Выводы. Учет влияния ледовых явлений при проектировании и реконструкции водозаборов с учетом современных климатических изменений позволит минимизировать риски аварий, сократить затраты на экстренные ремонты и гарантировать стабильное водоснабжение населения и предприятий Республики Беларусь даже в условиях нестабильного ледового режима. Систематическая фиксация актуализированных данных о сроках замерзания и вскрытия водотоков, продолжительности ледостава, толщине и структуре ледяного покрова становится неотъемлемым элементом стратегии устойчивого водоснабжения.

Комплексный мониторинг и внедрение обновлённых параметров ледового режима в планирование работы водозаборов – необходимое условие для долгосрочной надёжности систем водоснабжения Беларуси и снижения потенциальных экономических потерь в ключевых секторах экономики.

Список литературы

1 Белгидромет рассказал, когда началось глобальное потепление в Беларуси // Дзен. – URL: https://dzen.ru/a/aJW5pb7Ikyo3vuw0 (дата обращения: 18.02.2026).

2 Что происходит с изменением климата в Беларуси? // United Nations Development Programme. – URL: https://www.undp.org/ru/belarus/chto-proiskhodit-s-izmeneni em-klimata-v-belarusi (дата обращения: 19.02.2026).

3 **Тимошенко, В. А.** Изменение ледового режима рек Белорусского Поозерья за период потепления климата на примере реки Западная Двина / В. А. Тимошенко; науч. рук. Д. Л. Иванов // XVIII Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 25 октября 2024 г. : в 2 т. / ВГУ им. П. М. Машерова. – Витебск, 2024. – Т. 1. – С. 135–138.

4 Строительные правила Республики Беларусь. Водозаборные сооружения : СП 4.01.03-2022. – Минск, 2023.

УДК 621.891:628.517.2:534.8.081.7

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МОДИФИКАТОРА ТРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ВАГОННЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ

С. Н. БУХАРОВ, Е. Ф. КУДИНА, А. С. ТУЛЕЙКО
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, sbuharov@mpri.org.by

Проблема снижения уровней шумового воздействия на окружающую среду является в настоящее время одной из основных проблем безопасной жизнедеятельности человека и безаварийного функционирования сложных технических объектов. Подвижные части механизмов и машин, в том числе многочисленные узлы трения являются источником вибрации и шума, по-

вышенные уровни которых значительно снижают безопасность эксплуатации, надежность и ресурс как отдельных узлов и агрегатов, так и машины в целом. Технические и экологические нормативные требования и стандарты в части виброакустических характеристик машин постоянно ужесточаются, что приводит к необходимости разработки и внедрения новых высокоэффективных методов и материалов. Таким образом, снижение шума и вибраций, возникающих при фрикционном взаимодействии поверхностей трения, является одной из наиболее актуальных трибологических проблем в машиностроении и транспорте.

Жители больших городов подвергаются шумовой нагрузке как в течение дня, так и в ночное время, что признано проблемой во всём мире. Согласно известным литературным данным, примерно 60 % населения городов находится под воздействием шума, уровни которого превышают допустимые нормы. Существенный вклад в шумовое загрязнение городов вносит железнодорожный транспорт, в частности сортировочные комплексы. Так, на Гомельском отделении Белорусской железной дороги функционирует несколько сортировочных горочных комплексов, которые по технологии своей работы осуществляют роспуск железнодорожных составов в круглосуточном режиме. Основными видами и источниками шума, сопровождающего работу механизированных сортировочных горок, является, прежде всего, металлический высокочастотный скрежет (свист) при проходе вагонов тормозных позиций и кривых участков пути, а также ударный шум вследствие сцепления вагонов, пневматические системы, маневровые тепловозы, сигналы локомотивов громкоговорителей. Учитывая нахождение сортировочных горок непосредственно в городской черте, сложилась неблагоприятная ситуация с обеспечением допустимого уровня шума и его влияния на качество жизни граждан, проживающих в близлежащих районах. По результатам шумовых измерений с использованием узкополосного БПФ-анализа спектров, проведенных на территории сортировочной станции Гомель (нечетная система), показано, что уровни шума, создаваемого в процессе торможения отцепов вагонными замедлителями, превышает действующие нормативы, как по эквивалентному, так и максимальному уровням практически во всем нормируемом диапазоне частот (рисунок 1, кривая 1).

Пиковые значения уровней шума достигали 130 дБ в диапазоне частот 2–4 кГц. Отсутствие превышений отмечалось только в низкочастотном диапазоне ниже 500 Гц. Аналогичная ситуация имеет место на железнодорожной станции Минск-Сортировочный в районе жилого комплекса Минск-Мир и других городах. Таким образом, проблема шума вагонных замедлителей требует разработки нетривиальных технических решений, позволяющих снизить уровень шума на величину до 50 дБ для достижения нормативных показателей.

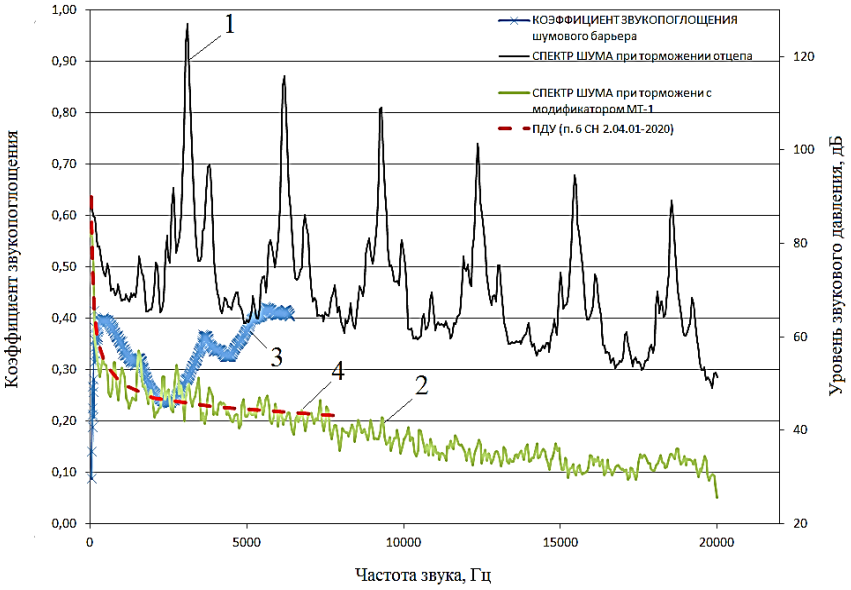


Рисунок 1 – Частотный анализ результатов акустических испытаний при работе вагонного замедлителя типа РНЗ-2:

1 – частотный спектр звукового давления при работе замедлителя без модификатора трения;
2 – частотный спектр звукового давления при работе замедлителя с модификатором трения;
3 – частотная характеристика звукопоглощения акустического экрана;
4 – предельно допустимые уровни шума для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам (п. 6 СН 2.04.01-2020)

Традиционным методом снижения уровня шума на пути его распространения является установка акустических экранов (АЭ) [1]. Опыт установки и эксплуатации на сортировочной горке станции Гомель (нечетная система) показал, что применение АЭ не позволило достичь гигиенических нормативов по уровню шума, как и не снизило количество поступающих жалоб от жильцов близлежащей жилой застройки. Сопоставление спектральных характеристик шума и частной зависимости коэффициента звукопоглощения, измеренного на поверхности АЭ (кривая 3, рисунок 1) показало его недостаточную эффективность на критических частотах для защиты от шума, возникающего при работе (торможении отцепов) замедлителя РНЗ-2. Проведенный анализ известных решений и накопленный собственный опыт в области создания акустических материалов показывает, что даже при использовании в составе АЭ материалов с предельно высокими характеристиками звукопоглощения и звукоизоляции акустическая эффективность шумозащитного ограждения как единственного

мероприятия по шумозащите является недостаточной для достижения требуемых гигиенических нормативов. Физически причина недостаточной эффективности АЭ в данном случае состоит в том, что протяженность акустической тени (области с пониженным уровнем шума), создаваемой шумозащитным ограждением при технически реализуемой высоте, не превышает 40–45 м от места их установки. Например, в работах [2, 3] показано, что в связи с процессами разделения и дифракции АЭ не обладают эффективностью в условиях высокоэтажной застройки. Иными словами, жилые помещения на третьем и выше этажах не попадают в зону действия шумозащитного ограждения.

К числу наиболее перспективных направлений в решении данной проблемы относятся трибологические подходы, основанные на минимизации виброакустической активности в источнике её возникновения, т. е. за счет изменения условий фрикционного взаимодействия в контактной паре «тормозная шина – обод колеса». Примером известного решения, реализующего данный принцип, является применение модифицированных тормозных шин, контактная поверхность которых имеет дополнительные фрикционные элементы (вставки) из композиционных (полимерных или порошковых) материалов. Фрикционные вставки закрепляются в отверстиях, выполненных в изнашиваемой части стальной шины [4]. Результаты проведенных испытаний тормозных шин различных производителей показали, что применение модифицированных шин позволяет снизить шум вагонных замедлителей на 10–29 дБ. Данный эффект также оказался недостаточным для достижения гигиенических нормативов ввиду крайне высокого исходного уровня (около 130 дБ). Однако главным препятствием в применении шин со вставками стало недопустимое падение тормозной мощности до 30 %, результатом которого может быть аварийное столкновение с впередистоящим составом или сход отцепа из-за наезда гребнем колеса на головку рельса.

В ЕС, США и других экономически развитых странах широкое распространение для снижения шума вагонных замедлителей на сортировочных комплексах получила система BREMEX – ANNSYS (ELPA, Словения) [5]. В основе её работы – нанесение на поверхность обода колеса специальной консистентной смазки (модификатора трения DBM 50), не приводящей к значимому снижению главного эксплуатационного показателя – тормозной мощности замедлителя. Механизм действия модификатора трения заключается в смене доминирующей роли адгезионного механизма фрикционного взаимодействия на абразивный за счет высокого содержания в составе твердых частиц (до 50 масс. %). Такой способ снижения шума вагонных замедлителей показал наивысшую эффективность. Дополнительными преимуществами являются снижение волнообразного износа и трещинобразования рельсов и обода вагонных колес. Критическими недостатками системы

BREMEX – ANNSYS являются высокая стоимость оборудования и необходимость использования импортного расходного материала (модификатора трения), монопольно производимого компанией ELPA, а также снижение до 40 % тормозной эффективности при отрицательных температурах окружающей среды и повышенных ветровых условиях.

Альтернативные подходы, реализующие принцип минимизации виброакустической активности в источнике её возникновения, разрабатываются в отделе «Фрикционное материаловедение» ИММС НАН Беларуси. В сотрудничестве с Гомельским отделением Белорусской железной дороги предложены составы композиционного модификатора трения на основе экологически безопасных компонентов. Основные технические требования к модификатору трения включают:

– снижение уровня шума при торможении вагонов замедлителями на критических частотах (в диапазоне от 1 до 12 кГц) не менее 30 дБ;

– отсутствие значимого влияния на тормозную мощность для обеспечения работы вагонных замедлителей в штатном режиме;

– высокая адгезия к рабочим поверхностям трения тормозных шин и боковым поверхностям колес в положительном интервале рабочих температур;

– отсутствие негативного влияния на износ всех элементов пути и подвижного состава (колес, рельсов, тормозных шин вагонных замедлителей и т. п.);

– коррозионная инертность;

– отсутствие негативного воздействия на окружающую среду, использование в составе экологически безопасных компонентов.

По результатам проведенных исследований разработана и изготовлена опытная партия композиционного модификатора на основе экологически безопасных компонентов. По результатам шумовых испытаний в реальных условиях установлено, что применение разработанного модификатора трения обеспечивает снижение уровня шума при торможении вагонов замедлителями на критических частотах (в диапазоне от 1 до 12 кГц) более 50 дБ (кривая 2, рисунок 1), что позволяет достичь гигиенических нормативов по уровню шума. Критически важная особенность разработанного модификатора состоит в том, что его применение не приводит к потере тормозной мощности замедлителей.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Современное материаловедение, перспективные материалы и новые технологии», подпрограмма 7.4. «Порошковые и композиционные материалы», задание 4.2.6.

Список литературы

1 **Копытенкова, О. И.** Эффективность снижения шума от железнодорожного транспорта акустическими экранами / О. И. Копытенкова, Т. А. Афанасьева // Гигиена окружающей среды. – 2023. – № 8 (102). – С. 764–767.

2 **Калиниченко, Е. А.** Подход к подбору средств и методов защиты от шума вагонных замедлителей / Е. А. Калиниченко // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 3 (75). – С. 14–22.

3 Результаты исследования мер снижения сверхнормативного акустического воздействия на жилые территории / Т. А. Афанасьева, Л. Б. Бурнашов, Д. Е. Курепин, Н. Н. Пирогова // Профилактическая медицина 2018 : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), Санкт-Петербург, 29–30 ноября 2018 г. / СЗГМУ им. И. И. Мечникова. – СПб., 2018. – С. 40–44.

4 Патент RU180704U1. Тормозная шина вагонного замедлителя имеющая пониженный уровень шума : заявл. 12.02.2018 : опубл. 21.06.2018 / Фадеев В. С., Флянтикова Т. Е., Штанов О. В., Паладин Н. М., Конаков А. В., Рябченко А.С.; заявитель ООО «Инфо Тех».

5 Marshalling Yards Anti-Noise & Anti-Wear Systems // ELPA Railway Friction Management. Globally leading technology. – URL: https://elpa.si/marshalling-yards/ (дата обращения: 23.02.2026).

УДК: 628.356.4

НИТЧАТОЕ ВСПУХАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД В СООРУЖЕНИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

А. А. ГРИБ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Angel.grib@bk.ru

Процесс вспухания активного ила на очистных сооружениях сточных вод является одной из самых распространенных проблем. Особое значение в работе очистных сооружений имеет стадия биологической очистки, которая осуществляется с помощью активного ила. Процессы вспухания активного ила создают серьезную проблему при эксплуатации канализационных очистных сооружений и приводят к ухудшению качества очистки сточных вод, а также к выносу активного ила в водные объекты. Вспухание активного ила возникает вследствие низкой способности активного ила к осаждению, хлопья всплывают на поверхность и выносятся с очищенной водой.

Проблема нитчатого вспухания является актуальной, поскольку наиболее часто приводит к вспуханию активного ила.

Одной из ключевых причин, способствующих образованию пены на поверхности аэротенков и вторичных отстойников, является преобладание нитчатых форм бактерий в биоценозе активного ила.

Впервые масштаб проблемы вспухания ила и пенообразования на очистных сооружениях был осознан в 1980–1990-х годах, тогда же закладывался фундамент для широкого изучения нитчатых микроорганизмов в активном иле рода *Microthrix Nocardia*, *Sphaerotilus*, которые были одной из наиболее распространенных причин возникновения данных процессов и нарушения работы сооружений биологической очистки.