серы и фосфора.

© Гуляев И. И., Серикова У. Г., Петрикеева Н. А., 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

Добавка углерода должна быть не более 0,25 %. Если этого вещества в составе трубы больше, то будет увеличиваться количество вещества цементита (Fe_3C), который делает сталь хрупкой и снижает её пластичность. Структура материалов представлена на рис.1. Также оно влияет на свариваемость материала. Чем больше углерода, тем больше в местах сварного шва трещин. Объясняется это тем, что в стали будет возникать закалочные структуры, которые позволяют материалу растрескиваться. В газоснабжении нужно применять только сталь с содержанием углерода меньше 0,24 %, либо же для углеродистых и низколегированных сталей – до 0,46 %. Это связано с жесткими требованиями к свариваемости, пластичности и хладостойкости [2].

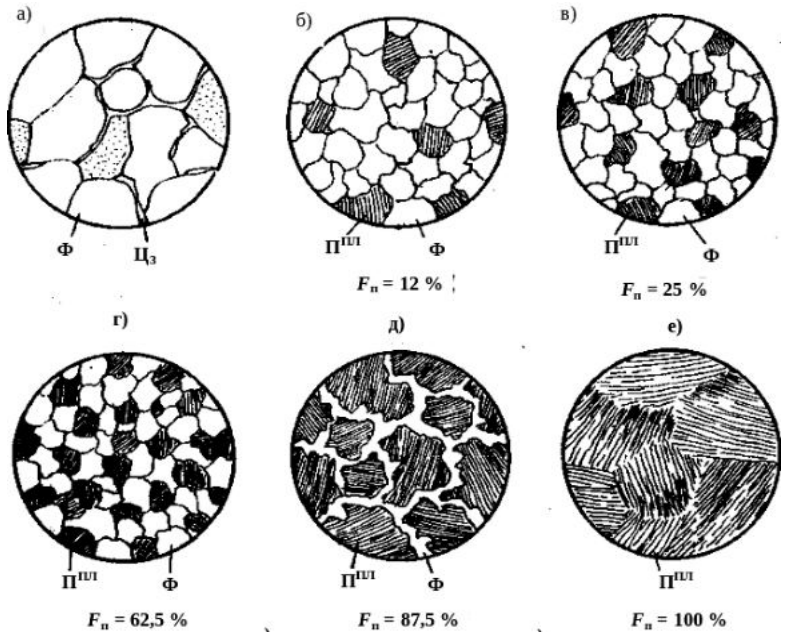


Рис. 1. Микроструктура углеродистых сталей: а – 0,01 % содержания С (углерода); б – 0,1 %; в – 0,2 %; г – 0,5 %; д – 0,7 %; г – 0,8 % [3]

Содержание серы в сталях должно быть не более 0,06 %. Это вещество при большем количестве может негативно влиять на свойства стали и процесс сварки, она начинает растрескиваться при разных обработках и происходит образование в стали сульфидных эвтектиков – низкотемпературной смеси минералов из сульфидов, которая начинает кристаллизироваться при самой низкой температуре системы, что приводит к снижению общей прочности и пластичности. В газоснабжении важны именно надежность и долговечность конструкции, что делает стали с повышенным содержанием серы несовместимыми для всей системы и может привести к опасным последствиям.

Содержание фосфора в стали должно быть не более 0,05 %. Связано это с тем, что при повышении количества вещества материал становится хрупким (чем больше фосфора, тем при меньшей температуре сталь становится более хрупкой). Также идет снижение пластичности и ухудшение свариваемости, так как образуются хрупкие фосфиды (Fe_3P). Идет образование горячих трещин в шве. Чем больше диаметр трубы, тем меньшее содержание фосфора должно быть в стали. Например, для диаметра трубы 1020 мм с нормативной температурой эксплуатации минус 20 °С, фосфора должно быть не больше 0,02 % и вводятся жесткие ограничения в других сборниках на его содержание [4].

Для надземных стальных газопроводов нужно использовать трубу с толщиной стенки не менее 2 мм, а для подземных коммуникаций – 3 мм (но есть и особые случаи, где толщину трубы нужно прокладывать больше. Например, прокладка трубопровода в сейсмических

зонах, где землетрясения могут быть магнитудой больше 6 баллов). Чем меньше толщина стенки, тем момент стенки становится меньше, что увеличивает риск деформации прогиба под весом грунта, газа и так далее.

Также можно проложить газопровод из меди (рис.2а). В основном материал используют в системах низкого давления (до 0,005 МПа). Чистота меди, которая должна использоваться, составляет 99,9 %. Она образует на поверхности трубы патину, замедляющую окисление. Если чистота будет меньше этого числа, примеси будут нарушать саму пленку и ускорять электрохимическую коррозию, при которой происходит снижение электропроводности и теплопроводности меди. Такие примеси существуют в меди как сера, кислород, висмут, железо, свинец, фосфор. Также нельзя использовать медную трубу, толщины стенки которой менее 1 мм, так как ее можно повредить при разгибании и обжиме самой трубы. Этот материал мало используют, потому что сама медь мягкая и дорогая в отличии от стали [5].

Также есть стеклокомпозитные материалы, которые могут использоваться в промысловых трубопроводах, в магистральных трубах, а также для нефтесборных трубопроводов (рис.2б).



а



б

Рис. 2. Трубопроводы: а – внутридомовой газопровод из меди; б – стеклокомпозитные трубы [6, 7]

Их называют стеклопластиками, состоят они из армирующего наполнителя (стекловолокно), а также связующего (полимерных матриц), в которые тоже могут входить компоненты, придающие материалу разные дополнительные свойства и характеристики. Он преподносится как перспективная замена стальным трубам, так как выше его коррозионная стойкость и герметичность, малый вес, но работает конструкция только до 90 °С [6].

2. Зависимость строительно-монтажных работ от уровня ответственности объектов. Для разных объектов есть уровни ответственности. Минимальные коэффициенты надежности по ответственности: 1,1 – для повышенного, 1,0 – для нормального, 0,8 – для пониженного уровня [9]. В системах газоснабжения коэффициенты надежности по ответственности нашли применение в оценке надежности и качества услуг при транспортировке природного газа. Главная цель – обеспечение надлежащего качества, адекватных тарифов на услуги, уровня надежности услуг [7]. Именно от уровня ответственности объекта и условий эксплуатации и зависит выбор материала.

В газоснабжении это все газорегуляторные пункты, трубы, арматура – все они являются объектами повышенного уровня и относятся по категории к особо опасным. В водоснабжении и канализации или же для объектов сезонного назначения (или временного) допускаются разные материалы труб: стальные, полимерные, стеклокомпозитные. Для объектов пониженного уровня могут использоваться стальные трубы, которые ранее

использовались на каком-либо объекте, но прошли комплекс работ по восстановлению, а также контроль качества и освидетельствование. Они обязательно сортируются и должны быть сохранены их исходные параметры (геометрические характеристики, дата изготовления и пр.). Также могут допускаться стальные трубы с дефектами поверхностей без восстановления толщины металла стенки до номинальной (до 15 % допускается).

В случае с медными трубами, то допускаются при пониженных уровнях трубы с вмятинами, рисками, углубления, но только при условии, что нет отклонения по размерам, а также местные потемнения, если они не препятствуют визуальному контролю на наличие дефектов. При наличии трещин, расслоений использование медных труб не допускается.

Если мы говорим про пониженный уровень ответственности объектов, то могут применяться и стеклокомпозитные трубы (стеклопластик). Для надземной прокладки на них должны быть установлены наполнители, которые поглощают ультрафиолет, а концевые поверхности защищены от ударов и повреждений, что обеспечивает их сохранность [3, 6, 8].

Главное условие, что повторное использование этих материалов с допусками отклонений не должно распространяться на объекты, которые имеют нормальный и повышенный уровень контроля.

Выводы. Стальные, медные и стеклокомпозитные материалы, которые используются в трубопроводных системах, могут служить на разных объектах только при определенных характеристиках, которые предусмотрены в нормативной литературе. Для стальных труб количество углерода должна быть не более 0,25 % (0,46 % для углеродистых и низколегированных сталей), серы – не более 0,06 %, а фосфора – 0,05 %. Для медных труб чистота меди не должна быть ниже 99,9 %. Рабочая температура прокладки стеклокомпозита не должна превышать 90 °С. Повторное использование материалов допускается только на объектах пониженного уровня ответственности. Для стали допускаются дефекты поверхности без восстановления толщины до 15 %. Медные трубы допускаются с вмятинами и рисками, а прокладка надземного стеклокомпозита допускается, только если есть защита от ультрафиолетовых излучений и повреждений.

Библиографический список

1. Углерод в стали, содержание и влияние на свойства металла [Электронный ресурс]. URL: https://www.profbau.ru/blog/uglerod-v-stali- (дата обращения: 06.06.2026).

2. Микроструктура углеродистых сталей в равновесном состоянии [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/9793594/page:13/- (дата обращения: 06.06.2026).

3. Влияние химического состава на механические свойства металла [Электронный ресурс]. URL: https://ceiis.mos.ru/presscenter/news/detail/4276643.html- (дата обращения: 16.06.2026).

4. Трубная продукция для систем газоснабжения [Электронный ресурс]. URL: https://www.aquaoptim.ru/trubnaya-produkcziya-dlya-sistem-gazosnabzheniya- (дата обращения: 10.06.2026).

5. Трубопроводы промысловые из стеклопластиковых труб. Правила проектирования и эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: https://gostassistent.ru/doc/04a9b01c-72d2-4e4a-a51e-03628a6e5c0a?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru. (дата обращения: 06.05.2026).

6. Голядкина А.Д., Мартыненко Г.Н., Петрикеева Н.А. «Живые» материалы в строительстве // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 3(28). С. 32–37.

7. Коммунальная энергетика России: актуальные проблемы и стратегии обновления / Князев Д.И., Петрикеев А.Д., Серикова И.А., Петрикеева Н.А. // В сборнике: Нано-биотехнологии. Тепло- и электроэнергетика. Математическое моделирование (НАБИТЭМ-2026). Сборник статей IV международной научно-практической конференции. Липецк, 2026. С. 201–209.

8. Создание клееной древесины повышенной прочности на основе клеев, подвергнутых совместному воздействию ультразвука и электрического поля / В.М. Попов, О.Р. Дорняк, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 3 (55). С. 28–35.

Для цитирования: Гуляев И.И., Серикова У.Г. Петрикеева Н.А. Влияние материала труб на уровень ответственности объектов в строительстве // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. №3 (44). С. 13–16.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

УДК 338.2

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И ИНОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В. О. Плеханов, Д. С. Бурлуцкий, А. И. Коровкина

Воронежский государственный технический университет
В. О. Плеханов, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел. +7(996)450-25-91, e-mail: vladisl.plekhanov@gmail.com
Д. С. Бурлуцкий, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел. +7(904)530-62-25, e-mail: danynax228@list.ru
А. И. Коровкина, канд. экон. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)547-77-77, e-mail: akorovkina@cchgeu.ru

Постановка задачи. В статье проведен комплексный анализ перспектив и стратегических направлений развития системы газоснабжения в Российской Федерации на период до 2035 года. Рассмотрены ключевые внешние и внутренние вызовы, включая геополитическую переориентацию экспорта, необходимость глубокой модернизации инфраструктуры, полномасштабную газификацию регионов и интеграцию в глобальные тренды декарбонизации.
Результаты. Детально проанализированы такие направления, как развитие магистральной и распределительной сетевой инфраструктуры, диверсификация экспорта через форсированное наращивание мощностей по производству сжиженного природного газа (СПГ), цифровая трансформация газотранспортной системы (ГТС) и освоение новых рыночных ниш в сфере водородной энергетики и биометана. Особое внимание уделено технологическим, экономическим и регуляторным аспектам реализации каждого направления.
Выводы. На основе проведенного анализа сформирован вывод о необходимости принятия комплексной государственной программы развития газовой отрасли, основанной на принципах технологического суверенитета, гибкости и устойчивого развития.

Ключевые слова: газоснабжение, магистраль, СПГ, регионы, энергетическая безопасность, цифровизация, водородная энергетика, биометан, низкоуглеродное развитие, инфраструктура.

Введение. Газовая отрасль исторически является стержнем энергетической безопасности и бюджетообразующей отраслью экономики Российской Федерации. Однако в текущих условиях система газоснабжения сталкивается с беспрецедентным набором стратегических вызовов, требующих пересмотра традиционных парадигм развития. К ним относятся: кардинальная переориентация экспортных потоков с европейского на азиатский рынок, физическое и моральное старение основных фондов ГТС, необходимость выполнения масштабных социальных обязательств по газификации регионов, а также глобальный энергопереход, диктующий необходимость декарбонизации и диверсификации продуктового портфеля. В этой связи определение долгосрочных перспектив развития газоснабжения становится не просто актуальной научно-практической задачей, а вопросом национальной безопасности и конкурентоспособности страны в долгосрочной перспективе [1].

1. Развитие газотранспортной инфраструктуры. Развитие магистральной сети является основой для обеспечения как экспортных поставок, так и внутренней газификации. Ключевым проектом является достройка и расширение газотранспортной системы «Сила Сибири», а также реализация проекта «Сила Сибири – 2» через территорию Монголии в Китай (рис.1). Эти проекты требуют не только колоссальных капиталовложений, но и

© Плеханов В. О., Бурлуцкий Д. С., Коровкина А. И., 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

применения уникальных технологий для прокладки трубопроводов в сложных геокриологических условиях Восточной Сибири и Дальнего Востока [2].



Рис. 1. Схема расположения проектов «Сила Сибири» и «Сила Сибири - 2» [3]

Увеличение пропускной способности газопровода «Турецкий поток» и развитие инфраструктуры для поставок в страны Южной Европы и Ближнего Востока остается стратегически важным для диверсификации рисков.

Для повышения эффективности существующей ГТС необходима замена физически изношенных участков, широкое внедрение труб из высокопрочных сталей, позволяющих повышать рабочее давление, и строительство лупингов на наиболее загруженных участках. Применение методов гидравлической оптимизации, включая использование противотурбулентных присадок (на газовых потоках их эффективность изучается), позволяет увеличить пропускную способность без масштабного строительства [4].

Освоение арктических месторождений, таких как «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ-2», требует создания интегрированной транспортной инфраструктуры, включающей как подводные газопроводы, так и береговые терминалы для перевалки СПГ (рис.2).



Рис. 2. Арктик СПГ-2, достигающий рекордные показатели добычи в 14 млн м^3/сутки [5]

2. Диверсификация экспорта: стратегический курс на СПГ. В условиях сокращения трубопроводного экспорта в Европу сжиженный природный газ становится главным инструментом сохранения и наращивания рыночной доли России на глобальном энергетическом рынке. План развития отрасли предусматривает увеличение производства

СПГ более чем 100 миллионов тонн в год к 2035 году. Это предполагает реализацию не только мега-проектов («Арктик СПГ-2», «Балтика СПГ»), но и серии среднетоннажных и плавучих СПГ-заводов (ФСПГ), что позволяет оперативно осваивать газовые месторождения на шельфе и в удаленных регионах [6].

Также формируются мощные территориально-производственные кластеры: Ямальский, Балтийский, Сахалинский и Камчатский. Каждый кластер включает в себя добывающие активы, мощности по сжижению, портовую инфраструктуру и логистические цепочки. Критически важной задачей является локализация и развитие отечественных технологий сжижения газа (например, технология «Арктический каскад»), так как зависимость от иностранного оборудования и сервиса стала ключевым риском.

3. Полномасштабная газификация регионов. Государственная программа «Социальная газификация» является одним из крупнейших инфраструктурных проектов в мире. Программа охватывает тысячи населенных пунктов и требует прокладки более 50 тыс. км распределительных газопроводов. Основные сложности связаны с ресурсоемкостью, необходимостью синхронизации строительства межпоселковых и внутрипоселковых сетей, а также с подключением отдельных домохозяйств («последняя миля»).

Помимо строительства, программа требует модернизации систем газораспределения в уже газифицированных городах, внедрения современных систем диспетчеризации и аварийного реагирования. Для районов, где строительство магистральных газопроводов экономически нецелесообразно, активно развивается использование сжиженного природного газа (СПГ) и сжиженного углеводородного газа (СУГ). Создание сети мини-заводов по сжижению газа и криозаправочных станций позволит обеспечить энергетическую независимость удаленных регионов и объектов промышленности [7, 8].

4. Цифровая трансформация газотранспортной системы: переход к «умным сетям» (Smart Grid). Цифровизация является ключевым фактором повышения эффективности, надежности и безопасности газоснабжения. Создание виртуальных копий физических активов (трубопроводов, компрессорных станций) позволяет проводить симуляции работы в различных режимах, оптимизировать потоки газа, прогнозировать нагрузку и моделировать аварийные ситуации [8].

Внедрение систем мониторинга на основе больших данных и интернета вещей позволяет перейти от планово-предупредительного ремонта к ремонту по фактическому состоянию оборудования. Использование беспилотных летательных аппаратов, снабженных газоанализаторами и тепловизорами, и внутритрубных диагностических снарядов-дефектоскопов повышает точность и скорость обнаружения повреждений. Появление «умных» счетчиков не только исключает человеческий фактор при снятии показаний, но и предоставляет поставщикам и потребителям детальную аналитику по потреблению, позволяя оптимизировать режимы и выявлять несанкционированные отборы среды [9].

5. Интеграция в глобальный энергопереход: водород и «зеленые» газы. Для сохранения позиций на мировом рынке Россия должна активно участвовать в формировании новых низкоуглеродных рынков. Стоит упомянуть, что Россия обладает значительным потенциалом для производства «голубого» водорода (из природного газа с улавливанием CO_2) и «зеленого» водорода (с помощью электролиза на базе ВИЭ). Перспективным направлением является транспортировка водорода в смеси с природным газом по существующим газопроводам (до 20 % объема), а также строительство водородопроводов. Производство биометана из органических отходов сельского и коммунального хозяйства позволяет создать «зеленый» продукт, полностью совместимый с газотранспортной системой. Стимулирование этого направления способствует декарбонизации, решению проблемы отходов и развитию сельских территорий.

Перспективы развития газоснабжения в Российской Федерации лежат в плоскости глубокой и комплексной трансформации всей газовой отрасли. Эта трансформация

предполагает стратегический синтез: сохранение и модернизацию традиционной опоры на магистральный трубопроводный транспорт с параллельным наращиванием мощностей в сфере производства и экспорта сжиженного природного газа (СПГ). Данный подход должен быть неразрывно связан с безусловным выполнением масштабных социальных обязательств по газификации регионов страны, что является ключевым фактором внутренней стабильности и социально-экономического развития, а также с активным и стратегически выверенным вхождением в формирующиеся глобальные низкоуглеродные рынки, включая водородную энергетику и технологии улавливания углерода [10].

Выводы. Успех всей этой масштабной трансформации будет в решающей степени определяться способностью государства и компаний топливно-энергетического комплекса объединить финансовые, интеллектуальные и производственные ресурсы, обеспечить реальный технологический суверенитет и прорыв в критических областях, таких как газотурбинные установки, оборудование для СПГ и цифровизация. Не менее важной задачей является создание гибкой, адаптивной и проактивной системы отраслевого управления, способной не просто реагировать на вызовы быстро меняющейся глобальной энергетической архитектуры, но и предвосхищать их, формируя новые правила игры.

Комплексная и последовательная реализация обозначенных стратегических направлений позволит России не просто пассивно сохранить, а укрепить и трансформировать свой статус ведущей энергетической державы, адаптировав его к требованиям 21 века. Именно это создаст прочный и долговременный фундамент для перехода к устойчивому, технологически продвинутому и диверсифицированному развитию национальной экономики в условиях формирующейся глобальной экономики будущего, основанной на принципах низкоуглеродности и цифровизации.

Библиографический список

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (утверждена Распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р). [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf (дата обращения: 11.10.2025)

2. Россия и Китай ускоряют работы по газопроводу Сила Сибири – 2. [Электронный ресурс]. URL: https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/888304-rossiya-i-kitay-uskoryayut-raboty-po-gazoprovodu-sila-sibiri-2/ (дата обращения: 11.10.2025)

3. Гуляев И.И., Петрикеева Н.А. Производство сжиженного газа в условиях санкций // Научная опора Воронежской области: сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2025. С. 222–224.

4. Абуева М.М., Громов Д.А., Агеев А.С. Роль предприятий СПГ в газификации периферийных регионов России на основе многоуровневой системы газовых хабов // Научный результат. Экономические исследования. 2023. № 4. С. 72–86.

5. Маргулова Т.Е., Панфилов А.В., Симонова Е.В. Эффективность газоснабжения на основе цифровой трансформации // Вестник университета. 2023. № 11. С. 118–126.

6. Сенчуков Д.В., Соловьева А.В., Ильин А.А. Низкоуглеродное развитие России: вызовы и возможности в новых условиях // Креативная экономика. 2023. № 8. С. 2819–2836.

7. Коровкина, А.И., Гасанов З.С., Долбилова М.А. Использование БПЛА в индустрии нефти и газа // Технологии и техника: пути инновационного развития: сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Воронеж, 2024. С. 275–278.

8. Коровкина, А.И., Гасанов З.С., Долбилова М.А. Применение цифровых технологий в области газоснабжения // Вестник науки. 2023. № 10(67). С. 661–664.

9. Петрикеева Н.А., Чудинов Д.М. Анализ ущерба от несанкционированной врезки в трубопровод // Инженерные системы и сооружения. 2025. № 2 (60). С. 140–147.

10. Петрикеев А.Д., Чудинов Д.М., Петрикеева Н.А. Стратегии развития экологической составляющей топливноэнергетического комплекса РФ // Менеджмент, экономика, этика, технология - MEET 2025: сборник статей XI Всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург, 2026. С. 289–292.

Для цитирования: Плеханов В.О., Бурлуцкий Д.С., Коровкина А.И. Стратегические вызовы и инновационные пути развития газоснабжения в Российской Федерации // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. №3 (44). С. 17–20.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 622.24

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В БУРЕНИИ СКВАЖИН

С. Р. Орлов, М. С. Стороженко, Н. В. Колосова

Воронежский государственный технический университет
С. Р. Орлов, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(937)705-57-62, e-mail: serezhenka.orlov89@mail.ru
М. С. Стороженко, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел: +7(905)644-12-83, e-mail: teplosnab.kaf@cchgeu.ru
Н. В. Колосова, канд. экон. наук, доц. кафедры теплоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел: +7(473)207-22-20, e-mail: nkolosova@cchgeu.ru

Постановка задач. Рассмотрен анализ современных технологических инноваций в бурении скважин и оценка их влияния на эффективность производственных процессов. Необходимо рассмотреть ключевые технологические инновации в данной области, проанализировать их преимущества, экономическую эффективность и перспективы внедрения.
Результаты. В результате проведенной работы выявлено, что современные технологические инновации в бурении скважин обеспечивают в среднем снижение себестоимости строительства на 20–40 %, повышение точности проводки ствола до 98–99 %, сокращение отходов бурения на 40–60 %, уменьшение сроков строительства на 15–25 %.
Выводы: Технологические инновации в бурении скважин позволяют повысить эффективность, безопасность и экологичность процессов, но их внедрение сталкивается с вызовами, включая высокую стоимость внедрения и необходимость модернизации инфраструктуры. Перспективы развития связаны с интеграцией цифровых платформ, развитием искусственного интеллекта и адаптацией технологий под различные геологические условия.

Ключевые слова: бурение, скважина, технология, инновации, роторные управляемые системы, автоматизация, цифровые технологии, экология, безопасность.

Введение. Бурение скважин – фундаментальный процесс в нефтегазовой отрасли, определяющий эффективность добычи углеводородов. В условиях усложнения горно-геологических условий, роста глубины залегания пластов и ужесточения экологических требований традиционные методы бурения сталкиваются с серьёзными ограничениями [1, 2]. Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения себестоимости строительства скважин, повышения точности проводки ствола, минимизации экологического воздействия, сокращения времени бурения, предотвращения аварийных ситуаций.

1. Инновационные буровые инструменты и оборудование. На сегодняшний день реализация технологий бурения невозможна без применения высокопрочных и износостойких инструментов, в особенности это актуально при разработке твёрдых и абразивных горных пород [3]. По этой причине композиционные алмазосодержащие материалы являются наиболее перспективными в использовании, так как обладают

© Орлов С. Р., Стороженко М. С., Колосова Н. В., 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

высочайшей твёрдостью и термической проводимостью. Буровые PDC-долота (Polycrystalline Diamond Compact), изготовленные из композитных материалов, обладают памятью формы и могут работать на глубинах свыше 3500 метров. Они демонстрируют высокую устойчивость при использовании в зоне высоких температур, могут подвергаться деформации до миллиона раз без механического разрушения в процессе проходки и обеспечивают сохранность виброустойчивости и прочности, в частности в местах крепления режущих элементов. Современные долота с оптимизированной геометрией и износостойкими покрытиями позволяют: сократить время бурения на 30–40 %, увеличить проходку на долото в 1,5–2 раза, снизить количество спускоподъёмных операций [4]. Преимущество PDC-долот перед шарошечными долотами иллюстрирует таблица.

Таблица

Сравнительный анализ PDC-долот и шарошечных долот

Параметр	PDC-Долота	Шарошечные долота
Скорость	В благоприятных горно-геологических условиях механическая скорость бурения PDC-долотами в 2–4 раза превышает аналогичный показатель шарошечных долот.	Умеренная — скорость ниже, чем у PDC в мягких и средних породах; в твердых породах может быть сопоставима или выше при условии риска повреждения PDC-резцов.
Долговечность	Высокая — отсутствие подвижных частей; твердость резцов 8000–9000 HV обеспечивает длительную работу в однородных породах.	Ограниченная. Наличие подвижных узлов (подшипников, уплотнительных элементов) обусловливает ограниченный ресурс работы.
Стоимость метра проходки	Ниже за счет высокой скорости бурения и сокращения количества рейсов.	Выше при частой смене долота в сложных интервалах.

В осложненных горно-геологических условиях, таких как бурение горизонтальных и наклонно-направленных скважин, а также при разработке сланцевых нефтегазовых месторождений, применяется новейшее буровое оборудование – роторные управляемые системы (РУС) (рис.1).



Рис. 1. Роторная управляемая системы [5]

На территории России РУС применяются, в частности, при реализации морских и арктических проектов, а также во время разработки скважин с большими отходами по вертикали, в связи с требованием максимальной точности [6].

Преимущества РУС:

- Точный контроль траектории ствола по сравнению с винтовыми забойными двигателями (ВЗД), в которых применяется гидравлическая сила бурового раствора для вращения долота. РУС обеспечивает возможность внесения корректировок в режиме реального времени, за счет чего повышается точность размещения ствола скважины.
- Ускоренный вынос шлама и высокая скорость проходки благодаря отсутствию зауженных участков ствола.
- Увеличение длины горизонтального ствола скважины за счёт низкого трения между стенкой скважины и колонной.
- Обеспечение защиты от механического и дифференциального прихвата вследствие отсутствия неподвижных составляющих, соприкасающихся с обсадной колонной, стенкой и/или отклоняющим узлом.
- Эффективность работы в осложненных условиях, включая скважины с высоким давлением и повышенными пластовыми температурами, где применение ВЗД ограничено либо невозможно.
- Уменьшение времени бурения скважины за счёт большей скорости проходки.
- Обеспечение сокращения продолжительности промывки скважины за счёт эффективного выноса шлама.
- Низкий риск гидроразрыва пород в силу уменьшения скачков давления.

2. Цифровые технологии и автоматизация. Цифровые технологии и автоматизация в бурении и нефтедобыче позволяют повысить эффективность процессов, снизить затраты, улучшить безопасность и оптимизировать управление ресурсами [7–10]. Они охватывают широкий спектр решений – от систем сбора и анализа данных до интеллектуальных систем управления и цифровых двойников.

Основные направления цифровизации и автоматизации заключаются в интеллектуальных системах бурения, создании цифровых двойников, внедрения искусственного интеллекта и машинного обучения и др.

Совокупность автоматизированных систем значительно упрощает процесс бурения, так как они осуществляют сбор, обработку и анализ данных, с помощью которых можно мгновенно корректировать работу оборудования. С помощью данных систем приводятся к автоматизации следующие ключевые операции: управление лебёдкой, силовым верхним приводом (СВП), буровыми насосами.

Цифровые двойники помогают тестировать операции в виртуальной среде, предсказывать возможные проблемы (например, прихваты или обрушения стенок скважины) и минимизировать риски.

Искусственный интеллект (ИИ) используется для анализа данных с датчиков и приборов. С помощью полученных данных становится возможным выявление аномалий в работе оборудования и предотвращение аварий [8]. Машинное обучение (ML) помогает строить оптимальные дизайны скважин на основе исторических данных, предсказывать ситуации в процессе бурения, определять состав породы по параметрам бурения (например, уровню вибрации, скорости бурения). В «Газпром нефти» разрабатывали систему, которая распознаёт предвестники аварийных ситуаций в данных сопровождения бурения и сообщает о них оператору. Системы предиктивного обслуживания, суть которых заключена в аналитике данных, позволяет заблаговременно обнаруживать потенциальные неисправности оборудования, планировать техобслуживание и предотвращать незапланированные простои. Это снижает затраты на ремонт и увеличивает срок службы оборудования.

Интернет вещей (IoT) осуществляет взаимодействие между устройствами без человеческого вмешательства. Буровое оборудование оснащается датчиками и сенсорами, которые собирают данные о состоянии техники и условиях бурения. Это обеспечивает мониторинг в режиме реального времени, своевременное выявление неполадок и снижение риска аварий.

Центры интегрированных операций (ЦИО), например, в ЛУКОЙЛе, объединяют мультидисциплинарные команды специалистов, которые в режиме реального времени контролируют процесс добычи и работу оборудования. Для автоматизации процессов в них внедряются комплексные ИТ-решения, например, системы оперативного диспетчерского управления (АСОДУ).

Облачные технологии и Big Data помогают точнее прогнозировать проблемы, оптимизировать производственные процессы и принимать обоснованные решения

Цифровые платформы значительно упрощают управление проектами. В качестве примера приведем компанию «СПП Развитие», которая разработала ИТ-систему для автоматизации заполнения суточных рапортов и осуществления контроля за наработкой оборудования.

3. Экологически безопасные технологии. Бурение скважин малого диаметра (СМД) в нефтедобыче – это технология, которая предполагает уменьшение диаметра ствола скважины и обсадных колонн по сравнению с традиционными конструкциями. Целью данной технологии является снижение затрат на строительство скважин и повышение экономической эффективности разработки месторождений [11, 12].

Преимущества технологии:

- Снижение расходов на металл, энергию, цемент, буровые и тампонажные растворы и другие материалы.
- Уменьшение объёма выбуренной породы и отходов бурения, что упрощает утилизацию и снижает экологическое воздействие.
- Улучшение очистки забоя и выноса выбуренной породы. Это происходит за счёт увеличения скорости движения восходящего потока в уменьшенном кольцевом пространстве.
- Увеличение механических скоростей бурения при использовании алмазных и лопастных долот малых диаметров.
- Возможность использования мобильных буровых установок (например, ZJ 20, АРБ-100, БА-15), что сокращает сроки монтажных и демонтажных работ бурового оборудования.
- Снижение транспортной нагрузки и площади кустовой площадки.

Скважины малого диаметра целесообразно применять для вовлечения в разработку низкопродуктивных залежей, остаточных извлекаемых запасов, а также в труднодоступных или экологически чувствительных регионах.

Перспективы и направления развития:

- Применение возможно в сложных геологических условиях. Разрабатываются методы строительства СМД через изливающие пласты и зоны поглощения жидкости.
- Сочетание с другими современными технологиями. Например, исследование возможности применения гидроразрыва пласта (ГРП) в скважинах малого диаметра.
- Развитие оборудования для эксплуатации СМД. Создаются малогабаритные установки электроцентробежных насосов (УЭЦН) для работы в скважинах малого диаметра.
- Разницу между СМД и стандартной конструкции скважин можно увидеть на рис. 2.

Технология монодиаметра (Monodiameter, Monobore wells) – это метод строительства скважин, при котором сохраняется единый внутренний диаметр обсадной колонны от верхних интервалов до проектного забоя [2]. Для реализации этой технологии используются расширяемые обсадные трубы, которые позволяют избежать «телескопического эффекта»,

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

который часто проявляется в стандартных конструкциях скважин, обладающих колоннами разного диаметра.



Рис. 2. Стандартная конструкция скважины и скважина малого диаметра [9]

Для данной технологии характерна последовательная установка расширяемых хвостовиков в скважине. Во время бурения происходит компоновка низа бурильной машины с совместным использованием долота и раздвижного расширителя. В открытом стволе расширитель активируется и увеличивает диаметр разбуриваемого ствола, а в обсаженном стволе находится в сложенном состоянии.

Преимущества технологии монодиаметра проявляются в снижении диаметра и количества спускаемых колонн за счёт упрощенной конструкции скважины и низкой металлоёмкости, а также в возможности применения оборудования, которое обладает меньшей формой, размером и пространственным положением, например, подводного оборудование или райзера. Данная технология работает эффективно, но при этом не приносит сильного вреда экологии, так как обладает низкими затратами энергии и производит минимальное количество выбросов в атмосферу. Ещё одним преимуществом является возможность строительства скважин, обладающих сверхбольшим отходом от вертикали. Помимо этого, уменьшение длины буримых интервалов и времени бурения сокращает риск прихватов бурильной колонны, а оперативное перекрытие зон с аномальным давлением и осложнениями позволяет вести дальнейшее безаварийное бурение без уменьшения внутреннего объёма скважины.

Экономический эффект от внедрения технологии оценивается примерно в 30–50 % от стоимости и времени бурения по сравнению с традиционными методами [13, 14].

4. Перспективные направления развития. Лазерное бурение – это метод разрушения горной породы или других материалов с использованием лазерного излучения высокой мощности, основанный на преобразовании световой энергии в тепловую, что приводит к плавлению, испарению или термическому дроблению материала. Его главным преимуществом относительно других методов является отсутствие прямого контакта с инструментом, благодаря чему становится возможной работа с материалами разной твёрдости и минимальным воздействием на окружающую среду.

Роботизированные буровые комплексы – это системы, которые автоматизируют процессы бурения скважин, снижая выполнение человеком какой-либо опасной работы.

Использование роботов, манипуляторов, интеллектуальных систем управления и датчиков позволяет повысить безопасность, эффективность и точность работ [13, 14].

Выводы. Проанализировав инновационные буровые инструменты, оборудование и перспективные направления бурения, а также отметив их основные преимущества, можно сделать вывод о том, что PDC-долота обладают высокой скоростью и долговечностью, а системы РУС наиболее эффективны в осложненных горных условиях. Также нельзя не отметить перспективность внедрения цифровых технологий, которые делают процесс бурения наиболее эффективным и безопасным. Технологии бурения малого диаметра и монодиаметра помогают снизить затраты на производство, а также уменьшить нанесение вреда экологии во время бурения, роботизированные буровые комплексы и лазерное бурение безусловно упрощают процесс бурения за счёт снижения риска для здоровья человека. Несмотря на высокую стоимость и потребность в модернизации инфраструктуры, внедрение данных технологий является перспективным направлением, которое необходимо для развития отрасли.

Библиографический список

1. Самедов В.Н., Мустафаев Ф.А. Совершенствование технологии и техники крепления нефтяных и газовых скважин // Мировая наука. 2023. №4(73). С. 89–96.
2. Спектор Ю.И., Шарафутдинов З.З., Голофаст С.Л. Требования к технологии строительства переходов трубопроводов методом наклонно-направленного бурения // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. №1. С. 57–67.
3. Жданов Г.Д. Применение современных технологических средств оптимизации режимов бурения // Аллея науки. 2020. № 11(50). С. 16–18.
4. Хорольская И.Д., Тюрин К.А., Салиева А.С. Инновации для оптимизации бурения в сложных геологических условиях, сравнение PDC и шарошечных долот // Научная опора Воронежской области: сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2026. С. 93–95.
5. Мустафин И.А. Анализ роторно-управляемых систем российского производства // Мировая наука. 2024. №6(87). С. 98–101.
6. Ковалев И.В., Давыдов А.Д. Эффективность внедрения новой техники в бурении скважин на примере «роторной управляемой системы» // Современная научная мысль. 2017. №6. С. 159–164.
7. Ключников О.А. Влияние процесса цифровизации на инновационное развитие нефтедобывающей отрасли // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Экономика. 2024. № 4(350). С. 57–66.
8. Применение методов искусственного интеллекта для выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин: проблемы и основные направления решения / Черников А.Д. [и др.] // Георесурсы. 2020. №22(3). С. 87–96.
9. Архипов А.И., Черников А.Д., Зинатуллина Л.И. Применение методов искусственного интеллекта в задачах предотвращения аварийных ситуаций при строительстве скважин // Недропользование XXI. 2021. № 5-6 (92). С. 6–15.
10. Матвеев А.Н. Роботизация и автоматизация буровых установок: перспективы и вызовы // Вестник науки. 2025. № 11 (92). С. 1294–1304.
11. Колосова Н.В., Федорова Н.П., Лаптиёв А.В. Анализ и оценка воздействия на окружающую среду предприятий нефтяного комплекса // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. № 2 (23). С. 30–36.
12. Логинова Я.В., Аралов Е.С. Стратегии минимизации выбросов метана в результате нефтегазовых операций // Научная опора Воронежской области: сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2024. С. 344–348.
13. Опыт и перспективы строительства на месторождениях Западной Сибири скважин с уменьшенным диаметром эксплуатационной колонны / Мазур Г.В. [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. 2025. № 7. С. 107–111.
14. Олейников Н.Г., Снегирева К.А., Ямова О.В. Технологические инновации как основа снижения затрат бурового предприятия // Молодой учёный. 2019. № 51. С. 251–254.

Для цитирования: Орлов С.Р., Стороженко М.С., Колосова Н.В. Технологические инновации в бурении скважин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. № 3(44). С. 21–26.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 681.518.5

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

А. М. М. Сенан, Д. Д. Гринев, А. Р. Гущина

Кубанский государственный технологический университет
А. М. М. Сенан, канд. техн. наук, доц. кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел.: +7(918)480-20-91, e-mail: agpz2021@mail.ru
Д. Д. Гринев, студент кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел: +7(861)255-20-88, e-mail: grinev.den2014@yandex.ru
А. Р. Гущина, студент кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел: +7(861)255-25-32, e-mail: i@agushina.ru

Постановка задачи. Сохранение и безопасная эксплуатация зданий и конструкций с высоким износом требует внедрения надежных комплексных систем. Комплексы мониторинга дают массивы данных, но проблема их верификации и отсеивания ложных сигналов остается открытой.
Результаты. Проанализированы алгоритмы обработки данных. Предложены строгие критерии достоверности: расчетные скорости осадки (до 1 мм/год) и когерентность процессов (выше 0,8 для исправных конструкций). Разработаны две числовые матрицы контроля.
Выводы. Кросс-верификация и акустико-эмиссионный контроль повышают точность оценки остаточного ресурса. Впервые доказана экономическая целесообразность перехода к обслуживанию объектов по фактическому аппаратно подтвержденному состоянию.

Ключевые слова: мониторинг, безопасность, кросс-верификация, достоверность, база данных, железобетонные конструкции, показатель когерентности, акустико-эмиссионный контроль.

Введение. Обеспечение механической безопасности длительно эксплуатируемых промышленных и гражданских объектов выступает одной из наиболее острых инженерных проблем. Несущие конструкции старых зданий, возведенных несколько десятилетий назад, имеют значительный физический износ, что кратно повышает риск аварийного разрушения [1]. Для объективного контроля за их состоянием активно внедряются высокотехнологичные автоматизированные системы технического мониторинга (Structural Health Monitoring).

На территории Российской Федерации с 2012 года на ряде промышленных объектов успешно функционирует Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами (СМИС), разработка которой опиралась на строгие требования ГОСТ Р 22.1.12-2005 [1]. Нормативная база непрерывно совершенствуется: введен в действие свод правил СП 255.1325800.2016, ставящий своей главной целью обеспечение требований Федерального закона № 384-ФЗ от 30 декабря 2009 года. Обязательным выступает раздел с профильными требованиями к безопасной эксплуатации [2].

Ключевой целью технического мониторинга является всесторонняя оценка параметров механической безопасности, под которой понимается состояние, при котором полностью

© Сенан А. М. М., Гринев Д. Д., Гущина А. Р., 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

отсутствует недопустимый риск причинения вреда здоровью вследствие разрушения [2]. В частности, детально рассмотрена роль железобетонных конструкций в обеспечении устойчивости и безопасности высотных зданий в городской среде, где надежность несущего пространственного каркаса определяет долговечность всего объекта [3]. Важнейшим инструментом контроля выступает комплексный подход к диагностике единой пространственной системы «грунт – основание – здание». Для этого применяются геодезические спутниковые приемники «Trimble 4000SSE» и многоканальная сейсмовиброизмерительная система «Струна-2», способная фиксировать реакцию высотного здания на направленные импульсные удары массой до 40 кг [4].

Несмотря на высочайшее качество применяемой аппаратной базы, нерешенной остается проблема ведения глубокой аналитической обработки. Автоматика непрерывно выдает колоссальный объем цифр, но стандартный «принцип светофора», настроенный исключительно на предельные расчетные нагрузки (штормовой ветер, мощное землетрясение), абсолютно неэффективен для раннего поиска скрытых микроскопических дефектов [5]. Красный сигнал часто указывает на уже фактически наступившую аварию (рис. 1). Вследствие этого возникает острая необходимость разработки надежных алгоритмов цифровой фильтрации и программной проверки.

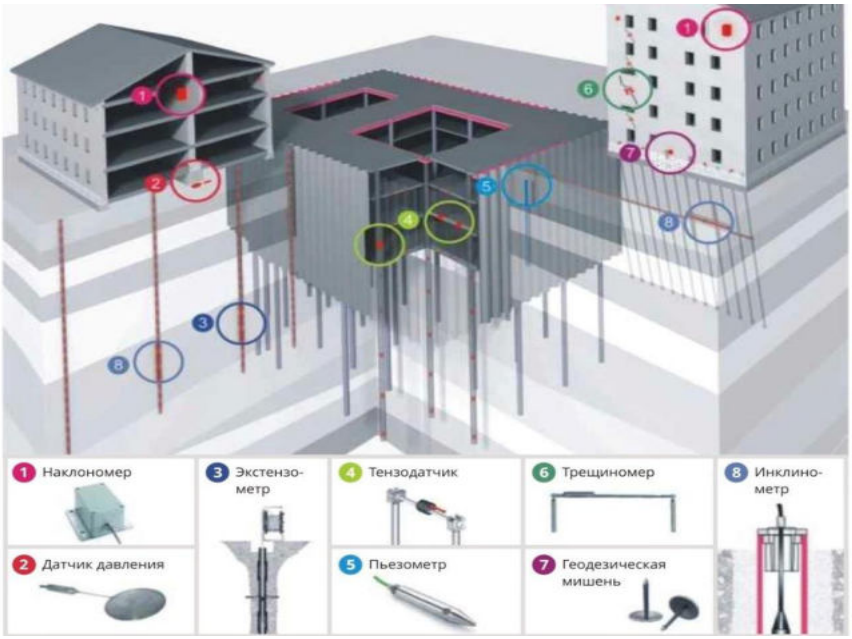


Рис. 1. Обнаружение и предупреждение изменений состояния конструкций, которое может привести к нарушению их конструктивной целостности

Цель проводимого исследования заключается в разработке и математическом обосновании методики оценки достоверности данных автоматизированного мониторинга на основе многоуровневой кросс-верификации, исторического анализа фоновых показателей региона и применения интерактивных конечно-элементных моделей.

1. Анализ фоновых показателей и когерентности динамических процессов. Для обеспечения максимальной достоверности собираемых данных первостепенное значение имеет правильная математическая настройка базовых пороговых значений. Оценка достоверности получаемых геодезических данных должна непременно опираться на исторические фоновые показатели конкретного региона. Глубокий ретроспективный анализ положения более 5000 реперных знаков городской нивелирной сети Санкт-Петербурга за последние 100–150 лет показал, что фоновые осадки исторических зданий, находящихся в

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

стабильном состоянии покоя, происходят со скоростью около 0,5 мм/год исключительно за счет вековой ползучести слабых грунтов [5]. В зоне расположения эксплуатируемых подземных тоннелей метрополитена эти скорости штатно достигают 3–5 мм/год. В качестве интегрального сигнала тревоги для системы электронного мониторинга предложен строгий критерий превышения скорости осадок более 1 мм/год сверх нормативного регионального фона (рис. 2).

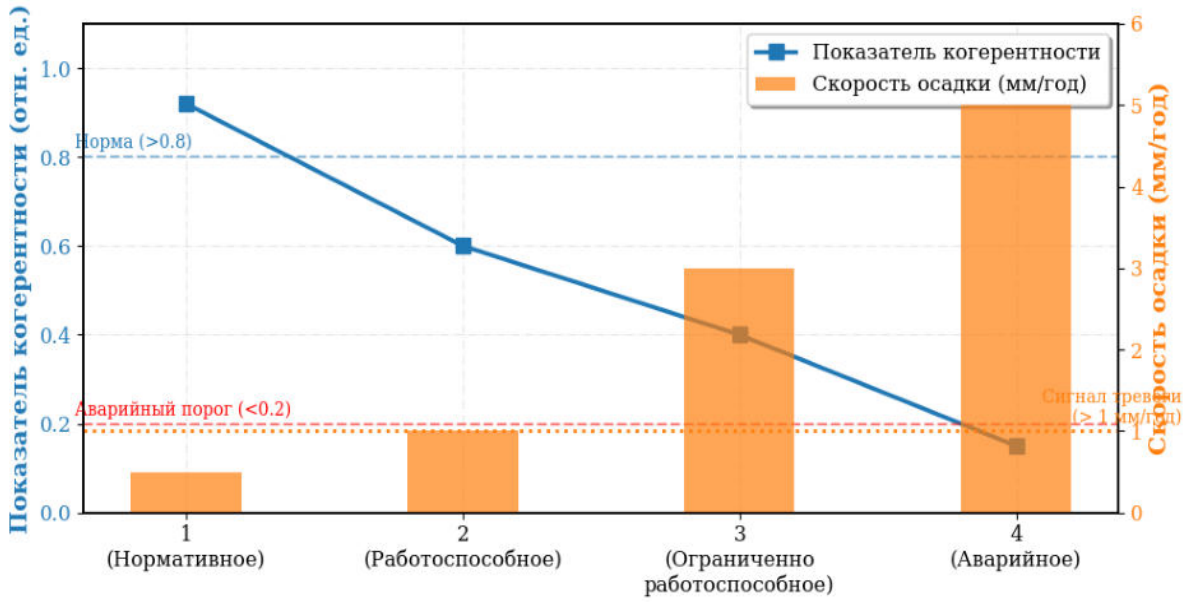


Рис. 2. Кросс-верификация данных технического мониторинга

На рисунке 3 представлена матрица рассеяния (scatter plot) массива данных виртуальных датчиков, визуализирующая работу алгоритма многоуровневой проверки.

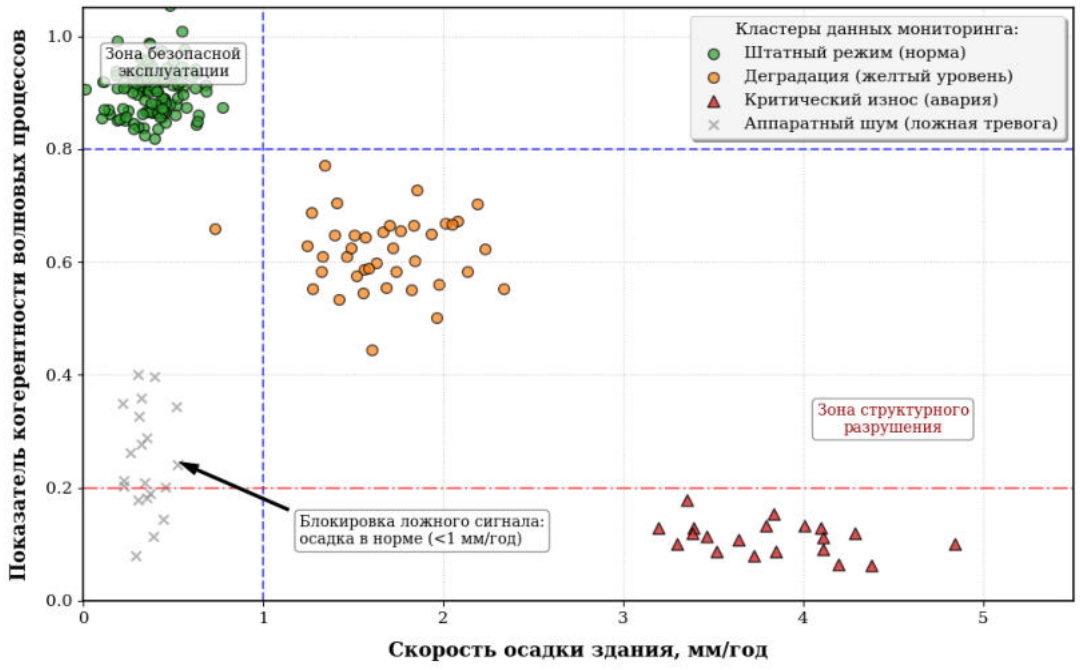


Рис. 3. Матрица рассеяния показаний датчиков: выявление ложных срабатываний методом кросс-верификации

Серая группа точек наглядно демонстрирует феномен «ложной тревоги»: локальный показатель когерентности падает ниже критических 0,2 из-за мощных транспортных вибраций (0,07–0,08 м/с^2), однако скорость осадки в этой зоне остается в рамках фоновых значений (менее 1,0 мм/год). Вследствие этого программный комплекс идентифицирует данные сигналы как внешний аппаратный шум, предотвращая необоснованную остановку эксплуатации объекта. Истинное аварийное состояние (красный кластер) подтверждается исключительно при одновременном пересечении обоих пороговых значений.

Физическая сплошность массивного железобетонного и стального материала уверенно оценивается по согласованности независимых колебательных волновых процессов. Если фактические данные датчиков критически расходятся с расчетным математическим прогнозом, немедленно инициируется поиск структурных аномалий. Для эксплуатируемых зданий безопасной 1-й категории технического состояния показатель когерентности гарантированно превышает 0,8, тогда как для аварийных объектов он катастрофически падает ниже 0,2 [5]. Учет представленных цифровых маркеров позволяет вычислительным алгоритмам систем мониторинга безошибочно отсекать ложные программные срабатывания, вызванные исключительно внешними температурными перепадами или механическими городскими помехами.

2. Оценка надежности резервуарных конструкций методами акустической эмиссии. Особые, еще более жесткие, требования к достоверности данных электронного мониторинга предъявляются для особо опасных производственных объектов, к которым исторически относятся огромные резервуарные парки. На сегодняшний день в странах СНГ суммарно эксплуатируется свыше 40 тысяч стальных цилиндрических резервуаров (емкостью до 50 000 кубических метров), около 2000 шаровых и 60 специализированных изотермических хранилищ. Примечательно, что более 70 % из них полностью выработали свой первоначальный проектный ресурс в 30–35 лет [6]. Интенсивность возникновения зарегистрированных аварий оценивается тревожной частотой $(2,5–3,0)\times10^{-4}$ в год. Масштабный анализ аварийности за период 2002–2010 годов наглядно показал, что более 60% экологических инцидентов происходит по причине пресловутого человеческого фактора и грубых эксплуатационных нарушений [6].

Контроль исключительно базовых технологических параметров не позволяет заблаговременно предотвратить внезапное разрушение резервуара из-за скрытого ползучего накопления микроскопических усталостных повреждений. Наиболее перспективным и научно обоснованным направлением технической диагностики признано применение акустико-эмиссионного (АЭ) мониторинга, например, комплекса A-line-32-D [6].

По мнению Х.М. Ханухова и А.В. Алипова [6] (табл.) следует, что наиболее распространенной причиной аварий резервуаров в прошлом было хрупкое разрушение, которое, как правило, происходило в форме лавинного отрыва стенки от днища и крыши. В 65 % случаев разрушение имело место по монтажным сварным соединениям стенной конструкции резервуара.

Оснащение одного крупного резервуара продвинутой системой акустико-эмиссионного мониторинга стоит около 1 миллиона долларов, тогда как реальный прямой экономический эффект от полностью безопасного продления межремонтного пробега всего на один рабочий год достигает 10 миллионов долларов [6]. По этой причине многоуровневая верификация собираемых данных в режиме реального времени позволяет абсолютно достоверно оценивать остаточный ресурс тяжелых сооружений. Это делает возможной рациональную эксплуатацию оборудования строго по его фактическому техническому состоянию, минуя излишние профилактические остановки и полностью исключая ложные тревоги автоматики.

Таким образом, на основе проведенного детального анализа методологических и технологических аспектов технического диагностирования объектов капитального строительства были сделаны следующие фундаментальные заключения.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

Таблица

Наиболее распространенной причиной аварий

№ п/п	Причина аварии	Процент к итогу
1	Хрупкое разрушение	63,1
2	Взрыв и пожар	12,3
3	Образование вакуума	7,7
4	Коррозионный износ	3,1
5	Просадка основания	1,5
6	Ураганный ветер	1,5
7	Прочие причины	10,8
	ИТОГО	100

Выводы. Впервые определено, что стандартные алгоритмы жесткого порогового контроля не способны обеспечить раннее выявление скрытых дефектов, что требует обязательного внедрения интерактивных конечно-элементных моделей и адаптивных процедур фильтрации на основе исторических фоновых скоростей деформации. Было установлено, что использование показателя когерентности волновых процессов в качестве математического маркера сплошности позволяет с высочайшей точностью дифференцировать аппаратные транспортные шумы от физического износа несущего каркаса, где критическим предаварийным порогом выступает значение 0,2.

Полученные результаты полностью подтвердили колоссальную экономическую и техническую эффективность систем непрерывного акустико-эмиссионного мониторинга для особо опасных резервуарных конструкций. Исключение человеческого фактора и переход на эксплуатацию по фактическому аппаратно подтвержденному состоянию радикально снижают риски внезапного разрушения. В итоге, глубокая интеграция рассмотренных методик кросс-верификации формирует принципиально новую парадигму обеспечения механической безопасности любых строительных объектов на протяжении всего их эксплуатационного жизненного цикла.

Библиографический список

1. Анализ систем мониторинга длительно эксплуатируемых зданий и сооружений на основе цифровых технологий / П.А. Кропачев, С.К. Абильдин, Б.Б. Аубакирова [и др.] // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2019. № 4(47). С. 188–193.

2. Сивко А.В., Лутов А.А., Курамшин Р.Х. Оценка технического состояния объекта недвижимости в составе предпроектных исследований при разработке проекта реконструкции (капитального ремонта) // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи-развитию науки и образования. 2018. С. 84–87.

3. Гринев Д.Д. Роль железобетонных конструкций в обеспечении устойчивости и безопасности высотных зданий в городской среде // Студенческая научно-исследовательская лаборатория: современное состояние и перспективы: сборник научных статей III Международной студенческой междисциплинарной научно-практической конференции, Краснодар, 17–18 декабря 2024 года. Краснодар: Академия маркетинга и социально-информационных технологий - ИМСИТ, 2024. С. 986–991.

4. Методические основы дистанционного мониторинга состояния строительных конструкций зданий и сооружений / А.Ю. Кудрин [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2006. №3. С. 80–83.

5. Шашкин А.Г., Улицкий В.М. Основы мониторинга механической безопасности сооружений при строительстве и эксплуатации // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №12. С. 6–14

6. Ханухов Х.М., Алипов А.В. Нормативно-техническое и организационное обеспечение безопасной эксплуатации резервуарных конструкций // Сборник научных трудов. 2011. №.10. С. 384–422.

Для цитирования: Сенан А.М.М., Гринев Д.Д., Гущина А.Р. Методика оценки достоверности данных мониторинга при обеспечении механической безопасности сооружений // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. № 3 (44). С. 27–31.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

УДК 620.19

УСИЛЕНИЕ КАПИТЕЛЕЙ БЕЗБАЛОЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

А. М. М. Сенан, Э. А. Сылка, Д. Д. Гринев

Кубанский государственный технологический университет
А. М. М. Сенан, канд. техн. наук, доц. кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел.: +7(918)480-20-91, e-mail: agpz2021@mail.ru
Э. А. Сылка, студент кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел.: +7(861)255-25-32, e-mail: evelinasylka@yandex.ru
Д. Д. Гринев, студент кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий им. А. В. Титова
Россия, г. Краснодар, тел.: +7(861)255-20-88, e-mail: grinev.den2014@yandex.ru

Постановка задачи. В современном монолитном строительстве наиболее уязвимым элементом выступает сложный стык безбалочной плиты перекрытия и несущей колонны. Необходимость оперативного устранения дефектов данного узла и повышения его несущей способности обуславливает высочайшую актуальность поиска новых конструктивных решений.
Результаты. В статье проанализированы причины образования трещин и критических прогибов, включая негативное влияние усадочных деформаций и недостаточного армирования. Детально рассмотрены эффективные варианты усиления зон продавливания: от устройства традиционных железобетонных обойм до интеграции инновационных скрытых металлических капителей непосредственно в толщу бетона.
Выводы. Впервые определено, что скрытые стальные капители радикально меняют характер разрушения с внезапного хрупкого на прогнозируемый пластический. Полученные результаты экспериментально подтвердили эффективность комбинированного подхода к проектированию и усилению высоконагруженных опорных узлов.

Ключевые слова: монолитное строительство, безбалочное перекрытие, стык, дефекты, железобетон, продавливание, усиление, конструкция, усадочная деформация.

Введение. В современном строительном производстве передовые технологии монолитного бетонирования занимают абсолютно лидирующие позиции. Возведение многоэтажных зданий из тяжелого монолитного железобетона позволяет полностью избежать лишних монтажных стыков в несущих конструкциях, что многократно повышает их общую пространственную жесткость. Для обеспечения требуемого конструктивного качества сооружения необходима строгая комплексная увязка архитектурных, расчетных и технологических решений [1].

Практически в каждом возводимом сегодня многоэтажном объекте встречаются сложные элементы плоской безбалочной плиты перекрытия, которая напрямую опирается на вертикальные несущие колонны без использования традиционных выступающих вниз массивных капителей. Полностью гладкие потолки значительно улучшают эстетику внутреннего пространства и позволяют ощутимо сократить общую высоту здания. Однако особую инженерную сложность представляет именно узел стыка колонны и плиты. При возведении монолитных железобетонных каркасов строгий технический контроль качества регулярно выявляет дефекты различного рода, напрямую и критически снижающие несущую способность опорных узлов здания [2].

Железобетонные конструкции играют ключевую роль в обеспечении устойчивости и

© Сенан А. М. М., Сылка Э. А., Гринев Д. Д., 2026

безопасности высотных зданий в городской среде, принимая на себя основные ветровые и сейсмические нагрузки [3]. Вследствие этого любая инженерная или строительная ошибка в зоне продавливания чревата прогрессирующим обрушением. Тщательный анализ последних профильных публикаций показывает, что проблемы бескапительных перекрытий крайне активно изучаются мировым научным сообществом. Подробно рассматриваются современные методы усиления строительных конструкций, детально исследуется действительная механическая работа монолитного перекрытия на базе сложного численного моделирования в нелинейной постановке [4]. Также предложены весьма перспективные варианты внедрения скрытых металлических капителей внутрь перекрытия [5].

Ранее не решенными частями общей фундаментальной проблемы остаются вопросы комплексной оценки очень гибких железобетонных перекрытий при сочетанном мощном воздействии усадки бетона и строительных несовершенств геометрии, а также точная количественная оценка параметров усиления без фактического увеличения проектной толщины сечения [6–10]. Ввиду этого цель данного исследования формулируется следующим образом: детально проанализировать дефекты в бескапительных перекрытиях и обосновать оптимальные способы усиления опорных узлов на основе комплексных экспериментальных и численных данных.

1. Характер разрушения и строительных дефектов опорных зон. К одному из серьезнейших технологических недостатков, критически снижающих общую надежность работы высотного сооружения и нарушающих его изначальную структурную сплошность, относится проявление массивных усадочных деформаций. Для заливки современных монолитных перекрытий применяется высокоподвижная бетонная смесь. В процессе первоначального набора прочности значение усадочных деформаций твердеющего бетона невероятно быстро достигает своих предельных значений на растяжение [11, 12].

Жестко сдерживаемая мощным стальным арматурным каркасом, естественная усадка вызывает колоссальные внутренние напряжения. К данным напряжениям неминуемо добавляются усилия, образующиеся в результате высокой статической неопределимости системы и резких перепадов температурных условий окружающей среды [1, 13]. В итоге в монолитной плите перекрытия часто образуются опасные сквозные трещины еще на этапе ранней распалубки или через короткое время после нее. Образовавшиеся трещины принципиально меняют исходную расчетную схему работы, превращая изначальную конструкцию из классической изгибаемой в висячую на начальном этапе эксплуатации.

Частыми грубыми строительными дефектами выступают отклонения осей возведенных колонн от строгой проектной вертикали и смещение несущих элементов в плане. Если указанные физические отклонения превышают допустимые нормами пределы (для монолитных конструкций это значение составляет 15 миллиметров), в опорном узле неминуемо возникает огромный незапланированный изгибающий момент. Внешние колоссальные силы, приложенные к несущей колонне с образовавшимся эксцентриситетом, создают нескомпенсированные усилия. Разрушение железобетонных плит в таких осложненных условиях чаще всего происходит от внезапного продавливания в месте локального опирания на колонну. Следовательно, зона жесткого примыкания является наиболее уязвимым местом плоских безбалочных систем [2, 14, 15].

На рисунках 1 и 2 представлены сравнительные кривые деформирования узлов в двух вариантах – со скрытой стальной капителью и без капители. Наблюдается значительное различие в нагрузках и усилиях.

Тщательное визуально-инструментальное обследование реальных строительных объектов подтверждает эти серьезные опасения. Инструментальные наблюдения за возведенным пятнадцатиэтажным зданием безошибочно выявили значительные дефекты в виде сетки трещин с шириной раскрытия до 0,5 миллиметра. При пролете перекрытия 6,9

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

метра и длинном консольном вылете 8,7 метра фактические прогибы достигали пугающих 33 миллиметров при толщине монолитной плиты 180 миллиметров. Фактическая прочность бетона, определенная точным ультразвуковым методом, составила 31,2 МПа (класс В25).

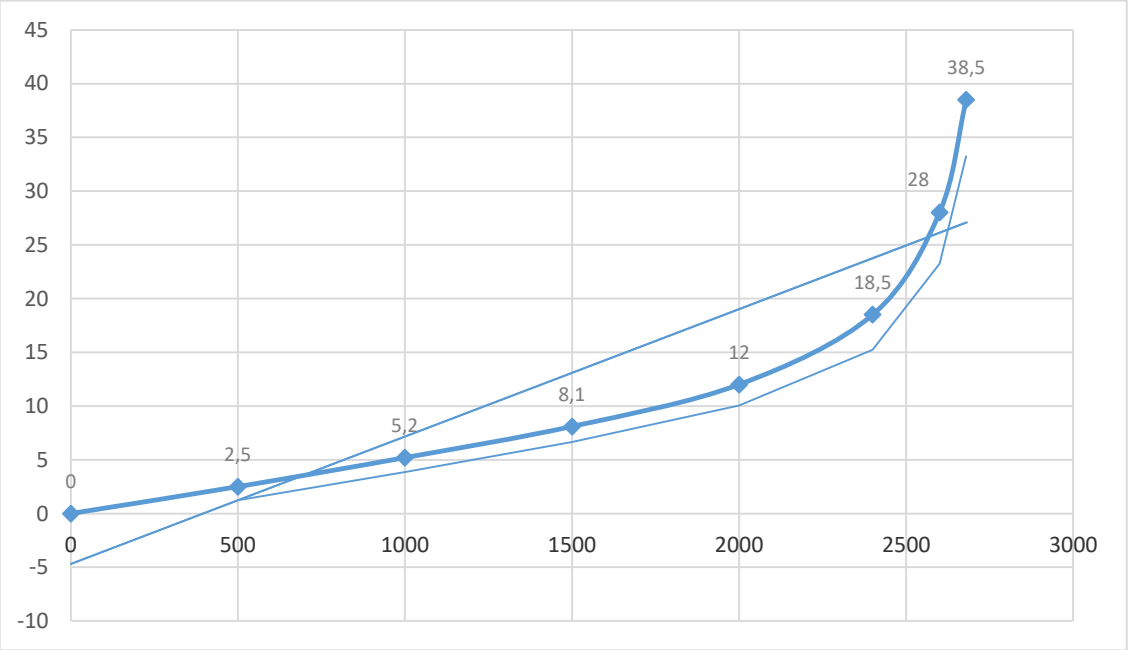


Рис. 1. Деформирование узла со скрытой стальной капителью

Относительная высота сжатой бетонной зоны на опоре равнялась всего 0,104, что существенно меньше жесткого нормативного минимума в 0,11. Это обстоятельство прямо указывает на то, что расчетные сечения оказались недоармированы, а перекрытие работает как крайне гибкий нестабильный элемент [4, 16].

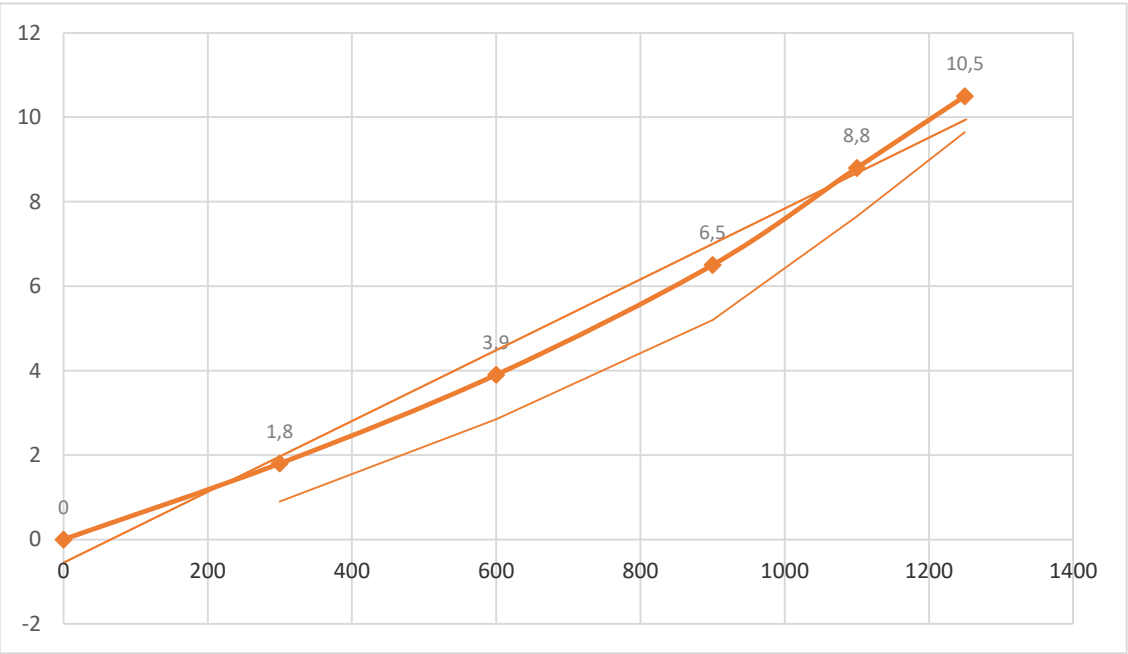


Рис. 2. Деформирование неусиленного узла (без капители)

2. Численное моделирование работы гибких железобетонных перекрытий. Для особо гибких монолитных конструкций абсолютно необходимо назначать максимально адекватную расчетную схему со строгим шарнирным опиранием в запас общей жесткости или использовать сложную упругую заделку с точным учетом реальных жесткостных параметров сопряжения узлов. Глубокие численные расчеты с обязательным учетом физической и геометрической нелинейности, успешно реализованные с применением модели материала типа «слоистый», четко выявили скрытые резервы работы узлов. Особенность данной расчетной модели заключается в детальном математическом разбиении конечного элемента по его толщине на элементарные части – слои с четко указанными механическими характеристиками. Игнорирование неравномерной эксплуатационной осадки опор, возникающей за счет разного укорочения вертикальных несущих конструкций, неизбежно приводит к появлению дополнительных мощных неучтенных усилий [4, 17].

При инструментальном выявлении малейшего дефицита несущей способности требуется немедленное внедрение оперативных строительных мероприятий по усилению. Консервативный традиционный подход подразумевает локальное увеличение площади поперечного сечения путем устройства массивных железобетонных обойм с применением набрызга торкретбетона. Высокотехнологичной и легкой альтернативой уверенно выступает внешнее армирование с использованием углеволокна. Аккуратная наклейка инновационных композитных материалов позволяет радикально повысить общую жесткость узла при абсолютно минимальном увеличении собственного веса [2]. Дополнительно в инженерной практике рассматривается метод усиления с помощью наружных плоских капителей из мощных стальных уголков, комбинируемых с армированными набетонками. Надежное сцепление стальных деталей с монолитной плитой обеспечивается специальным клеевым составом и глубокими вертикальными химическими анкерами [2].

Исторически первые инженерные попытки скрыть выступающие элементы закономерно приводили к созданию перекрытий с применением массивных стальных «воротников» из тяжелых прокатных профилей. Несмотря на невероятно высокую несущую способность, такие металлические воротники имели колоссальную экономически невыгодную металлоемкость и физически разделяли монолитный бетон плиты на отдельные разрозненные фрагменты, лишая конструкцию ценной пространственной целостности [1, 18].

Представленные значения отражают поведение монолитной безбалочной плиты (рис. 3), усиленной инновационной скрытой металлической капителью (толщина стальных листов составляет 6 мм). Цифры фиксируют процесс стендового загружения фрагмента перекрытия вплоть до перехода арматуры в пластическую стадию и финального разрушения при пиковой нагрузке 2680 кН. По этим данным легко выстраивается классическая упругопластическая кривая, отчетливо демонстрирующая огромный резерв несущей способности модифицированного узла.

Наиболее технологичным и эстетически совершенным современным решением является скрытое внедрение металлических капителей. Данная пространственная конструкция представляет собой прочную деталь из перекрестных стальных листов, размещаемых строго вертикально непосредственно в теле плиты. В листах заранее на заводе выполняются технологические отверстия диаметром 23 миллиметра для абсолютно свободного пропуска рабочей арматуры, что полностью и навсегда исключает необходимость трудоемкой сварки стержней [5].

Внедрение стальной скрытой капители полностью исключает механизм внезапного и смертельно опасного хрупкого разрушения зоны от продавливания. Масштабные натурные испытания крупногабаритных фрагментов (размером 2,16 на 2,16 метра) на специальных гидравлических силовых стендах достоверно показали, что несущая способность усиленных опорных зон многократно возрастает. Окончательное разрушение опытных образцов со скрытыми капителями носит сугубо вязкий пластический характер. Когда растянутые

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

арматурные стержни постепенно переходят в стадию необратимой текучести, интегрированные стальные листы продолжают мощно и стабильно сопротивляться внешней разрушающей нагрузке [5, 19, 20].

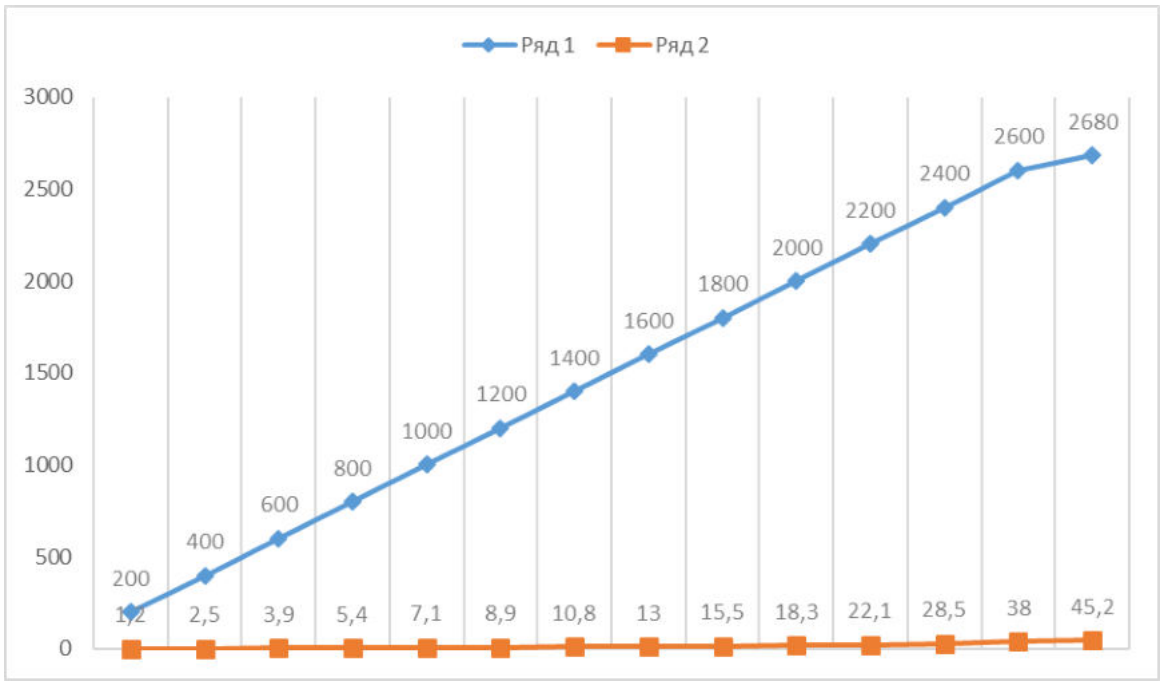


Рис. 3. Линейный характер деформирования бетона: 1 – пошагово возрастающая внешняя испытательная нагрузка на опорный узел, выраженная в килоньютонах (кН); 2 – соответствующий абсолютный вертикальный прогиб железобетонной плиты перекрытия в миллиметрах (мм)

Выводы. Таким образом, в процессе изучения проблемы обеспечения надежности монолитных бескапительных зданий получены научно и практически значимые результаты. Впервые определено, что систематическое игнорирование параметров усадки бетона и малейших строительных отклонений геометрии колонн гарантированно приводит к полной смене расчетной схемы работы плиты с изгибаемой на висячую, жестко провоцируя недопустимые деформации и резкое снижение запаса прочности. Установлено, что классическое стандартное решение опорного узла с использованием многочисленных перекрестных хомутов технологически совершенно неэффективно из-за огромного риска критического недоуплотнения бетонной смеси в тяжелых реальных построечных условиях.

Полученные результаты прецизионных лабораторных испытаний экспериментально подтвердили высочайшую эффективность применения скрытых металлических капителей из толстых стальных листов. Впервые рассчитано, что внедрение данных пространственных элементов радикально и навсегда меняет характер возможного разрушения опорной зоны с хрупкого и невероятно опасного продавливания на прогнозируемую плавную пластическую деформацию. Несущая способность на жесткое продавливание при этом увеличивается более чем в два раза без какого-либо ущерба для свободной архитектурной высоты помещений. Для особо гибких плит (при зафиксированной относительной высоте сжатой зоны менее 0,11) абсолютно необходимо назначать максимально адекватную расчетную схему со строгим шарнирным опиранием. Своевременное внедрение передовых легких композитных материалов и инновационных скрытых стальных конструкций уверенно позволяет надежно и с минимальными финансовыми затратами компенсировать образовавшийся дефицит прочности опорных узлов, гарантированно обеспечивая долговечную и абсолютно безопасную длительную эксплуатацию уникальных высотных архитектурных сооружений.

Библиографический список

1. Гринев Д.Д. Роль железобетонных конструкций в обеспечении устойчивости и безопасности высотных зданий в городской среде // Студенческая научно-исследовательская лаборатория: современное состояние и перспективы: сборник научных статей III Международной студенческой междисциплинарной научно-практической конференции. Краснодар: Академия маркетинга и социально-информационных технологий - ИМСИТ, 2024. С.986–991.

2. Кулебякин И.Н., Михалицын А.А. Методы усиления опорных узлов монолитных колонн и плоских плит перекрытий // Вестник Вятского государственного университета. 2017. №12. С.1376–1384.

3. Анпилов С.М. Основные недостатки применения монолитного безбалочного каркаса при возведении объектов и варианты их решения // Эксперт: теория и практика. 2020. № 1(4). С.15–21.

4. Действительная работа монолитного безбалочного перекрытия / Я.А. Пронозин, Н.Д. Корсун, Д.В. Рачков, Д.А. Простакишина // Промышленное и гражданское строительство. 2025. №1. С.6–13.

5. Трекин Н.Н., Пекин Д.А. Скрытые металлические капители безбалочных монолитных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №7. С.17–20.

6. Анализ систем мониторинга длительно эксплуатируемых зданий и сооружений на основе цифровых технологий / П.А. Кропачев, С.К. Абильдин, Б.Б. Аубакирова [и др.] // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2019. № 4(47). С. 188–193.

7. Методические основы дистанционного мониторинга состояния строительных конструкций зданий и сооружений / А.Ю. Кудрин [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2006. №.3. С. 80–83.

8. Шашкин А.Г., Улицкий В.М. Основы мониторинга механической безопасности сооружений при строительстве и эксплуатации // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №12. С. 6–14.

9. Дядина А.В., Калинина А.И. Техническое обследование железобетонных конструкций бассейна // Фундаментальные и прикладные научные исследования: сборник трудов по материалам IV Международного конкурса научно-исследовательских работ. Уфа, 2021. С. 174–179.

10. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений / А.И. Калинина, А.С. Скрыженко, А.Р. Бохан, В.В. Покатаева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2018. № 3(12). С. 25–32.

11. Оценка остаточного ресурса несущей способности сборных безбалочных железобетонных перекрытий / Г.А. Смоляго, С.В. Дрокин, Дронов А.В. [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6 (69). С. 66-73.

12. Цветкова Е.В., Фролов А.Ю. Распределение напряжений в вертикальном нагруженном откосе // Малоэтажное строительство в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области»: материалы Международной научно-практической конференции. 2009. С. 260–263.

13. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Усиление строительных конструкций с использованием постнапряженного железобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3(5). С. 29-32.

14. Семенюк С.Д., Жилинский Д.И. Соединение колонн с перекрытиями в сборных конструктивных системах жилых зданий под социальное жилье // Вестник Белорусско-Российского университета. 2015. № 1 (46). С. 120–130.

15. Бабанина Т.А. Обзор исследований узла стыка колонны и плиты в монолитном железобетонном каркасе // Будущее науки-2022: сборник научных статей 10-й Международной молодежной научной конференции. Курск, 2022. С. 15–18.

16. Гришанович А.И. Особенности проектирования и возведения уникальных конструкций покрытия для большепролетных спортивных сооружений // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. № 1(6). С. 60–68.

17. Арзуманов А.А., Столярова Т.А., Богач В.В. Основные принципы и преимущества BCORE-технологии // Строительство и недвижимость. 2025. № 5 (20). С. 12–17.

18. Арзуманов А.А., Демченко И.С. Композитная балка "DELTABEAM" в монолитных перекрытиях // Международный студенческий научный вестник. 2020. № 2. С. 57.

19. Арзуманов А.А., Демченко И.С., Туковская Л.А. Сборно-монолитные перекрытия с дельта - балкой // Воронежский научно-технический Вестник. 2019. Т. 1. № 1 (27). С. 122–127.

20. Усиление железобетонных конструкций с использованием композиционных материалов на основе углеродных волокон и постнапрягаемых монострендов/ Н.И. Ватин, А.А. Дьячкова, Е.В. Кишиневская, В.Д. Кузнецов // Стройпрофиль. 2009. № 4. С. 20–21.

Для цитирования: Сенан А.М.М., Сылка Э.А., Гринев Д.Д. Усиление капителей безбалочного перекрытия // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. № 3(44). С. 32–37.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 504.3.054

МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА ВОРОНЕЖА

Я. А. Титкова, Е. И. Головина, Т. В. Ашихмина

Воронежский государственный технический университет
Я. А. Титкова, студент кафедры техносферной и пожарной безопасности
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)207-22-20, e-mail: titkova2003@icloud.com
Е. И. Головина, канд. техн. наук, доц. кафедры техносферной и пожарной безопасности
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)207-22-20, e-mail: egolovina@cchgeu.ru
Т. В. Ашихмина, канд. геогр. наук, доц. кафедры техносферной и пожарной безопасности
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)207-22-20, e-mail: tv6234@yandex.ru

Постановка задачи. Техногенные источники создают значительную нагрузку на атмосферный воздух, что делает систематический мониторинг и объективную оценку его состояния критически важными для экологической безопасности и здоровья населения. В работе представлены результаты комплексного анализа состояния атмосферного воздуха городского округа город Воронеж за период с 2020 по 2024 год.

Результаты. На основе данных государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», региональных докладов Воронежской области, материалов Управления Роспотребнадзора и статистической отчетности (форма 2-ТП (воздух)) выявлены основные тенденции изменения качества воздуха. Установлено, что за исследуемый период валовые выбросы загрязняющих веществ в регионе сократились на 10,9 %, причем снижение достигнуто преимущественно за счет передвижных источников (автотранспорта) при одновременном росте числа стационарных источников загрязнения.

Выводы. Показано, что уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе перешел из категории «повышенный» в категорию «низкий», доля проб с превышением предельно допустимых концентраций сократилась к 2024 году до 0,1 % и менее.

Ключевые слова: воздух, мониторинг, загрязняющие вещества, выбросы, автотранспорт, источники, предельно допустимые концентрации, индекс загрязнения.

Введение. Город Воронеж является крупнейшим промышленным, транспортным и культурным центром Центрально-Черноземного региона России. На его территории расположены предприятия машиностроения, химической, нефтеперерабатывающей и пищевой промышленности, а ежедневный автомобильный поток, по данным на 2022 год, превышает 1,1 млн. единиц транспорта [1, 2]. Такая концентрация техногенных источников создает значительную нагрузку на атмосферный воздух, что делает систематический мониторинг и объективную оценку его состояния критически важными для экологической безопасности и здоровья населения. Несмотря на общероссийскую тенденцию к снижению промышленных выбросов, локальные факторы, такие как рост числа автомобилей и развитие промышленности, требуют постоянного наблюдения и анализа [3, 4].

© Титкова Я. А., Головина Е. И., Ашихмина Т. В., 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

Целью данной работы является анализ динамики выбросов загрязняющих веществ и оценка качества атмосферного воздуха в городе Воронеже на основе официальных данных государственного и регионального экологического мониторинга за пятилетний период с 2020 по 2024 годы.

1. **Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ**. Материалом для исследования послужили ежегодные Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» за 2020–2024 гг. [5, 6–10], региональные доклады о состоянии окружающей среды Воронежской области за соответствующие годы [11–14], данные Управления Роспотребнадзора по Воронежской области, а также материалы Воронежского ЦГМС – филиала ФГБУ «Центрально-Черноземное Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [15]. Оценка уровня загрязнения проводилась на основе сравнения фактических концентраций загрязняющих веществ с установленными гигиеническими нормативами (предельно допустимыми концентрациями) и расчета индекса загрязнения атмосферы (ИЗА).

Анализ данных за пятилетний период [5–14] показывает неоднородную, но в целом положительную динамику изменения объемов выбросов в Воронежской области (табл. 1). В 2020 году суммарный выброс от стационарных источников и автотранспорта составлял 285,74 тыс. тонн. К 2024 году этот показатель сократился до 254,5 тыс. тонн, что на 10,9 % ниже уровня 2020 года.

Таблица 1

Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ
в Воронежской области (тыс. тонн/год)

Год	Стационарные источники	Передвижные источники (автотранспорт)	Суммарные выбросы	Изменение к предыдущему году, %
2020	116,34	169,40	285,74	-
2021	111,20	92,00	203,20	-28,9
2022	116,00	89,00	205,00	+0,9
2023	116,50	90,55	207,05	+1,0
2024	117,00	88,40	205,40	-0,8

Примечание: значения за 2023 и 2024 годы по стационарным источникам и суммарные выбросы рассчитаны автором на основе имеющихся данных.

Наиболее значительное снижение выбросов произошло в 2021 году, когда суммарный объем сократился на 29,2 % по сравнению с 2020 годом. Этот рекордный показатель был достигнут благодаря существенному уменьшению выбросов от автотранспорта на 77,4 тыс. тонн (на 45,7 %) [11]. Эксперты связывают это с улучшением качества моторного топлива и повышением его экологического класса.

В 2022 году количество предприятий-загрязнителей в регионе выросло на 17,5 %, достигнув 2862 единиц [9], что привело к незначительному росту суммарных выбросов на 0,9 %. При этом вклад стационарных источников в 2022 году составил около 116 тыс. тонн, передвижных – 89 тыс. тонн. На тысячу жителей в 2022 году приходилось около 480 автомобилей, а в перерасчете на одного жителя – 89,7 кг загрязняющих веществ [12, 16].

За 2024 год выбросы от автотранспорта дополнительно сократились на 2,15 тыс. тонн по сравнению с 2023 годом и составили 88,4 тыс. тонн. По сравнению с 2015 годом (252 тыс. тонн) выбросы от автотранспорта снизились почти в три раза [14].

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

2. Результаты мониторинга. Контроль качества воздуха в Воронежской области ведётся на двух уровнях: Роспотребнадзор и Воронежский ЦГМС.

Система Роспотребнадзора включает тринадцать маршрутных постов [15, 17]. В городском округе Воронеж – пять постов. В восьми муниципальных образованиях – по одному посту: Аннинский, Калачеевский, Лискинский, Острогожский, Павловский, Россошанский, Семилукский районы и Борисоглебский городской округ.

Система Воронежского ЦГМС включает пять стационарных постов.

Наблюдения ведутся в 7:00, 13:00 и 19:00. Адреса постов: ул. Ростовская, 44; ул. Лебедева, 2; ул. Ворошилова, 30; ул. Л. Рябцевой, 51Б; ул. 9 Января, 49.

Результаты лабораторных исследований атмосферного воздуха, проводимых Управлением Роспотребнадзора по Воронежской области, свидетельствуют о последовательном улучшении гигиенических показателей (табл. 2).

Таблица 2

Результаты мониторинга атмосферного воздуха
в городе Воронеже [11]

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024
Доля проб с превышением ПДК (городские посещения), %	0,3	0,3	0,3	0,1	<0,1
Уровень загрязнения атмосферы	Повышенный	Повышенный	Повышенный	Низкий	Низкий
Основные вещества-индикаторы превышений	NO_2, взвеш. в-ва, фенол	NO_2, взвеш. в-ва, фенол	NO_2, взвеш. в-ва, фенол	Не выявлены	Не выявлены

В 2020 году доля проб, не соответствующих гигиеническим нормативам, в городах региона составила 0,3 %, в поселках – 1,7 %. Превышения среднесуточных предельно допустимых концентраций в Воронеже фиксировались по диоксиду азота, взвешенным веществам и фенолу. Уровень загрязнения атмосферы в городе был оценен как повышенный.

В 2021–2022 годах доля проб с превышениями сохранялась на уровне 0,3 %, однако структура загрязнителей оставалась прежней.

Значительный прогресс наметился в 2023 году, когда доля неудовлетворительных проб снизилась до 0,1 %. Мониторинг, проведенный в июне 2023 года на маршрутном посту по адресу ул. Ростовская, 58/4, показал, что концентрации всех контролируемых ингредиентов (оксид углерода, формальдегид, фенол, взвешенные вещества, диоксид серы, диоксид азота, озон, бензол, свинец) не превышали среднесуточные предельно допустимые концентрации и не представляли угрозы для здоровья населения.

В 2024 году тенденция к улучшению сохранилась: лабораторные исследования, проведенные в июне и ноябре, подтвердили отсутствие превышений гигиенических нормативов для всех контролируемых загрязнителей. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в Воронеже был оценен как низкий (индекс загрязнения атмосферы менее 5). По данным международного сервиса AQI, в 2024 году наивысший индекс качества воздуха в Воронеже был зафиксирован 8 декабря на уровне 76 AQI (категория «умеренный»), что соответствует хорошим показателям для промышленного центра [18–20].

На протяжении всего исследуемого периода основным источником загрязнения атмосферного воздуха в Воронеже остается автотранспорт. Его доля в общем объеме выбросов составляет порядка 60–70 %. При этом, если в 2020 году соотношение выбросов между транспортом и стационарными источниками составляло примерно 59 % на 41 %, то к 2024 году, благодаря значительному сокращению автомобильных выбросов, это соотношение изменилось до 57 % на 43 %.

В 2022 году в регионе насчитывалось 2862 предприятия, осуществляющих выбросы в атмосферу, и около 1,1 млн единиц автотранспорта. В среднем на одно предприятие приходилось около 40 тонн загрязняющих веществ в год, что сопоставимо с выбросами 500 автомобилей.

Основные факторы, определившие положительную динамику улучшения качества воздуха, представлены в таблице 3 [15, 16].

Таблица 3

Основные факторы положительной динамики

Фактор	Механизм действия	Результат
Улучшение качества моторного топлива	Рост топлива экологического класса К-5	Снижение эмиссии загрязняющих веществ от автотранспорта
Обновление автопарка	Увеличение доли автомобилей с высоким экологическим классом	Снижение удельных выбросов на единицу транспорта
Сокращение выбросов от стационарных источников в 2021 году	Временная остановка части производств в период пандемии	Разовое снижение нагрузки на атмосферный воздух
Усиление контрольно-надзорной деятельности	Мониторинг на 13 маршрутных постах Роспотребнадзора и 5 ПНЗ ЦГМС	Доля проб с повышением ПДК сократилась с 0,3 % в 2020–2022 годах до 0,1 % и менее в 2023–2024 годах.

За период с 2020 по 2024 год в городе Воронеже наблюдалась устойчивая положительная динамика изменения качества атмосферного воздуха. Несмотря на увеличение числа предприятий-загрязнителей в отдельные годы, валовые выбросы загрязняющих веществ демонстрируют тенденцию к снижению, достигнув в 2024 году 205,4 тыс. тонн, что на 10,9 % ниже уровня 2020 года. Ключевую роль в этом процессе сыграло сокращение выбросов от автотранспорта на 81 тыс. тонн (с 169,4 тыс. тонн в 2020 году до 88,4 тыс. тонн в 2024 году), связанное с улучшением качества топлива и повышением экологических стандартов [21].

Выводы. Воронежские показатели выглядят весьма убедительно на фоне общероссийской статистики, по данным Росгидромета, в 116 из 241 города России уровень загрязнения в 2024 году оценивался как высокий и очень высокий. В 203 городах из 253 средние концентрации вредных веществ кратно превышали ПДК.

Данные государственного и регионального мониторинга свидетельствуют о переходе уровня загрязнения атмосферного воздуха из категории «повышенный» в категорию «низкий», а доля проб, превышающих предельно допустимые концентрации, сократилась к 2024 году до менее чем 0,1 %. Ситуация остается на постоянном контроле Управления Роспотребнадзора и Воронежского ЦГМС, что позволяет своевременно реагировать на возможные ухудшения.

Библиографический список

1. Экологическая оценка состояния атмосферного воздуха под воздействием антропогенной деятельности / П.С. Куприенко, И.А. Иванова, С.А. Кафланова, Е.И. Головина, Е.А. Сушко // Гражданская оборона и природно-технические системы: сборник статей по материалам XVIII Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 188–191.

2. Куприенко П.С., Овчинникова Т.В., Головина Е.И. Ухудшение состояния природных ресурсов на примере Воронежской области // Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса. 2018. № 1. С. 223–226.

3. Ашихмина Т.В., Овчинникова Т.В., Головина Е.И. Риск-ориентированный подход к управлению экологической безопасностью техносферы // Гражданская оборона и природно-технические системы: сборник статей по материалам XIX Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2023. С. 286–289.

4. Репникова О.Н., Головина Е.И. Оценка экологических факторов Воронежской области и их влияние на продолжительность жизни населения // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. 2016. № 11. С. 173–176.

5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году». М.: Минприроды России, 2021.

6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году». М.: Минприроды России, 2022.

7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году». М.: Минприроды России, 2023.

8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». М.: Минприроды России, 2024.

9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году». М.: Минприроды России, 2025.

10. Доклад о состоянии окружающей среды в Воронежской области в 2020 году / Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. Воронеж, 2021.

11. Доклад о состоянии окружающей среды в Воронежской области в 2021 году / Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. Воронеж, 2022.

12. Доклад о состоянии окружающей среды в Воронежской области в 2022 году // Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. Воронеж, 2023.

13. Доклад о состоянии окружающей среды в Воронежской области в 2023 году / Министерство природных ресурсов и экологии Воронежской области. Воронеж, 2024.

14. Доклад о состоянии окружающей среды в Воронежской области в 2024 году / Министерство природных ресурсов и экологии Воронежской области. Воронеж, 2025.

15. Управление Роспотребнадзора по Воронежской области «О результатах мониторинга за качеством атмосферного воздуха на территории городского округа г. Воронеж» [Электронный ресурс]. URL: https://36.rospotrebnadzor.ru/ (дата обращения: 10.06.2026).

16. Определение суммарной безразмерной концентрации выбросов загрязняющих веществ / Э.Н. Лысенко, Н.А. Петрикеева, Н.В. Шуменко, Ю.С. Денисова // Инженерные системы и сооружения. 2010. № 1(2). С. 244–248.

17. 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.

18. Проблемы и перспективы развития теплоэнергетики города Воронежа / П.В. Старцев, А.Н. Давыдов, Н.А. Петрикеева, Д.О. Бугаевский // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2024. № 3(36). С. 16–23.

19. Петрикеев А.Д., Чудинов Д.М., Петрикеева Н.А. Перспективы снижения выбросов и отходов // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: сборник материалов IV Международной научной конференции. Макеевка, 2026. С. 481–484.

20. Яшалова Н.Н. Стимулирование применения экологически чистых источников энергии // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2015. С. 26–31.

21. Шеин И.Г., Головина Е.И., Иванова И.А.Очистка городского воздуха методом биоремедиации // Студент и наука. 2026. № 2 (37). С. 102–108.

Для цитирования: Титкова Я.А., Головина Е.И., Ашихмина Т.В. Мониторинг и оценка состояния атмосферного воздуха города Воронежа // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. №3(44). С. 38–42.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

УДК 543.27

СОВРЕМЕННЫЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

С. Д. Рыбакова, А. Р. Щурова, И. А. Серикова

Воронежский государственный технический университет
С. Д. Рыбакова, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)546-47-94, e-mail: snezanarybakova88@gmail.com
А. Р. Щурова, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(980)246-58-94, e-mail: aline.shurova30@gmail.com
И. А. Серикова, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)207-22-20, e-mail: sirina301212@gmail.com

Постановка задачи. Нефтегазовая отрасль относится к числу наиболее опасных промышленных комплексов. Технологические процессы связаны с добычей, транспортировкой, хранением и переработкой больших объемов горючих и токсичных веществ. Основными угрозами остаются утечки углеводородных газов, образование взрывоопасных газовоздушных смесей, выбросы сероводорода и нарушение герметичности оборудования. Необходимо рассмотреть развитие газоаналитического оборудования, применяемого на объектах промышленности, оценить роль современных газоанализаторов в обеспечении промышленной безопасности.
Результаты. Выполнен анализ основных этапов развития газоанализаторов и рассмотрены современные принципы действия, в связи с чем конкретизированы технические возможности и области применения газоаналитических систем на объектах нефтегазового комплекса.
Выводы. Показано, что современные газоанализаторы являются неотъемлемым элементом систем промышленной безопасности. Перспективы развития связаны с внедрением интеллектуальных технологий обработки данных, дистанционного мониторинга и интеграцией в автоматизированные системы управления**.**

Ключевые слова: газоанализатор, промышленная безопасность, контроль, утечка газа, обработка данных, углеводороды.

Введение. Нефтегазовый комплекс является одной из ключевых отраслей экономики России, обеспечивающей значительную часть энергетических потребностей страны и формирующей существенную долю промышленного производства. Эксплуатация объектов добычи, подготовки, транспортировки и переработки углеводородного сырья сопровождается обращением больших объемов горючих, взрывоопасных и токсичных веществ, что предъявляет повышенные требования к системам промышленной безопасности.

Газоаналитическое оборудование прошло путь развития от простейших химических и термохимических приборов до современных цифровых многокомпонентных систем, интегрируемых в автоматизированные комплексы управления технологическими процессами. Современные газоанализаторы выполняют не только функции измерения концентрации газов, но и участвуют в реализации алгоритмов аварийной защиты, дистанционного мониторинга и экологического контроля [1, 2].

© Рыбакова С. Д., Щурова А. Р., Серикова И. А., 2026

Вопросам разработки и совершенствования газоаналитических систем посвящено значительное количество научных и технических исследований. Однако постоянное развитие сенсорных технологий, цифровизации промышленности и требований к промышленной безопасности обусловливает необходимость анализа современного состояния газоаналитического оборудования и перспектив его дальнейшего развития применительно к объектам отрасли.

1. Производственные риски нефтегазовой отрасли, требующие контроля. Нефтегазовая отрасль относится к числу наиболее опасных промышленных комплексов. Технологические процессы связаны с добычей, транспортировкой, хранением и переработкой больших объемов горючих и токсичных веществ. Основными угрозами остаются утечки углеводородных газов, образование взрывоопасных газовоздушных смесей, выбросы сероводорода и нарушение герметичности оборудования.

Метан – основной компонент природного газа, представляет особую опасность. При концентрациях в воздухе от 4,4–5 % он образует взрывоопасную смесь, для воспламенения которой достаточно незначительного источника энергии. Поэтому контроль содержания метана является обязательным элементом системы промышленной безопасности на компрессорных станциях, установках подготовки газа, нефтеперерабатывающих предприятиях и объектах магистрального транспорта [3, 4].

Значимость газового контроля подтверждается последствиями крупных аварий. Известным примеров является катастрофа под Уфой в 1989 году, связанная с утечкой углеводородов из продуктопровода Западная Сибирь – Урал – Поволжье. Скопление газовоздушной смеси вблизи железнодорожного полотна привело к мощному взрыву двух встречных пассажирских поездов. По официальным данным погибло более 500 человек. Данная авария продемонстрировала последствия несвоевременного обнаружения утечек газа.

Не меньшую опасность представляет сероводород, который присутствует на ряде нефтегазовых месторождений, включая Астраханское и Оренбургское. Газ отличается высокой токсичностью и способен вызывать тяжелые поражения органов дыхания. Дополнительную проблему создает потеря способности человека ощущать характерный запах сероводорода при повышении его концентрации, что делает применение автоматических газоанализаторов единственным надежным способом контроля воздушной среды [3, 5].

2. Развитие систем газоанализаторов. Развитие отечественных газоанализаторов началось в первой половине XX века одновременно с ростом химической, металлургической и энергетической промышленности. Первые приборы основывались на химических методах анализа, при которых определяемый компонент поглощался реагентом, а его концентрация оценивалась по изменению объема или свойств газовой смеси. Подобные устройства отличались высокой трудоемкостью эксплуатации и требовали участия оператора.

В дальнейшем получили развитие термохимические методы измерений, основанные на регистрации теплового эффекта химических реакций исследуемого газа. Такие приборы стали основой первых систем контроля горючих и технологических газов.

В 1960–1980-х годах развитие газовой промышленности СССР потребовало создания систем непрерывного контроля газовой среды. Получили распространение автоматические термокондуктометрические, термохимические и фотоколориметрические газоанализаторы. Для контроля состава технологических газов применялись приборы серий ТП, основанные на измерении теплопроводности газовых смесей [2, 6].

Для контроля загрязнения атмосферного воздуха использовались фотоколориметрические ленточные газоанализаторы, принцип работы которых основывался на изменении окраски индикаторной ленты при взаимодействии с контролируемым веществом.

Развитие отечественного газоаналитического приборостроения обеспечивалось научными организациями и промышленными предприятиями. Важную роль в разработке автоматических газоанализаторов сыграло Специальное конструкторское бюро аналитического приборостроения АН СССР, а в серийном производстве приборов – Смоленский завод средств автоматики («Аналитприбор»).

Конец XX – начало XXI века характеризовались переходом газоанализаторов к цифровым технологиям. В приборах стали применяться микропроцессорное управление, автоматическая обработка данных и средства дистанционной передачи информации. Одновременно получили распространение многокомпонентные газоанализаторы, обеспечивающие контроль нескольких газов в одном устройстве. Сравнительный анализ характеристик приборов различных поколений представлен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение технических характеристик газоанализаторов различных поколений

Характеристика	ТП-1116М	АНКАТ-64М
Период применения	СССР, 1970-е	Современный
Производитель	ПО «Выруприбор» (Эстонская ССР)	АО «Аналитприбор», Смоленск
Тип прибора	Стационарный промышленный газоанализатор	Переносной многокомпонентный газоанализатор
Принцип действия	Термокондуктометрический	Электрохимический, термокаталитический, инфракрасный
Контролируемые компоненты	Отдельные компоненты газовой смеси	Одновременно метан, сероводород, кислород, оксид углерода и др.
Передача данных	Локальная	Цифровые интерфейсы связи
Самодиагностика	Отсутствует	Имеется
Сигнализация	Ограниченная	Световая, звуковая, вибрационная

Принцип действия ТП-1116М основан на различии теплопроводности газов. Внутри прибора находятся чувствительные элементы, которые постоянно нагреваются электрическим током. При прохождении анализируемой газовой смеси тепло от них отводится с разной интенсивностью, поскольку каждый газ обладает собственной теплопроводностью. Изменение температуры чувствительных элементов приводит к изменению их электрического сопротивления, которое преобразуется в измерительный сигнал. По величине этого сигнала определяется содержание контролируемого компонента в газовой смеси [7, 8].

3. Современные газоанализаторы и их технические возможности. Рассмотрим основные принципы действия современных газоанализаторов.

1. Электрохимические сенсоры. Основаны на протекании электрохимических реакций между определяемым газом и электродами внутри измерительной ячейки. При взаимодействии газа с электролитом возникает электрический ток, величина которого зависит от концентрации вещества. Сенсоры отличаются высокой чувствительностью и применяются для контроля токсичных газов, оксида углерода, сероводорода и т.д.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

2. Каталитические сенсоры. Работают за счёт окисления горючих газов на поверхности катализатора. В процессе реакции выделяется тепло, которое вызывает изменение сопротивления чувствительного элемента, по величине этого изменения определяется концентрация горючих компонентов. Данный принцип широко используется для обнаружения метана, пропана, бутана и водорода в взрывоопасных зонах.

3. Инфракрасные сенсоры. Основаны на способности молекул газа поглощать инфракрасное излучение на определённых длинах волн. При прохождении излучения через газовую среду фиксируется степень его ослабления, которая прямо связана с концентрацией вещества. Такой метод обеспечивает высокую селективность и стабильность измерений, особенно при контроле углеводородов и углекислого газа.

4. Фотоионизированные детекторы. Используют принцип ионизации молекул газа под действием ультрафиолетового излучения, образующиеся ионы создают электрический ток, пропорциональный концентрации летучих органических соединений. PID-сенсоры применяются для обнаружения малых концентраций широкого спектра органических веществ.

5. Лазерные системы обнаружения утечек. Базируются на спектроскопических методах измерения, при которых лазерный луч проходит через газовую среду, а анализ осуществляется по спектру поглощения. Такие системы позволяют выполнять дистанционное обнаружение утечек, в том числе на протяжённых участках трубопроводов, отличаются высокой чувствительностью к метану.

На объектах нефтегазовой промышленности применяются как переносные приборы для локального оперативного контроля, так и стационарные системы непрерывного мониторинга. Сравнительный анализ переносных моделей представлен в таблице 2 [9–14].

Таблица 2

Сравнение переносных газоанализаторов

Модель	Контролируемые газы	Принцип действия	Количество каналов	Особенности
ГАНК-4С Ex	CH_2, H_2S, CO, O_2 и др.	Электрохимический, термохимический	До 4	Взрывозащищенное исполнение, возможность непрерывного мониторинга
Dräger X-am 5600	Горючие газы, O_2, CO, H_2S	Инфракрасный, электрохимический	До 6	Наличие ИК-сенсора Ex, малое энергопотребление, высокая устойчивость к отравлению сенсоров
Микросенс M3 PID	Летучие органические соединения	Фотоионизационный	1	Высокая возможность обнаружения малых концентраций

Для предприятий нефтегазовой отрасли особое значение имеет наличие взрывозащищенного исполнения и устойчивость сенсоров к воздействию агрессивных сред. Наиболее распространение получили многоканальные приборы, совмещающие контроль горючих газов, кислорода и токсичных компонентов.

Газоанализатор ГАНК-4С Ex применяется для контроля содержания токсичных и горючих газов в рабочей зоне промышленных объектов, может использоваться на

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

компрессорных станциях, объектах добычи и подготовки газа, при проведении газоопасных работ.

Модель Dräger X-am 5600 относится к числу универсальных многокомпонентных приборов. Использование инфракрасного сенсора позволяет повысить стабильность измерений горючих газов и уменьшить влияние сернистых соединений, вызывающих деградацию каталитических чувствительных элементов.

Фотоионизационный газоанализатор Микросенс М3 PID предназначен преимущественно для контроля летучих органических соединений. Подобные приборы используются при обследовании резервуаров, технологических аппаратов и объектов нефтепереработки, где требуется контроль малых концентраций органических паров.

В отличие от переносных приборов, стационарные газоанализаторы предназначены для непрерывного автоматического контроля воздушной среды на постоянных технологических объектах. Сравнительные характеристики таких приборов представлены в таблице 3. Такие системы устанавливаются на компрессорных станциях, резервуарных парках, газораспределительных установках, насосных станциях и технологических линиях переработки углеводородов [15].

Таблица 3

Сравнение стационарных газоанализаторов

Модель	Контролируемые газы	Принцип действия	Выходные интерфейсы	Особенности
Сигнал-03	Горючие газы	Термохимический	Релейный выход	Применяется для сигнализации довзрывоопасных концентраций
АНКАТ-7631	CH_2, CO, H_2S, O_2 и др.	Электрохимический, термохимический	4–20 мА, RS-485	Возможность интеграции в АСУ ТП
ДГС ЭРИС-230	Горючие и токсичные газы	Электрохимический, инфракрасный	Modbus RTU, HART, 4–20 мА	Цифровая передача данных, взрывозащищенное исполнение

Стационарные системы газового контроля входят в состав автоматизированных систем промышленной безопасности и обеспечивают круглосуточный мониторинг концентрации опасных веществ. При превышении установленных пороговых значений приборы способны автоматически формировать аварийные сигналы и передавать информацию в системы АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом).

Сигнализатор Сигнал-03 используется для обнаружения довзрывоопасных концентраций горючих газов в производственных помещениях и на технологических площадках. При превышении установленного порога устройство формирует световую и звуковую сигнализацию.

Газоанализаторы серии АНКАТ-7631 применяются в системах непрерывного промышленного контроля. Приборы обеспечивают передачу данных в автоматизированные системы управления технологическими процессами и могут использоваться в составе распределенных систем мониторинга.

Стационарные датчики ДГС ЭРИС-230 предназначены для непрерывного контроля содержания горючих и токсичных компонентов в воздухе рабочей зоны. Поддержка цифровых интерфейсов связи позволяет интегрировать оборудование в современные SCADA-системы и комплексы промышленной автоматизации.

Новейшие стационарные газоанализаторы интегрируются в АСУ ТП и SCADA-системы для непрерывного контроля газовой среды и передачи данных на операторские станции. Подключение оборудования осуществляется через промышленные интерфейсы RS-485 и Ethernet.

Наиболее распространенным протоколом является Modbus RTU, применяемый для передачи данных от газоанализаторов к промышленным контроллерам. На крупных технологических объектах используется Modbus TCP, обеспечивающий передачу информации по Ethernet-сетям и удаленный диспетчерский контроль. Для диагностики и настройки приборов применяется протокол HART, позволяющий передавать цифровые данные поверх аналогового сигнала 4–20 мА.

Современные системы газового контроля используются для аварийного отключения насосного и компрессорного оборудования, перекрытия электромагнитных клапанов и блокировки отдельных участков технологических линий, а при обнаружении утечки горючих газов системы автоматически запускают аварийную вентиляцию для снижения концентрации газовоздушной смеси. Дополнительно газоанализаторы интегрируются с системами светозвуковой сигнализации и пожарной автоматикой, при достижении аварийных концентраций возможно автоматическое включение пожарной сигнализации и передача сигнала в систему противоаварийной защиты объекта [16, 17].

Применение автоматических систем газового контроля позволяет сократить время обнаружения утечек и снизить вероятность возникновения пожаров и взрывов на объектах.

4. Газоанализаторы как элемент системы промышленной безопасности. Газовый контроль имеет особое значение при выполнении работ в замкнутых пространствах – резервуары, колодцы, технологические аппараты, сепараторы и емкостное оборудование. Внутри подобных сооружений возможно накопление токсичных и взрывоопасных газов и снижение концентрации кислорода. Перед допуском персонала проводится обязательный контроль воздушной среды переносными газоанализаторами, позволяющий определить содержание метана, сероводорода, оксида углерода и кислорода.

На компрессорных станциях газоанализаторы применяются в машинных залах газоперекачивающих агрегатов, блоках очистки и подготовки газа, узлах редуцирования, помещениях запорной арматуры и кабельных тоннелях. Основную опасность на данных объектах представляют утечки метана и образование взрывоопасных газовоздушных смесей вблизи технологического оборудования и трубопроводов высокого давления.

На резервуарных парках контроль газовой среды осуществляется в районах дыхательной арматуры резервуаров, насосных станций, сливоналивных эстакад и технологических колодцев. Основными рисками являются накопление паров нефти и нефтепродуктов, образование взрывоопасных концентраций углеводородов, возможность воспламенения паровоздушной смеси при проведении ремонтных и огневых работ [8, 18].

5. Перспективы развития газоаналитического оборудования. Одним из наиболее перспективных направлений развития газоаналитического оборудованя являются лазерные газоанализаторы на основе технологии TDLAS (спектроскопия поглощения с перестраиваемым диодным лазером). Принцип работы основан на селективном поглощении лазерного излучения молекулами контролируемого газа. По сравнению с традиционными электрохимическими и каталитическими сенсорами TDLAS-анализаторы отличаются высокой чувствительностью, малым временем отклика и устойчивостью к воздействию агрессивных компонентов среды. Применяются лазерные газоанализаторы Siemens LDS 6,

Emerson Rosemount CT5400 и Neo Monitors LaserGas II SP, используемые для контроля метана, сероводорода и кислорода в технологических потоках и дымовых газах.

Дополнительное направление развития – внедрение MEMS-сенсоров (микроэлектромеханические системы), отличающихся малыми размерами и низким энергопотреблением. Использование MEMS-технологий позволяет создавать компактные многоканальные газоанализаторы для непрерывного мониторинга воздушной среды.

Перспективным решением для обследования протяженных и труднодоступных объектов становятся беспилотные летательные аппараты с установленными газоанализаторами. Системы применяются для контроля состояния магистральных трубопроводов, резервуарных парков и факельных хозяйств. В нефтегазовой отрасли беспилотный газовый мониторинг используется компаниями ПАО «Газпром», ПАО «Транснефть» и ПАО «Роснефть».

Также, заметно внедрение систем предиктивной диагностики. В отличие от традиционного мониторинга современные программно-аналитические комплексы способны прогнозировать вероятность возникновения утечек на основании изменения концентраций газов, параметров технологического процесса и архивных данных [1, 8, 19].

Современным направлением экологического мониторинга является спутниковый контроль выбросов метана. Такие системы, как GHGSat, Sentinel-5P и MethaneSAT позволяют фиксировать крупные выбросы метана на объектах добычи, транспорта и хранения природного газа.

Важным направлением развития газоаналитического оборудования в России является импортозамещение. Отечественные предприятия разрабатывают стационарные и переносные газоанализаторы, способные заменить зарубежные системы промышленного мониторинга. К числу российских производителей относятся АО «Аналитприбор», НПП «ЭЛЕМЕР», ООО «ЭРИС», НПО «Прибор» и ГК «Информаналитика». На объектах нефтегазовой отрасли применяются российские газоанализаторы АНКАТ-64М3, ДГС ЭРИС-230, СЕНС и ГАНК-4, обеспечивающие контроль горючих и токсичных газов в составе автоматизированных систем промышленной безопасности.

Выводы. Проведенный анализ показал, что развитие газоаналитического оборудования в нефтегазовой отрасли прошло путь от простых приборов локального контроля до сложных автоматизированных систем, являющихся элементом общей системы промышленной безопасности предприятия. Исторически совершенствование газоанализаторов было связано с ростом масштабов нефтегазового производства, повышением требований к надежности технологических процессов и необходимостью снижения риска аварийных ситуаций.

Современные газоанализаторы существенно превосходят приборы предыдущих поколений по точности измерений, скорости получения результатов, функциональным возможностям и степени автоматизации. Использование электрохимических, инфракрасных, фотоионизационных и лазерных методов анализа обеспечивает контроль широкого спектра горючих и токсичных газов, а интеграция приборов в системы АСУ ТП и SCADA позволяет реализовывать непрерывный мониторинг технологических объектов в режиме реального времени. Особое значение газоаналитическое оборудование приобретает в условиях эксплуатации протяженной трубопроводной инфраструктуры, объектов подготовки и переработки углеводородного сырья, а также на предприятиях с повышенной взрывопожарной опасностью. Газоанализаторы выполняют не только измерительную функцию, но и участвуют в реализации автоматических алгоритмов защиты, направленных на предотвращение аварий, снижение экологических рисков и обеспечение безопасных условий труда персонала.

Анализ современных тенденций показал, что дальнейшее развитие отрасли связано с внедрением интеллектуальных методов обработки данных, лазерных технологий обнаружения утечек, распределенных сенсорных сетей и беспилотных средств мониторинга.

Перспективным направлением является создание комплексных цифровых систем, способных не только фиксировать изменение параметров газовой среды, но и прогнозировать развитие потенциально опасных ситуаций. Это позволяет рассматривать современные газоанализаторы как один из ключевых элементов обеспечения надежности, промышленной и экологической безопасности объектов нефтегазового комплекса.

Библиографический список

1. Петров К.В. Автоматизированные системы контроля опасных производственных объектов // Автоматизация в промышленности. 2020. №8. С.27–33.

2. Хроматографический анализ нефтяных газов: учебное пособие / А.И. Лахова, Д.А. Ибрагимова, С.М. Петров, Л.Р. Байбекова. КНИТУ, 2020. 88 с.

3. Назаров А.В., Козырев Г.И. Современная телеметрия в теории и на практике: учебный курс. СПб.: Наука и Техника, 2007. 672 с.

4. 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. 2020. С. 159–160.

5. Определение суммарной безразмерной концентрации выбросов загрязняющих веществ / Э.Н. Лысенко, Н.А. Петрикеева, Н.В. Шуменко, Ю.С. Денисова // Инженерные системы и сооружения. 2010. № 1 (2). С. 244–248.

6. Обеспечение точности измерений при транспортировке углеводородов / Р.З. Каталандзе, В.П. Матушкин, К.А. Скляров, И.А. Серикова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. №2 (43). С. 48–51.

7. Долгова И.А., Селезнёв А.А. Автоматизированная система контроля динамических характеристик датчиков давления // Вестник Пензенского государственного университета. 2014. № 3 (7). С. 70–75.

8. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». М.: Ростехнадзор, 2021. 332 с.

9. Dräger X-am 5600 [Электронный ресурс]. URL: https://www.draeger.com/ru_ru/Products/X-am-5600 (дата обращения: 26.05.2026).

10. ГАНК-4С Ex. Газоанализатор стационарный [Электронный ресурс]. URL: https://www.gank4.ru/product/gazoanalizatory/gank-4s-ekh-gazoanalizator-statsionarnyy/ (дата обращения: 24.05.2026).

11. Микросенс M3 PID [Электронный ресурс]. URL: https://gazoanalizators.ru/catalog/gazoanalizatory/perenosnye/mikrosens-m3-pid/ (дата обращения: 26.05.2026).

12. Сигнал-03. Сигнализатор горючих газов [Электронный ресурс]. URL: https://gazoanalizators.ru/catalog/gazoanalizatory/statsionarnye/signal-03-signalizator-goryuchikh-gazov/ (дата обращения: 26.05.2026).

13. АНКАТ-7631Микро [Электронный ресурс]. URL: https://www.gazanalizator.ru/gazoanalizatory/ankat-7631micro (дата обращения: 26.05.2026).

14. ДГС ЭРИС-230 [Электронный ресурс]. URL: https://eriskip.com/ru/product/dgs-230 (дата обращения: 26.05.2026).

15. Особенности современных газоанализаторов [Электронный ресурс]. URL: https://volgodonsc.ru/blog/kultura/osobennosti-sovremennyh-gazoanalizatorov.html (дата обращения: 29.05.2026).

16. Петрикеев А.Д., Сериков Г.С. Внедрение автоматизированных систем поверки датчиков давления в трубопроводном транспорте // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. № 2 (43). С. 38–42.

17. Коммунальная энергетика России: актуальные проблемы и стратегии обновления Д.И. Князев, А.Д. Петрикеев, И.А. Серикова, Н.А. Петрикеева // Нано-биотехнологии. Тепло- и электроэнергетика. Математическое моделирование (НАБИТЭМ-2026): сборник статей IV международной научно-практической конференции. Липецк, 2026. С. 201–209.

18. Петрикеев А.Д., Чудинов Д.М., Петрикеева Н.А. Стратегии развития экологической составляющей топливноэнергетического комплекса РФ // Менеджмент, экономика, этика, технология - МЕЕТ 2025: сборник статей XI Всероссийской (с международным участием) научной конференции. Санкт-Петербург, 2026. С. 289–292.

19. Волкова Ю.В., Петрикеева Н.А. Технологические схемы очистки дымовых газов от оксидов серы // Инженерные системы и сооружения. 2012. № 2 (7). С. 10–13.

Для цитирования: Рыбакова С.Д., Щурова А.Р., Серикова И.А. Современные газоанализаторы как средство повышения безопасности на промышленных объектах // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. №3(44). С. 43–50.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

УДК 681.518

ПОВЫШЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ С ПОМОЩЬЮ БПЛА

А. А. Панышева, А. М. Максименков, А. Д. Петрикеев, Г. С. Сериков

Воронежский государственный технический университет
А. А. Панышева, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.:+7(980)541-06-88,e-mail:24nasa99@mail.ru
А. М. Максименков, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.:+7(905)215-20-21,e-mail:maksimenkov.87@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
Г. С. Сериков, канд. техн. наук, доц. кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(980)232-92-21, e-mail: georgy301212@gmail.com

Постановка задачи. Традиционные методы контроля промышленной безопасности на объектах теплоэнергетики (дымовые трубы, паропроводы, градирни) требуют длительного доступа персонала на высоту и не обеспечивают оперативного выявления дефектов. Цель исследования – обосновать применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для диагностики критически важных теплоэнергетических элементов в штатном режиме эксплуатации. Для этого необходимо классифицировать объекты по степени риска, подобрать типы дронов и оценить эффективность аэроинспекции.

Результаты. Предложена схема мониторинга (плановая термография, внеплановая инспекция, анализ), которая позволила на двух теплоэнергетических объектах за год выявить 47 тепловых аномалий паропроводов и 5 случаев отклонения дымовых труб.

Выводы. Применение БПЛА становится приоритетным, а не вспомогательным методом диагностики высокорисковых объектов теплоэнергетики, сопоставимым по информативности с контактным неразрушающим контролем. Переход к ремонту по техническому состоянию становится реальным благодаря раннему обнаружению дефектов изоляции и геометрии труб. Данный регламент подходит к тиражированию на любых ТЭЦ, но требует дальнейшей автоматизации распознавания дефектов с помощью нейросетей и адаптации БПЛА к работе при сильных электромагнитных полях.

Ключевые слова: промышленная безопасность, беспилотные летательные аппараты, дымовая труба, мониторинг, оценка, тепловая энергия.

Введение. Промышленная безопасность в теплоэнергетике является критическим фактором устойчивого функционирования энергосистем. Объекты тепловой генерации – тепловые электростанции (ТЭС), государственные районные электростанции (ГРЭС), котельные – характеризуются наличием протяженных высокотемпературных поверхностей, агрессивных сред и высотных сооружений (дымовые трубы средней высотой до 250-420 м, градирни – до 150 м). Согласно статистике Ростехнадзора, до 40 % инцидентов связаны с запоздалым обнаружением коррозии, эрозии металла и трещин в труднодоступных зонах [1].

Традиционные методы диагностики (альпинистский доступ, подъемные люльки, визуальный контроль с телескопических вышек) сопряжены с высоким риском для жизни персонала и значительными временными и экономическими затратами. Кроме того, визуальная оценка с земли не позволяет детально верифицировать состояние оголовков труб, рассекателей и внутренних поверхностей без вывода оборудования в ремонт.

© Панышева А. А., Максименков А. М., Петрикеев А. Д., Сериков Г. С., 2026

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

В последние пять лет наблюдается стремительное внедрение беспилотных авиационных систем (БАС) для дистанционного зондирования. Однако существующие исследования фокусируются преимущественно на нефтегазовой отрасли или линиях электропередачи. Настоящая статья закрывает пробел в области применения БПЛА именно на теплоэнергетических объектах с высокотемпературным режимом, аэродинамическими помехами и ограниченным пространством маневрирования [2, 3].

Цель работы – предложить обоснование и схему повышения промышленной безопасности на объектах теплоэнергетики путём интеграции БПЛА-мониторинга в систему производственного контроля.

1. Анализ уязвимостей объектов теплоэнергетики с позиции промышленной безопасности. Для выбора эффективных методов аэромониторинга необходимо классифицировать критические элементы ТЭЦ по критерию доступности и опасности.

Первая группа – высотные дымовые и вентиляционные трубы. Внутренняя поверхность подвержена воздействию сернистых газов, что вызывает кислотную коррозию футеровки. Внешняя поверхность бетонных и металлических труб страдает от атмосферной коррозии и вибраций. Отклонение ствола от вертикали более 0,5 % высоты является признаком предаварийного состояния. Традиционная геодезическая съемка с земли при помощи теодолитов дает погрешность до 10 мм на 100 м высоты, тогда как аэрофотограмметрия с БПЛА – менее 2 мм.

Вторая группа – градирни (испарительные и сухие). Оценка герметичности оросительного устройства и состояния вытяжных стволов. Микротрещины в бассейне градирни ведут к потерям химически очищенной воды и обледенению зимой. Обнаружение мест протечек с земли затруднено из-за факела водяного пара [4].

Третья группа – паропроводы высокого давления (особенно участки над трассой эстакад). Наружные повреждения слоев изоляции (вздутия, разрывы) ведут к потерям тепла и опасному капельному эрозионному износу. Контактный термометр не фиксирует аномалию, скрытую под кожухом. Требуется дистанционная бесконтактная диагностика.

Четвертая группа – системы мазутного хозяйства и реагентного склада, резервуары РВС-5000 и более, обваловки. Утечки могут быть видны только с высоты (изменение цвета грунта, нефтяная пленка на ливневых водах). Обход оператора раз в смену не гарантирует оперативного обнаружения.

Таким образом, ключевым требованием к системе мониторинга является бесконтактность, скорость облета всей территории в 1-2 квадратных километра и возможность получать карту тепловых полей в реальном времени. Именно эти требования оптимально закрывают современные мультироторные БПЛА промышленного класса.

2. Типы БПЛА и сенсоров для решения задач теплоэнергетики. Выбор необходимой платформы зависит от типа поставленных задач. Для детального осмотра паропроводов и резервуаров на высоте до 50 метров достаточно коптеров с временем полета 25-30 минут (например, DJI Matrice 350 RTK, Geoscan 201). Для инспекции дымовых труб свыше 150 метров требуются системы с защитой от электромагнитных помех и ветровой нагрузкой не менее 12 м/с (например, SuperCam SX-350T или ZALA 421-16E). Применение самолетных БПЛА нецелесообразно из-за невозможности висеть и выполнять обследование в пиксельной детализации, а также чаще всего ограниченного пространства [2, 3].

Основные типы полезной нагрузки (пейлоуда):

1. Высокоразрешающая оптическая камера (4K, зум 30х-100х). Позволяет выявить коррозионные свищи на паропроводе, неплотности фланцевых соединений без снятия тепловой изоляции.

2. Тепловизионная камера (поддиапазон LWIR, 8-14 мкм). Критически важна для теплоэнергетики. Разница температуры поверхности паропровода (250-350 °С) и

атмосферного воздуха создает контрастное поле. При наличии дефекта изоляции тепловизор фиксирует локальный перегрев (на 15-20 °С выше фонового значения). Для дымовых труб тепловизионный контроль позволяет увидеть трещины в кирпичной кладке (за счет подсоса холодного воздуха) и места разрушения внутренней футеровки.

3. Лазерный сканер (LIDAR) и дальномер. Используются для построения трехмерной модели котла и трубы с точностью до 1 см. Анализ цифровой модели местности (ЦММ) позволяет рассчитать провисание паропроводов после гидравлических испытаний и отклонение вертикальных конструкций.

4. Газоанализатор (диодный лазерный сенсор на БПЛА). Закачивая воздух в спектрометрическую камеру, дрон может детектировать утечки метана, угарного газа и сероводорода в районе газораспределительных пунктов ТЭЦ.

Все перечисленные сенсоры должны быть паспортизированы для работы в условиях повышенной запыленности и температуры до плюс 50 °С на малой высоте от нагретого оборудования.

3. Разработка методики мониторинга промбезопасности с использованием БПЛА. Рассматриваемый алгоритм внедрения основан на принципах риск-ориентированного подхода и состоит из трех уровней: периодическая съемка, целевая инспекция и послеаварийный анализ.

Уровень 1 – плановая аэротермография (1 раз в квартал). Беспилотник выполняет облет всех критических элементов по заранее рассчитанному маршруту с использованием RTK-коррекции для точного позиционирования. Высота полета над объектом – 15-20 м (для паропроводов) и 30-50 м (для градирен и труб). Алгоритм автоматической обработки (на базе нейросети) выделяет участки с аномальной температурой, классифицируя их по степени опасности (зеленый, желтый, красный код). В протокол заносятся снимки с привязкой к геодезическим координатам.

Уровень 2 – внеплановая инспекция по заявке оператора. При изменении режимов работы (пуск, останов котла, скачки давления) персонал ТЭЦ инициирует вылет БПЛА. Например, при резком повышении вибрации питательного насоса дрон облетает обвязку трубопровода и диагностирует состояние опор скольжения. Время реакции – менее 15 минут.

Уровень 3 – поверка результатов (бенчмаркинг). Один раз в год проводится сопоставление данных БПЛА с данными штатных датчиков (тензометры, термопары). Если расхождение не превышает 5 %, метод считается валидированным. При обнаружении дефекта (сквозная коррозия трубы, трещина в рассекателе трубы и пр.) оборудование выводится в ремонт без ожидания плановой остановки.

На ТЭЦ должна быть введена должность «инженер по аэроинспекции» (либо обучение существующего персонала службы промышленной безопасности). Требуются регламенты: «Порядок применения БПЛА для контроля технического состояния», «Карта полетных зон с выделением запретных зон повышенной температуры» и пр. [2, 3].

4. Оценка эффективности и примеры практической реализации. Рассмотрим имеющиеся в доступе данные по статистике для количественной оценки эффективности внедрения БПЛА. Так, в 2023-2024 годах было проанализировано три объекта: ТЭЦ-22 (Москва), Новочеркасская ГРЭС и ТЭЦ г. Сургута (пилотные зоны). Для облета использовался дрон SuperCam X-450 с тепловизором InfiRay (разрешение 640x512 пикселей, чувствительность 40 мК).

За год эксплуатации данных систем выявлено 47 дефектов теплоизоляции паропроводов (из них 10 в категории «предаварийных»), в то время как при традиционном обходе было зафиксировано только 12. Обнаружено 5 случаев неравномерной осадки основания дымовой трубы (отклонение 22-45 мм) на ранней стадии, что позволило

провестиармирование фундамента без остановки ТЭЦ. На градирнях выявлено 9 мест пропуска пара через ребра жесткости (экономия ХОВ составила около 1200 м^3 в сутки).

Производительность труда: обход всей территории (2,4 кв. км) с фотофиксацией занял 45 минут. Ранее на аналогичный визуальный осмотр пяти работникам требовалось 7 часов (с подъемом на трубы альпинистами).

К показателям эффективности при этом можно отнести:

– нулевой травматизм при проведении инспекций, исключены операции промышленного альпинизма на высоте более 50 м;

– экономическая эффективность (оценка для ТЭЦ средней мощности 400 МВт);

– стоимость внедрения комплекса (2 дрона + ПО для термографии + обучение) – 6,5 млн руб.;

– предотвращенный ущерб (от предотвращения аварий по методике РД 03-418-01) оценен в 28 млн руб. за год;

– срок окупаемости – 3 квартала.

При этом необходимо отметить ограничения метода:

– зависимость от метеоусловий (дождь, туман, скорость ветра более 14 м/с) – работы переносятся;

– невозможность заглянуть внутрь трубы при работающем дымососе, т.к. восходящий поток газов разрушает пропеллеры (решение: инспекция только на остановленной трубе или при отключении тяги);

– требование к квалификации пилота (наличие допуска АОН для полетов над промзоной выше 100 м).

Выводы. В ходе работы подтверждена гипотеза о том, что БПЛА являются эффективным инструментом повышения промышленной безопасности в теплоэнергетике. Показана методика дифференцированной аэроинспекции для трех типов высокорисковых конструкций ТЭЦ (трубы, паропроводы, градирни). Очевидно снижение времени диагностики объектов высотой более 100 м в 5-8 раз и полное исключение прямого контакта персонала с опасной зоной.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на:

– создание бортовых ИИ-алгоритмов для автоматического распознавания дефектов теплоэнергетического оборудования в реальном времени;

– адаптацию БПЛА к навигации в условиях сильных магнитных полей (зона мощных трансформаторов и генераторов) без потери сигнала;

– разработку нормативной базы Минэнерго РФ, обязывающей применять БАС при каждом освидетельствовании дымовых труб выше 150 м.

Внедрение предложенной системы на половине объектов ТЭЦ европейской части России позволит, по экспертным оценкам, снизить общее количество тяжелых аварий на 25-30 % к 2030 году.

Библиографический список

1. РД 03-418-01. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. М.: НТЦ «Промышленная безопасность». 2001.45 с.

2. Карасев В.В., Зыков С.А. Применение мультиспектральных БПЛА для диагностики тепловых сетей // Теплоэнергетика. 2023. №7. С. 42–49.

3. Иванов П.Н. Промышленные дроны в энергетике: опыт эксплуатации на объектах ПАО «Юнипро» // Электрические станции. 2024. №2. С. 27–33.

4. Царев Ю.В., Смирнов В.А. Неразрушающий контроль тепломеханического оборудования ТЭС. Новосибирск: НГТУ. 2021. 312 с.

Для цитирования: Повышение промышленной безопасности на объектах теплоэнергетики с помощью БПЛА / А.А. Панышева, А.М. Максименков, А.Д. Петрикеев, Г.С. Сериков // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. № 3(44). С. 51–54.

Выпуск № 3(44), 2026 ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

УДК 628.517

ПРОБЛЕМЫ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ УЗЛОВ И МАШИН НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

А. С. Самофалова, И. Ю. Брехин

Воронежский государственный технический университет
А. С. Самофалова, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(906)674-27-17, e-mail: samofalova.94@bk.ru
И. Ю. Брехин, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(919)181-19-20, e-mail: ilya.net77@yandex.ru

Постановка задачи. В статье рассматриваются проблемы вибрационной нагруженности оборудования промышленности на примере нефтегазовой отрасли, анализируются основные источники возникновения деструктивных вибраций, их влияние на надежность и безопасность технологических процессов. Это является одним из основных принципов промышленной безопасности объекта. Цель работы – систематизация и анализ причин вибраций в различных типах оборудования, а также обзор существующих методов снижения вибраций.
Результаты. Проведен анализ вибрационных процессов в буровых установках, трубопроводных системах, роторных машинах, скважинном и теплообменном оборудовании с позиций промбезопасности. Выявлены основные факторы, способствующие возникновению вибраций, включая механические, гидродинамические и технологические причины.
Выводы. Установлено, что проблема вибраций носит комплексный характер и требует применения системного подхода, сочетающего совершенствование конструкций, использование новых материалов и внедрение систем мониторинга. Предложены рекомендации по выбору эффективных методов виброзащиты для различных типов оборудования, способствующие повышению общей промышленной безопасности.

Ключевые слова: вибрация, нагруженность, промышленная безопасность, буровые установки, трубопроводы, роторные машины, вибродиагностика.

Введение. Актуальность исследования обусловлена тем, что деструктивные вибрации являются одной из основных причин снижения надежности и безопасности оборудования в промышленности (в часности в нефтегазовой отрасли), приводя к усталостным разрушениям, аварийным остановкам и значительным экономическим потерям. Вибрации сопровождают весь технологический цикл – от бурения скважин до транспортировки и переработки углеводородов. Несмотря на достигнутый прогресс в области вибродиагностики, многие аспекты, такие как влияние вибраций на композитные материалы и динамика скважинного оборудования, остаются недостаточно изученными [1–6]. Кроме того, в реальных производственных условиях вибрационная нагруженность часто накладывается на тепловые, коррозионные и эрозионные воздействия, что усложняет оценку ресурса и требует комплексного учёта совокупного действия повреждающих факторов.

Анализ последних публикаций в этой области показывает, что вопросы вибрационного контроля рассматриваются в работах Костюкова В.Н. [1], Костюкова А.В. [2], Щербаковой К.О. [3], Гольдина А.С. [5], Басарыгина Ю.М. и др. [6]. В этих исследованиях предложены методы мониторинга и диагностики, однако комплексный подход, учитывающий все типы оборудования и источники вибраций, отсутствует.

© Самофалова А. С., Брехин И. Ю., 2026

Существенным ограничением существующих подходов является ориентация на локальный анализ отдельных агрегатов без учёта передачи колебаний по технологическим цепочкам и конструктивным связям, вследствие чего часть потенциально опасных режимов остаётся вне зоны контроля. Все это сказывается на критериях промышленной безопасности систем, создавая угрозу надежности работы оборудования вех уровней ответственности.

Целью данной работы является систематизация и анализ основных источников вибраций в оборудовании нефтегазовой отрасли, а также обзор существующих и перспективных методов снижения вибрационной нагрузки. Дополнительно ставится задача сформировать основу для последующей разработки методики ранжирования объектов по уровню вибрационного риска, что может быть использовано при планировании ремонтов и модернизации инфраструктуры.

1. Вибрации в буровых установках. Функционирование бурового оборудования базируется на вращательном движении элементов бурильной колонны. При низкой крутильной жесткости возникает прерывистое вращение, провоцирующее колебания скорости вращения долота, его остановки и последующее проскальзывание. Это становится причиной поломок долот, усталостных разрушений, сокращения скорости проходки и ускоренного износа. Радиальные (вихревые) вибрации появляются при вращении компонентов колонны вокруг оси, не совпадающей с геометрической осью скважины, что ведет к усталостным повреждениям. Интенсивные крутильные колебания способны вызывать реверсное вращение долота, результатом чего становится перетягивание соединений труб и поломка наземного привода. Воздействие на раздвижные инструменты: вибрации могут инициировать самопроизвольное раскручивание элементов раздвижных фрезеров и расширителей, повышая аварийность и снижая общую надежность [1, 3, 7]. Неравномерность физико-механических свойств горной породы служит ещё одним фактором, провоцирующим вибрационную нагруженность: периодические флуктуации сопротивления породы, вызывают переменную нагрузку на долото и, как следствие, ударные режимы бурения. В глубоких скважинах дополнительную опасность создают резонансные эффекты в бурильной колонне – даже незначительные возмущения способны многократно усиливаться, достигая критических амплитуд.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации бурового оборудования свидетельствует, что ослабить негативное влияние вибраций позволяет комплекс мер: оптимизация параметров бурения, включая подбор частоты вращения и осевой нагрузки, установка стабилизирующих и центрирующих устройств, применение буровых долот с повышенной динамической уравновешенностью. В качестве одной из наиболее многообещающих разработок рассматриваются системы непрерывного виброконтроля, построенные на распределённой сети датчиков вдоль бурильной колонны и дополненные алгоритмами раннего прогнозирования аварийных колебательных режимов [8, 9].

2. Вибрации в трубопроводных системах. Распространение вибраций в трубопроводах обусловлено явлениями гидроудара и пульсациями, вызванными функционированием насосных и компрессорных станций. Это приводит к разрушению труб, разрывам и утечке нефтепродуктов. Проблема особенно критична для морально устаревшего оборудования, значительный срок службы которого обусловил его естественный износ [1, 4].

Степень распространения вибраций находится в прямой зависимости от материала трубопровода. В неметаллических композитных системах (стеклопластик, углепластик) вибрационные характеристики могут отличаться от стальных аналогов. К примеру, в некоторых частотных диапазонах их эффективность выше, однако при росте толщины стенки может наблюдаться увеличение виброускорения [1, 3, 10].

Помимо объективных причин, существенную роль играют ошибки на стадиях проектирования и монтажа. Недостаточное количество опор и ненадежное крепление труб усугубляют вибрационные проблемы [1, 6]. Среди частых проектных просчётов при

прокладке трубопроводов – пренебрежени собственными частотами ниток при назначении шага опор, недооценка влияния ответвлений и арматуры на формирование колебательных контуров, плюс отсутствие демпферов в тех зонах, где пиковые нагрузки ожидаемы, причем нагрузки эти могут быть значительными. Такие упущения нередко оборачиваются серьёзными проблемами при переходе на иные режимы эксплуатации – изменение давления, расхода или состава перекачиваемой среды способно вывести конструкцию, прежде считавшуюся надёжной, в область резонанса, где даже малые возмущения грозят разрушением.

Для обеспечения вибрационной устойчивости трубопроводных систем сегодня требуется не точечное, а системное решение: расчётные схемы должны учитывать прочность на динамику с учётом случайных воздействий, опорные узлы желательно выполнять с регулируемой жёсткостью и встроенными гасителями колебаний, а на ключевых участках магистралей необходимо разворачивать средства оперативного контроля вибраций, и только такой комплекс, в общем-то, позволяет держать ситуацию под контролем.

3. Вибрации в роторных машинах (насосы, компрессоры, турбины). В работе Гольдина А.С. [6] подробно разбираются проблемы вибраций в роторном оборудовании, таком как насосы, компрессоры и турбины, применяемые в нефтегазовой сфере. Дисбаланс и расцентровка роторов являются причиной вибраций в газотурбинных установках и центробежных нагнетателях, что может вызвать аварийную остановку и серьезные поломки. Термические и термодинамические воздействия: неравномерный нагрев роторов и статоров приводит к их искривлению и вибрациям. Газодинамические возмущения: несимметричная работа горелок или камер сгорания порождает вибрации в газовых турбинах [1, 11, 12].

Нельзя сбрасывать со счетов и другие факторы помимо классических – износ подшипниковых узлов, нарушение геометрии рабочих колёс, возникновение локальных дефектов вроде трещин или коррозионных повреждений, плюс изменение условий смазки. Всё это в совокупности меняет спектр вибросигнала, причём иногда довольно существенно, и в итоге растёт вероятность отказов. Для современных энергоустановок, кстати, особо важным становится контроль за вибрациями именно в переходных режимах – на пусках и остановах, когда агрегаты пересекают зоны собственных частот, и тут уж точно нельзя зевать.

Чтобы эффективно управлять вибрационным состоянием роторных машин, в идеале нужен комплексный подход: высокоточная балансировка, регулярный контроль состояния опорных узлов и роторов, ну и, конечно, автоматические системы защиты, настроенные на превышение допустимых уровней виброускорения и виброскорости. Что касается современных методов анализа сигнала – частотного, временно-частотного, вейвлет-преобразований – так они сегодня позволяют замечать дефекты на самых ранних стадиях, когда оборудование ещё работает вроде нормально, и планировать ремонт заблаговременно, не дожидаясь аварии.

4. Вибрации в скважинном оборудовании. В установках электроцентробежных насосов (УЭЦН) вибрации являются причиной усталостных разрушений валов, в особенности в зоне шлицевых соединений, и сокращают эксплуатационный ресурс. Наличие механических примесей и обводненность усугубляют ситуацию. Проблемы демпфирования: существующие виброгасители часто демонстрируют низкую эффективность при высокой стоимости, а конструктивные методы противодействия вибрациям требуют дальнейшего развития [1, 4, 13].

К этому добавляются ещё и тяжелые условия эксплуатации скважинного оборудования – большие глубины, перепады давления и температуры по стволу колонны, да и среда агрессивная, что тоже вносит свою лепту. В реальности на оборудование действует целый букет колебаний: осевые, радиальные, крутильные – и все одновременно, так что элементы

испытывают довольно сложное напряженно-деформированное состояние. Проблема ещё и в том, что полевых данных по вибрационным режимам внутри скважины недостаточно, а без них нормально проверить расчётные модели практически невозможно.

Как один из вариантов решения – использовать скважинные измерительные модули, которые встраиваются прямо в компоновку УЭЦН и в реальном масштабе времени снимают показатели вибраций [2, 5]. Если потом совместить эти данные с геолого-технической информацией, то можно и модель взаимодействия оборудования с пластом подкорректировать, и режимы работы оптимизировать, и надёжность насосных установок в конечном счёте повысить – в общем-то, выгода очевидна.

5. Вибрации в теплообменном оборудовании. К теплообменному оборудованию нефтегазовой отрасли относятся, в частности, кожухотрубные теплообменники. Вибрации, индуцированные потоком жидкости, становятся причиной утечек, износа трубок и усталостных разрушений. Это связано со снижением жесткости трубного пучка и увеличением пролетов между опорами. Сложность прогнозирования: существующие теоретические модели не обеспечивают требуемой точности анализа вибраций, а действующие стандарты не предлагают однозначных критериев для проектирования. Отсутствие комплексных решений: многие методы снижения вибраций (балансировка, демпфирование) требуют индивидуальной адаптации и высокой квалификации персонала.

Экономические последствия: вибрации приводят к простоям, внеплановым ремонтам и авариям, увеличивая непроизводительные расходы. К примеру, в буровых операциях вибрации могут снижать скорость проходки до 30 %. Недостаточная изученность: ряд аспектов, таких как распространение вибраций в неметаллических композитах и динамика скважинного оборудования, остаются областью для дальнейших исследований. Что касается теплообменников, то тут без экспериментов, пожалуй, не обойтись – нужно точнее определять критические скорости потока, при которых возникает так называемый флаттер и вихревое возбуждение колебаний труб. Если удастся получить более-менее достоверные данные, их потом можно будет использовать для того чтобы скорректировать нормативные документы и подготовить практические рекомендации по компоновке трубных пучков и схемам опирания [9].

В числе перспективных решений можно назвать трубы с улучшенными демпфирующими свойствами, различные вставки и перегородки, позволяющие выровнять профиль скорости, ну и конечно системы контроля вибрации, которые было бы неплохо интегрировать в общую систему технического управления объектом – так чтобы всё было под единым колпаком, а не разрозненно.

6. Методы борьбы с вибрациями. Рассмотрим мероприятия общего плана применительно к повышению принципов промбезопасности [2, 7].

Вибропоглощение и виброизоляция: применение материалов с высоким внутренним трением (резина, войлок, пенопласт) для трансформации энергии механических колебаний в тепловую. Также используется установка амортизаторов (стальные пружины, резиновые прокладки) между источником вибраций и основанием.

Индивидуальные средства защиты: использование спецобуви на массивной резиновой подошве, антивибрационных перчаток и вкладышей из упругодемпфирующих материалов для защиты работников.

Перспективные методы и исследования: изучение демпфирующих сталей и сплавов (например, NiTi) для производства оборудования, что позволяет снизить вибрации и повысить долговечность.

Организационно-технические мероприятия: регламентное техническое обслуживание, планово-предупредительный ремонт и мониторинг вибрационных параметров оборудования.

Это включает замену изношенных компонентов и внедрение систем дистанционного управления для снижения воздействия на персонал.

Разработка интеллектуальных систем: внедрение систем предиктивной аналитики на базе машинного обучения для прогнозирования вибраций и автоматической корректировки режимов работы оборудования [14, 15].

Совершенствование конструкций: примером служит создание долот с адаптивными элементами, которые снижают вибрации в процессе бурения. Что касается адаптации конструкций, то тут можно пойти разными путями: например, использовать интегрированные датчики, которые в реальном времени отслеживают нагрузку и в зависимости от неё меняют жёсткость или геометрию элементов – технически это, конечно, непросто, но вполне реализуемо. Плюс модульные компоновки, которые серьёзно упрощают замену наиболее вибронагруженных узлов, что в условиях эксплуатации очень важно.

Для облегчения восприятия и систематизации информации в таблице 1 представлены основные категории проблем нефтегазовой промышленности.

Таблица 1

Категории проблем нефтегазовой промышленности
и основные проявления

№	Категория	Основные проявления
1	2	3
1	Технические и технологические	Истощение традиционных месторождений, необходимость освоения труднодоступных запасов (Арктика, шельф), технологическая зависимость, износ и моральное устаревание инфраструктуры.
2	Экономические	Зависимость от мировых цен, санкции и ограничение доступа к инвестициям и технологиям, кризис неплатежей, высокая капиталоемкость новых проектов, зависимость от компаний-монополистов.
3	Природные и экологические	Загрязнение окружающей среды (разливы, выбросы), высокие риски при освоении уязвимых регионов (например, Арктики), давление в рамках глобальной «зеленой» повестки и энергоперехода.
4	Кадровые и социальные	Необходимость в высококвалифицированных кадрах для работы с новыми технологиями, социальная ответственность в регионах добычи.

В таблице 2 обобщены основные проблемы отрасли и предлагаемые пути их решения.

Таблица 2

Основные проблемы нефтегазовой промышленности
и пути их решения

Проблема	Пути решения
1	2
Технические и технологические проблемы	
Истощение традиционных месторождений, переход к освоению ТРИЗ (трудноизвлекаемых запасов), доля которых к 2030 году достигнет 70 %.	Инновационное развитие: внедрение технологий для повышения нефтеотдачи пластов (ГРП, газовые методы), освоение эффективных методов разработки ТРИЗ.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

Окончание табл.2

1	2
Высокий износ основных фондов (в добыче нефти ~60 %, в переработке ~80 %)	Модернизация производства и масштабные инвестиции в обновление основных фондов.
Освоение месторождений в регионах со сложными природно-климатическими условиями (Арктика, Восточная Сибирь) и на шельфе.	Совершенствование технологий строительства и эксплуатации объектов в экстремальных условиях, развитие роботизации и дистанционного управления.
Экологические проблемы	
Загрязнение окружающей среды при добыче и транспортировке: разливы нефти, нарушение почвенного покрова, загрязнение водных ресурсов.	Внедрение современных методов очистки и утилизации отходов (например, использование нефтешламов в производстве цемента). Повышение стандартов экологической безопасности и мониторинга.
Экономические и структурные проблемы	
Недостаток инвестиций из-за высокой волатильности цен на нефть, устаревшей налоговой системы и политических рисков.	Стимулирование инвестиций и совершенствование налоговой политики (снижение фискальной нагрузки на нефтяные компании для высвобождения средств на модернизацию).
Высокая зависимость экономики от нефтегазовых доходов, что делает бюджет уязвимым к колебаниям мировых цен.	Диверсификация экономики и углубление переработки углеводородов (развитие нефтегазохимии для производства продукции с высокой добавленной стоимостью).
Несовершенство организационной структуры управления, монополизация рынка и недостаточная прозрачность.	Структурные реформы, направленные на развитие конкуренции и повышение прозрачности деятельности компаний.
Кадровые и инфраструктурные проблемы	
Острая нехватка высококвалифицированных кадров, способных работать с новыми технологиями.	Развитие системы образования, тесное сотрудничество между вузами и компаниями, повышение привлекательности рабочих профессий в отрасли.
Слабое развитие инфраструктуры в новых регионах добычи (отсутствие надежной связи, энергоснабжения, транспорта).	Развитие телекоммуникационной и энергетической инфраструктуры в удаленных регионах, внедрение систем предиктивной аналитики и дистанционного мониторинга.

Когда проектируешь новые объекты, требования по вибронадёжности желательно закладывать уже на начальных этапах, и при этом они не должны существовать сами по себе – их нужно увязывать с общими целями, скажем, с энергоэффективностью и экологической безопасностью, потому что в современной практике всё это взаимосвязано, так что тут уж точно надо подходить с умом.

Выводы. В результате проведенного исследования систематизированы основные источники вибраций для различных типов оборудования с точки зрения промышленной безопасности объектов: буровых установок, трубопроводных систем, роторных машин, скважинного и теплообменного оборудования. Установлено, что наиболее критичными

являются механические (дисбаланс, расцентровка) и гидродинамические (гидроудары, кавитация) факторы. Выявлена недостаточная эффективность существующих демпфирующих устройств и необходимость разработки интеллектуальных систем предиктивной аналитики.

Предложены рекомендации по выбору методов виброзащиты, включая применение новых демпфирующих материалов и совершенствование конструкций. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к решению проблемы вибраций, объединяющего организационные, технические и инновационные меры. Отдельным итогом работы является обоснование необходимости перехода от реактивной стратегии устранения последствий вибрационных повреждений к проактивному управлению вибрационными рисками, основанному на раннем выявлении опасных режимов, прогнозировании развития дефектов и интеграции данных вибродиагностики в системы управления жизненным циклом оборудования.

Библиографический список

1. Брехин И.Ю., Самофалова А.С. Проблема вибраций в нефтегазовой отрасли: комплексный анализ // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. №1 (42). С.48–51.
2. Костюков В.Н. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. М.: АСУ БЭР КОМПАКС. 1999. 162 с.
3. Костюков А.В. Ортогональность параметров виброускорения, виброскорости и виброперемещения в задачах вибродиагностики. М.: Контроль. Диагностика. 2008. 441 с.
4. Щербакова К.О. Анализ возникновения вибраций в процессе бурения / К.О. Щербакова, Б.А. Овезов, Л.Р. Календарова, Д.А. Кузнецова // Neftegaz.RU. 2022. №11. С.88–93.
5. Мищевич В.И. Гидродинамические исследования поглощающих пластов и методы их изоляции. М.: Недра. 1974. 104 с.
6. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение. 2000. 146 с.
7. Басарыгин Ю.М., Проселков Ю.М., Булатов А.И. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин. М.: Недра. 2000. 158 с.
8. Коршунов Г.И., Мяков В.В. Анализ профессионального риска воздействия шума и вибрации на работников нефтяных шахт // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. 2024. № 1 (65). С. 33–36.
9. 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.
10. Петрикеева Н.А., Чудинов Д.М. Цифровое моделирование и прогнозирование характеристик гидравлической сети // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2024: сборник докладов V Национальной научной конференции. Москва, 2025. С. 629–634.
11. Сравнительный анализ работы отечественного и зарубежного оборудования в теплоэнергетических системах / А.А. Панышева А.А., А.М. Максименков, У.Г. Серикова, Н.А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. № 2 (43). С. 46–54.
12. Брунько В.М., Серикова И.А., Петрикеева Н.А. Импортозамещение насосного оборудования современным оборудованием отечественного производства // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2025. № 1 (38). С. 23–26.
13. 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.
14. Комаров В.П., Шевченко А.С., Костенко Ю.В. Цифровизация процессов в нефтегазовой отрасли: проблемы и перспективы // Нефтегазовое дело. 2023. № 3. С. 112–120.
15. Петров А.А., Никифоров И.В., Зайцев И.В. Балансировка данных для программы объединения систем хранения данных // Современные технологии в теории и практике программирования: сборник материалов научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 216–218.

Для цитирования: Самофалова А.С., Брехин И.Ю. Проблемы вибронагруженности узлов и машин нефтегазовой отрасли // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2026. № 3(44). С. 55–61.

ISSN 2413-6751 (print)
ISSN 2782-4659 (online)

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 шрифтом высотой 10 пт.).

4. Объем статьи должен составлять не менее 4 и не более 10 страниц формата А4. 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.