

Научная статья УДК 504.75 https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-552-558

**CC BY 4.0** 

# Интеллектуальная система экомониторинга для выбора участка застройки жилых домов с применением оконных сеток-фильтров на основе нановолокна

Мусса Гумерович Баширов (р., Рауф Гибадуллович Вильданов (р., Алик Мусаевич Хафизов (р., Азат Салаватович Хисматуллин\* (р., Дамир Шамилевич Акчурин (р.)

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

АННОТАЦИЯ: Введение. В результате деятельности промышленности в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ, оказывающих негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Разработка принципов устойчивого проектирования строительных площадок требует проработки алгоритмов, методик оценки и мониторинга экологической ситуации на строительной площадке. Анализ работ в области экологического мониторинга загрязнения атмосферы вредными веществами показал, что в условиях загрязнения атмосферы важное значение имеет скорость и достоверность получаемой информации. Рассмотрим применение интеллектуальной системы экологического мониторинга на примере г. Салават Республики Башкортостан. В статье рассмотрен пример непрерывного экомониторинга с использованием трех автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха для мониторинга атмосферного воздуха жилой зоны. Методы и материалы. Предложена интеллектуальная система экомониторинга, способная дать оценку состояния воздушного бассейна промышленного города, идентифицировать источники повышенной загрязнённости воздуха, обработать информацию с помощью искусственной нейронной сети в онлайн-режиме, формировать управляющие воздействия на источники повышенного загрязнения воздуха и рекомендации предприятиям по оптимизации режима работы для предотвращения превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ. Результаты. В результате проведенного анализа воздуха в г. Салават пришли к выводу о необходимости установки в жилых зданиях оконных сетокфильтров с фильтрующим элементом на основе нановолокна. Обсуждение. Результаты мониторинга воздушного бассейна могут использоваться в интегрированной интеллектуальной системе экомониторинга загрязненности окружающей среды, могут быть предоставлены заинтересованным лицам для оценки экологической ситуации. С учетом результатов эксплуатации в городе Салавате проект может быть тиражирован для использования в системах экомониторинга малых и средних городов Российской Федерации. Выводы. В результате выполнения проекта создана программа с применением искусственного интеллекта, позволяющая в дальнейшем снизить уровень загрязнения атмосферного воздуха.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нанотехнологии, загрязнение воздуха, нановолоконный фильтр, экологический мониторинг, автоматическая станция, мониторинг воздуха, здания и сооружения, искусственная нейронная сеть.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Исследование выполнено в рамках Стратегического проекта «Новая среда жизни» в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» и реализации научно-исследовательского проекта «Разработка интеллектуальной системы экологического мониторинга воздушного бассейна городского округа г. Салават» на период 2023–2024 г.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Баширов М.Г., Вильданов Р.Г., Хафизов А.М., Хисматуллин А.С., Акчурин Д.Ш. Интеллектуальная система экомониторинга для выбора участка застройки жилых домов с применением оконных сеток-фильтров на основе нановолокна // Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15, № 6. С. 552–558. https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-552-558. − EDN: RUYMLC.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проектирование и организация строительной площадки для проведения работ по крупномас-

штабным застройкам в границах городской территории требуют разработки мероприятий и решений. Все эти факторы нуждаются в соответствующем мониторинге, оценке риска и мер экологического

© Баширов М.Г., Вильданов Р.Г., Хафизов А.М., Хисматуллин А.С., Акчурин Д.Ш., 2023

http://nanobuild.ru 552 info@nanobuild.ru

<sup>\*</sup> Автор, ответственный за переписку: e-mail: hism5az@mail.ru



восстановления. В результате деятельности промышленности в атмосферу выбрасывается значительное количество загрязняющих веществ, оказывающих негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Анализ существующих в настоящее время работ в области экомониторинга загрязнения атмосферы вредными веществами [1-5] показал, что они сопровождаются не только материальными потерями, но и ухудшением здоровья населения прилегающих территорий, поэтому в условиях загрязнения атмосферы важное значение имеет скорость и достоверность получаемой информации. Решение подобных задач невозможно без создания автоматизированных систем мониторинга загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий. В статье рассмотрено применение интеллектуальной системы экологического мониторинга на примере г. Салават Республики Башкортостан.

Город Салават находится на равнинной территории, вытянут с севера на юг ограниченной с восточной стороны рекой Белая согласно «розе ветров», преобладающим направлением ветра является юго-западное. Основная часть города расположена на самых низких абсолютных отметках 145-155 м. Выше ее по поверхности на абсолютных отметках 165-170 метров находится площадка северной промышленной зоны, а на отметках 170-220 м. – площадка южной промышленной зоны. Такое расположение жилого массива по отношению к промышленным зонам вызывает долинные локальные эффекты и способствует накоплению загрязняющих веществ в приземном слое воздуха. Учитывая, что в 2022 году безветренная погода составила 225 дней в году, то такие метеорологические условия благоприятствуют накоплению вредных выбросов в атмосфере [6-7].

Целью и задачей работы является создание центра приема, контроля, автоматической обработки информации, разработать искусственную нейронную сеть интеллектуальной системы анализа уровня загрязнения воздушного бассейна города Салават.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Согласно данным [7], в 2022 году уровень загрязнения атмосферы в соответствии с критериями СанПин 2.1.6.3492-21 в городе Салават повышенный и определяется в основном концентрациями формальдегида, аммиака, диоксида азота. Средние за год концентрации основных определяемых загрязнителей: диоксида серы, оксида азота, оксида углерода, взвешенных веществ, диоксида азота, бензапирена — ниже допустимых норм. Повышенный объем выбросов в атмосферу поддерживается вследствие увеличения доли мазута в топливном балансе предприятий электроэнергетики.

Администрация г. Салават совместно с ООО «Газпром нефтехим Салават» создали систему онлайнмониторинга загрязненности воздушного бассейна города, которая позволяет оперативно выявлять наличие в воздухе загрязняющих веществ, концентрация которых превышает ПДК. Данная система онлайн мониторинга загрязненности воздуха используется для фиксации и определения типа выброса газов, сбора данных и проведения анализа трендов об уровне загрязнения воздуха на протяжении периода выброса. Это помогает специалистам по охране окружающей среды определить качество атмосферного воздуха в городе Салават.

В данный момент в г. Салават функционируют три поста наблюдения загрязнений (ПН3): одна передвижная автостанция  $\Pi H3-1$  в районе с интенсивным движением автотранспорта и две стационарные автоматические станции  $\Pi H3-2$  и  $\Pi H3-3$  по контролю уровня загрязненности в жилых районах.

Посты наблюдения загрязнений оснащены современными автоматическими станциями контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА), которые работают в круглосуточном режиме и способны фиксировать до двадцати трех загрязняющих веществ. Кроме того, станция АСКЗА оснащена ультразвуковой метеостанцией для автоматической фиксации основных метеорологических параметров [8—9].

Превышение предельно-допустимых концентраций загрязняющих газов может привести к серьезным последствиям для здоровья людей и животных, а также к разрушению окружающей среды, а учитывая «розу ветров» (это графическое изображение направлений и скорости ветра в определенной местности), можно определить и оценить, куда и как быстро могут распространяться загрязняющие вещества.

Данные по вредным факторам фиксируются один раз в тридцать минут (на разных ПНЗ). Для более детальной оценки статистики проанализировали данные, полученные со станций АСКЗА. Соответственно, контроль ведется непрерывно, показания записываются в Excel файлы, которые можно в дальнейшем применять для обучения нейронной сети [10].

После анализа статистики с АСКЗА установлено, что станции в настоящее время расположены в городе Салават таким образом, чтобы фиксировать ПДК вредных факторов с южного направления — ПНЗ № 3 (Мелеуз, АО «Салаватстекло»), по центру города — ПНЗ № 2 (общая картина в городе), с северного направления — ПНЗ № 1 (ООО «Газпром нефтехим Салават», производства Ишимбая и Стерлитамака). Информация, поступающая от них, помогает отслеживать уровень загрязнения воздуха в конкретных районах города и определять вероятный источник загрязнения.



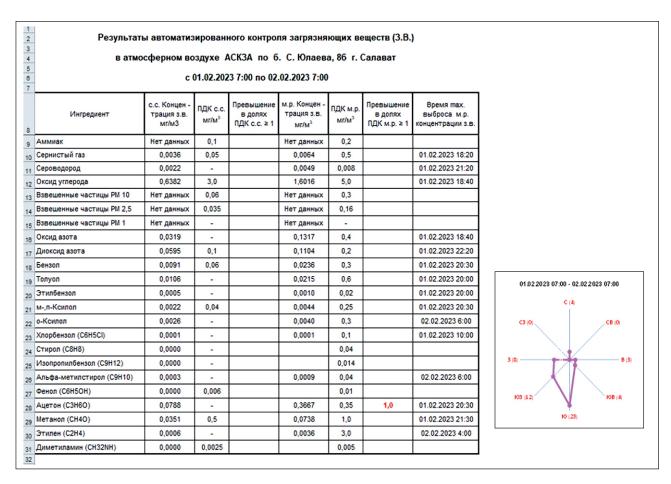


Рис. 1. Пример данных со станции АСКЗА с наличием превышения ПДК и учетом «Розы ветров»

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Решение проблемы имеет комплексный характер. Автоматизированные пробоотборники в потенциальных очагах загрязнения в случае необходимости оперативно информируют специальные службы об экологической обстановке в г. Салават. Эти устройства оснащены специальными датчиками и программным обеспечением. Авторами разработана интегрированная интеллектуальная система для управления данной системы для контроля и обработки информации об экологической обстановке в городе [10].

Применение системы экологического мониторинга на основе нейронной сети позволяет улучшить точность, контроль, надежность процесса сбора данных и управление экологической ситуацией, снизить воздействие негативных факторов на окружающую среду, а также сократить расходы на экологические мероприятия и решения.

Основным элементом системы, представленной на рис. 2, является нейронная сеть — метод машинного обучения, который позволяет предсказывать изменения в экологической ситуации на основе существующих данных и анализа тенденций.

Система экологического мониторинга на основе нейронной сети может быть интегрирована с другими системами контроля и управления, такими как системы управления светом и температурой в зданиях, системы управления транспортом и т.д.

В интеллектуальную систему экологического мониторинга поступают данные в единый центр в реальном режиме данных по содержанию загрязняющих веществ от АСКЗА, температуре, давлению и влажности атмосферного воздуха, и прогноз погоды на ближайшие дни. Далее интеллектуальная система экологического мониторинга обрабатывает и проводит мониторинг и предсказание выбросов вредных веществ, запускается система раннего предупреждения загрязнения, вырабатываются рекомендации по максимальному пределу возможных безопасных выбросов путем оптимизации загрузки аппаратов и устройств, определяются автоматически источники и причины загрязнения, повышение качества фильтрации воздуха, а также контролируется снижение загрязнения воздуха городским транспортом. Также информация поступает в городской центр по экологическому мониторингу и на нефтехимические и промышленные предприятия



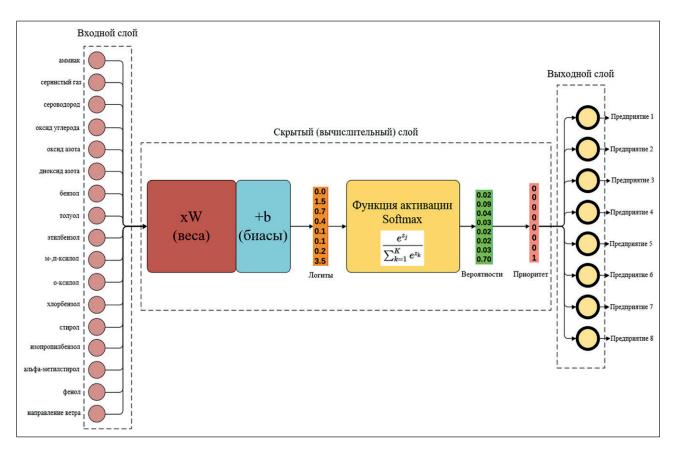


Рис. 2. Структура интеллектуального алгоритма на основе модели логистической регрессии

с целью корректировки общего регламента по выбросу вредных газов.

Анализу искусственной нейронной сетью будут подвергаться результаты измерений метеостанций и автоматических хроматографов и газоанализаторов системы онлайн — мониторинга загрязненности воздушного бассейна города Салават. Интеллектуальная система оценивает текущее состояние загрязненности воздушного бассейна города и прогнозирует сценарий развития загрязненности с учетом данных метеостанций городов, прогноза погоды, формирует управляющие воздействия на источники повышенного загрязнения воздуха и рекомендации предприятиям по оптимизации режима работы для предотвращения превышения ПДК вредных веществ в воздушном бассейне города.

Проект интерфейса программы изображен на рис. 3. Он состоит из полей для ввода значений с данных АСКЗА, поля для вывода результата и кнопки «Рассчитать».

Результатом обучения интеллектуальной модели служит ее точность. На данный момент она составляет 59,73%, из чего следует, что зависимость между параметрами есть и исследование имеет практический смысл. Недостаточно высокий показатель точности обусловлен малым количеством собранных

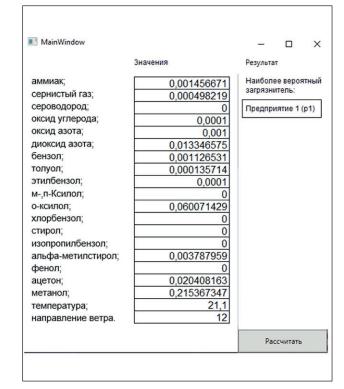


Рис. 3. Проект интерфейса программы

Nanobuildru

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

статистических данных, что и является дальнейшей залачей исследования.

Интеллектуальная система экологического мониторинга способна постоянно усовершенствоваться за счет добавления новых приборов с улучшенными метрологическими характеристиками, внедрения web-технологий для сравнения и обмена данными с другими источниками. Результаты мониторинга воздушного бассейна могут использоваться в интегрированной интеллектуальной системе экологического мониторинга загрязненности окружающей среды, включая загрязненность почвы, водоемов, флоры и фауны, могут быть предоставлены заинтересованным лицам для оценки экологической ситуации, помогут сформировать имидж «экологической открытости» [11–15]. С учетом результатов эксплуатации в городе Салавате проект может быть тиражирован для использования в системах экологического мониторинга малых и средних городов Российской Федерации.

В результате проведенных анализов проб воздуха интеллектуальная система экологического мониторинга рекомендует в жилых зданиях установить сетку-фильтр с фильтрующим элементом на основе нановолокна, например, компании Respilon [16].

Таблица 1
Результаты тестирования сетки-фильтр с фильтрующим элементом на основе нановолокна

Эффективность фильтрации	Сетка «Respilon»
частицы размеров 1,0 мкм	82,9%
частицы размеров 2,5 мкм	97,6%
частицы размеров 5,0 мкм	100%

Оконная сетка-фильтр с фильтрующим элементом на основе нановолокна - это фильтр, изготовленный из нановолокон, которые имеют диаметр порядка нескольких нанометров, предназначеных для установки в окна, и формирует барьер от проникновения пыли, пыльцы, включая вирусы и споры бактерий. Она также помогает воспрепятствовать распространению плесени, при этом обеспечивая высокую проницаемость воздуха, газов и паров воды. Улавливание частиц происходит механически. Таким образом, мембрана подходит для использования в домах, где обитают люди, страдающие аллергией и астмой так же, как те люди, которые страдают сердечно-сосудистыми расстройствами или легочными заболеваниями, живущие в зонах или регионах с высоким уровнем загрязнения воздушной среды.

Уникальную способность фильтрации обеспечивает слой из нановолокна.

Мембрана компании Respilon имеет трехслойную структуру:

слой 1 — воздухопроницаемая сетка-каркас, обеспечивающая защиту от пыли, насекомых и других частиц, сохраняя при этом циркуляцию воздуха,

слой 2 — фильтрующая воздухопроницаемая мембрана из нановолокна, позволяет удерживать и улавливать мельчащие частицы размерами несколько нм. Этот тип мембраны обладает высокой воздухопроницаемостью, т.е. обеспечивается хорошая циркуляция воздуха, при этом удерживаются загрязнения. Использование таких фильтрующих воздухопроницаемых мембран из нановолокна помогает улучшить качество воздуха в помещении и защитить людей от вредных выбросов в атмосферу.

слой 3 — воздухопроницаемая защитная сетка, используется для защиты от пыли и насекомых и для предотвращения попадания нежелательных элементов в помещение.

Интеллектуальная система экологического мониторинга может быть использована для оптимизации производства нановолоконных материалов, для того чтобы добиться более высокой эффективности фильтрации поступающего воздуха. Также система, используя экологический мониторинг и контроль процесса фильтрации атмосферного воздуха, поступающего в помещение, позволит улучшить производительность и долговечность фильтров.

Основными загрязнителями воздуха в г. Салавате являются химические элементы размерами 3—8 нм, поэтому желательно минимизировать вдыхание всех этих «газов», также рекомендуется установить дома/ на работе приточные установки (бризеры), фильтры которых задерживают вредные вещества перед их попаданием с улицы в помещение [17].

## выводы

Предлагаемая интеллектуальная система экологического мониторинга способна дать интегральную оценку экологического состояния воздушного бассейна города, застройщикам жилых комплексов рекомендовать наиболее экологические районы застроек, идентифицировать источники повышенной загрязненности воздуха, обработать информацию с помощью искусственной нейронной сети, и интеллектуальная система экологического мониторинга формирует рекомендации предприятиям по оптимизации режима работы.

В результате выполнения проекта создана программа с применением ИИ, позволяющая в дальнейшем снизить уровень загрязнения атмосферного воздуха [8].

Nanobuildru

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

Сетка-фильтр с фильтрующим элементом на основе нановолокна и приточные установки (бризеры), фильтры которых задерживают вредные вещества перед их попаданием с улицы в помещение, являются необходимыми элементами для защиты органов дыхания от вредных выбросов, запахов, смога в крупных городах.

Дальнейшее применение интеллектуальной системы экологического мониторинга может привести к созданию более эффективных, умных и адаптивных систем нанофильтрации, которые могут быть применены в различных областях и принести большие выгоды для здоровья и безопасности людей, а также для окружающей среды [8—25].

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1. Иващук О.А., Чудный Ю.П. Построение системы экомониторинга при организации автоматизированного управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса // Информационные системы и технологии. 2009. № 2/52(563). С. 61–68.
- 2. Рада А.О., Кузнецов А.Д., Зверев Р.Е., Тимофеев А.Е. Автоматизация мониторинга строительных работ на основе лазерного сканирования с беспилотных воздушных судов// Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15. № 4. С. 373—382.
- 3. Рудько И.Д., Хорошко Л.Л., Кейно П.П. Автоматизация процесса экологического мониторинга в особо охраняемых природных территориях российской федерации на базе системы управления контентом DIRECTUM RX // Труды Института системного программирования РАН. 2022. Т. 34. № 2. С. 145-158.
- 4. Liu Y., Starzyk J.A., Zhu Z. Optimized approximation algorithm in neural networks without overfitting. *IEEE Trans Neural Network*. 2008; 9:83-95.
- 5. Коршак А.А., Николаева А.В., Нагаткина А.С., Гайсин М.Т., Коршак А.А., Пшенин В.В. Методика прогнозирования степени улавливания паров углеводородов при абсорбции // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Т. 10. № 2. С. 202—209.
- 6. Башкирия вошла в десятку регионов основных загрязнителей воздуха: отчет ИА «Башинформ» по экологической обстановке в Республике Башкортостан. [Электронный ресурс] URL: https://pravdapfo.ru/news/bashkiriya-voshla-v-desyatku-regionov-samyh-sereznyh-zagryaznitelej-vozduha (дата обращения: 27.10.2023).
- 7. Ежемесячный обзор состояния окружающей среды на территории республики Башкортостан. Август 2022 года. [Электронный ресурс] URL: https://view.officeapps.live.com (дата обращения: 27.10.2023).
- 8. Качество атмосферного воздуха в г. Салавате за 29.06.2023. [Электронный ресурс]. URL: https://salavat.bashkortostan.ru/presscenter/news/552462/ (дата обращения: 07.11.2023).
- 9. Превышение ПДК ароматических углеводородов г. Салават. [Электронный ресурс]. URL: http://www.meteorb.ru/monitoring/air-pollution-salavat/prevysheniye-pdk-aromaticheskikh-uglevodorodov-salavat (дата обращения: 12.08.2023).
- 10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023667488 Российская Федерация. Программное обеспечение с применением искусственной нейронной сети для системы экомониторинга атмосферного воздуха / М.Г. Баширов, Д.Ш. Акчурин, А.М. Хафизов, А.С. Хисматуллин; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». № 2023666492; заявл. 08.08.2023; опубл.15.08.2023. 1 с.
- 11. Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года». [Электронный ресурс]. URL: http://pravo.gov.ru (дата обращения: 08.08.2023).
- 12. Фадеев М.А. Применение нейронных сетей для определения степени загрязнения атмосферного воздуха / М.А. Фадеев, Л.Н. Исаева // Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». URL: https://scienceforum.ru/2019/article/2018013816 (дата обращения: 25.10.2023).
- 13. Vasilev I., Hismatullin A. The theory of fuzzy sets as a means of assessing the periods of service of asynchronous electric motors. Proceedings 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. 2020: 9111887
- 14. Хисматуллин А.С., Гумерова Л.В., Мамлеев И.И., Сайфутдинов В.К. Применение системы искусственного интеллекта для оценки состояния изоляции маслонаполненных кабельных линий // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2023. № 3. С. 51—56.
- 15. Nemirovskiy A., Gracheva E., Bashirov M. Experimental study of the relationship between the technical state of a power transformer and the parameters of the higher harmonic components of currents and voltages generated by it. In the collection: Sustainable Energy Systems: innovative perspectives. Conference proceedings. Iss. "Lecture Notes in Civil Engineering." 2021; 155-166.
  - 16. Оконная наномембрана CleanAir. URL: https://respilon.ru/ (дата обращения: 25.10.2023).
- 17. Здоровый микроклимат дома и на работе. URL: https://www.ventoved.ru/product-page/tion-o2-standart (дата обращения: 25.10.2023).
- 18. Гумерова Л.В., Хисматуллин А.С. Применение системы искусственного интеллекта для прогнозирования состояния изоляции маслонаполненных кабельных линий // Наука. Технология. Производство 2023. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию ООО «Газпром нефтехим Салават». 2023. С. 112—114.

http://nanobuild.ru 557 info@nanobuild.ru



- 19. Баширов М.Г., Ахметшина Э.И., Хакимов А.Ф., Шван М.Ф. Разработка нейронной сети для управления учебноисследовательским лабораторным комплексом // Наука. Технология. Производство — 2023. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию ООО «Газпром нефтехим Салават». 2023. С. 188—191.
- 20. Баширов М.Г., Хисматуллин А.С., Акчурин Д.Ш., Кислицын Н.А. Программное обеспечение виртуального лабораторного стенда на основе эмулятора микропроцессорного контроллера ОВЕН ПЛК-110-30 // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021614985, 01.04.2021. Заявка № 2021614069 от 24.03.2021
- 21. Баширов М.Г., Хисматуллин А.С., Кислицын Н.А., Акчурин Д.Ш. Учебный лабораторный стенд для изучения технических средств автоматизации и основ управления технологическими процессами // Патент на полезную модель RU 206052 U1, 18.08.2021. Заявка № 2021110458 от 13.04.2021.
- 22. Муллакаев Р.М., Муллакаев М.С. Ультразвук в процессах очистки нефтезагрязненных стоков: обзор // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 3. С. 53—59.
- 23. Баширов М.Г., Баширова Э.М., Юсупова И.Г., Акчурин Д.Ш., Юлбердин Р.Т. Идентификация напряженно-деформированного состояния и поврежденности структуры металла строительных конструкций с нанопокрытиями электромагнитно-акустическим методом // Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15. № 5. С. 482—493.
- 24. Хисматуллин А.С., Гареев И.М. Исследование переноса интегрального параметра в жидкости с газовыми пузырьками // Экологические системы и приборы. 2015. № 7. С. 38—42.
- 25. Нигматулин Р.И., Филиппов А.И., Хисматуллин А.С. Трансцилляторный перенос тепла в жидкости с газовыми пузырьками // Теплофизика и аэромеханика. 2012. Т. 19. № 5. С. 595—612.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Баширов Мусса Гумерович** – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, Россия, eapp@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7493-6803

**Вильданов Рауф Гибадуллович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, Россия, vildanov.rauf@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3977-046X

**Хафизов Алик Мусаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, Россия, alik\_hafizov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6008-6588

**Хисматуллин Азат Салаватович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, Россия, hism5az@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6397-2278

**Акчурин Дамир Шамилевич** – ассистент кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, Россия, akihiro177@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2174-8216

## ВКЛАД АВТОРОВ:

**Баширов М.Г.** – научное руководство; разработка концепции и методологии исследования; анализ результатов исследования; написание статьи; составление итоговых выводов.

Вильданов Р.Г. – проведение исследований; анализ результатов и обсуждение; подготовка списка источников.

**Хафизов А.М.** – написание текста раздела «Методы и материалы»; графическое и табличное представление результатов исследования.

**Хисматуллин А.С.** – подготовка и написание текста раздела «Методы и материалы»; обработка данных.

**Акчурин Д.Ш.** – разработка искусственной нейронной сети; обработка и анализ экспериментальных данных с применением методов машинного обучения.

### Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 24.10.2023; одобрена после рецензирования 01.12.2023; принята к публикации 07.12.2023.

http://nanobuild.ru 558 info@nanobuild.ru