

УДК: 625.098:504.06

OECD: 1.03 AA

Возможность использования продуктов переработки шин (крошка, плиты) при изготовлении панелей акустических экранов

Элькин Ю.И.^{1*}, Виноградов Р.А.²

¹Д.т.н., профессор, ²Начальник отдела

¹Кафедра инженерно-экологических инноваций и комплексной безопасности, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, РФ

²Отдел мониторинга ресурсного обеспечения, Федеральное автономное учреждение «Российский дорожный научно – исследовательский институт» (ФАУ «РОСДОРНИИ»), г. Москва, РФ

Аннотация

В статье поднимается проблема неконтролируемого роста парка автотранспортных средств (АТС) во всех странах (в том числе и в Российской Федерации), вследствие чего происходит и увеличение количества изношенных шин. При этом неутилизованные изношенные шины размещаются на полигонах твёрдых коммунальных отходов, на несанкционированных свалках или в лесу, из-за чего возрастает нагрузка на экосистемы, а именно: неконтролируемые пожары, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и т.д. В связи с тем, что объёмы производства шин превосходят объёмы их утилизации, необходима разработка новых направлений применения продуктов переработки шин. Поэтому в статье предлагается использовать эти продукты переработки для изготовления панелей акустических экранов (АЭ). Для этого была проведена сравнительная изоляции (ЗИ) как резинотехнических образцов из продуктов переработки изношенных шин (крошка различных фракций, а также изделия из неё в виде плит временного дорожного покрытия и плиток для обустройства детских и спортивных площадок), так и образца панели базового металлического АЭ.

Ключевые слова: транспортный шум, переработка изношенных шин, звукоизоляция, акустические экраны, плиты из резиновой крошки, резиновая крошка, уровень звукового давления (УЗД), уровень звука (УЗ), камера высокого уровня, камера низкого уровня

The possibility of using tire recycling products (crumbs, plates) in the manufacture of acoustic screen panels

Elkin Yu.I.*¹, Vinogradov R.A.²

¹DSc, professor, ²Head of the resource

¹Department of engineering-environmental innovation and comprehensive safety, Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), Moscow, Russia

²Resource management department, Federal autonomous institution Russian road research institute (FAI 'ROSDORNII'), Moscow, Russia

Abstract

The article raises the problem of uncontrolled growth of the fleet of motor vehicles (ATS) in all countries (including the Russian Federation), as a result of which there is an increase in the number of worn tires. At

*E-mail: elkin@mail.ru (Элькин Ю.И.)

the same time, unused worn-out tires are placed in municipal solid waste landfills, unauthorized landfills or in the forest, which increases the burden on ecosystems, namely uncontrolled fires, emissions of pollutants into the atmosphere, etc. Due to the fact that the volume of tire production exceeds the volume of tire recycling, it is necessary to develop new applications for tire recycling products. Therefore, the article suggests using these processed products for the manufacture of acoustic shield panels (AE). For this purpose, a comparative assessment of sound insulation was carried out for both rubber samples from the products of recycling worn tires (crumbs of various fractions, as well as products made from it in the form of temporary paving slabs and tiles for children's and sports grounds) and a sample of a base metal AE panel.

Keywords: transport noise, recycling of worn-out tires, sound insulation, acoustic screens, rubber crumb boards, rubber crumb, sound pressure level (SPL), sound level (SL), high-level chamber, low-level chamber

Введение

На сегодняшний день мы наблюдаем тенденцию возрастания парка АТС во всех странах, включая РФ, что приводит к постоянному увеличению количества изношенных шин. В современном мире переработка изношенных шин имеет как экологическое, так и экономическое значение. С экологической стороны это вызвано тем, что неутилизованные автомобильные шины на свалках разлагаются очень долго, порядка 150 лет [1], и при нагревании под открытым небом выделяют в почвенную и воздушную среды вредные вещества, такие как бенз(а)пирен, фенолы, нитрозамины.

По данным агентства AUTOSTAT-RADAR, во втором десятилетии XXI века (2010-2020 гг.) парк автотранспортных средств в нашей стране вырос на треть (рисунок 1) [2].

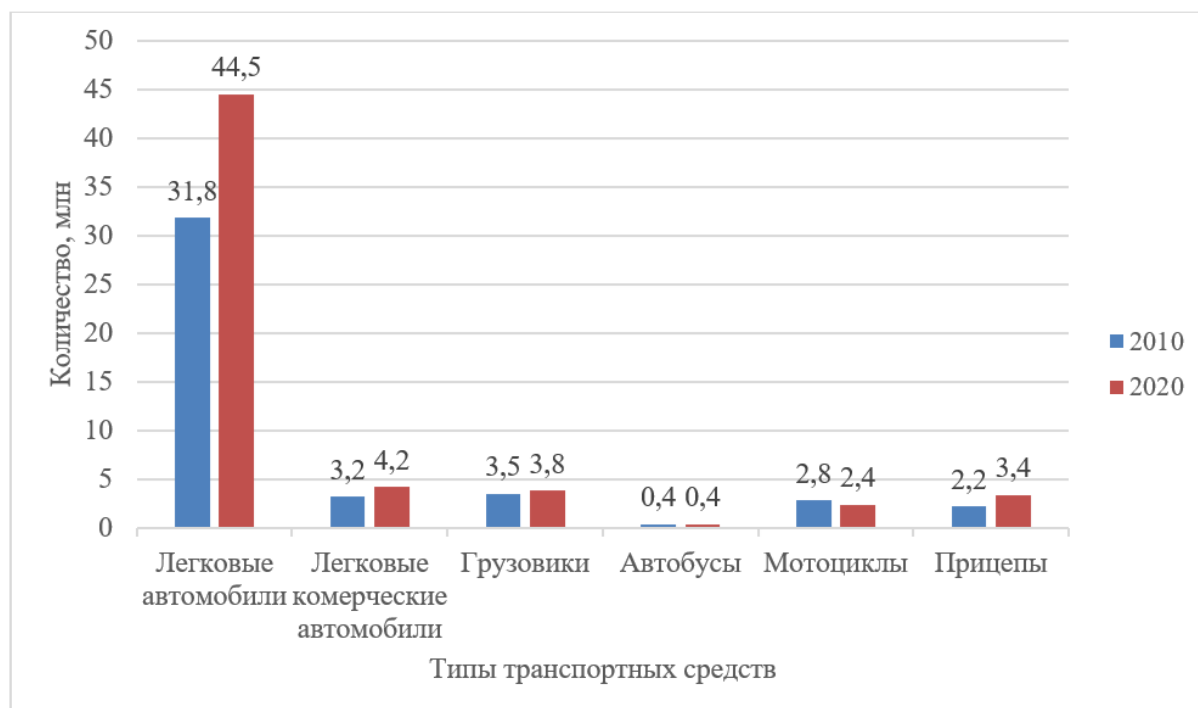


Рисунок 1 – Изменение численности транспортного парка в РФ за 10 лет

С 2016 г. члены ассоциации «Шиноэкология» (объединяющей на 2025 г. более 50 предприятий в области обращения с изношенными шинами) совместно с производителями

шин успешно осуществляют их утилизацию.

Важно, что хотя за период с 2016 по 2023 гг. доля утилизации шин в Российской Федерации увеличилась с 15 до 40% от объема их образования [3], тем не менее в настоящее время (данные на 2024 г.) эта доля достигает всего лишь 42 % (рисунок 2).

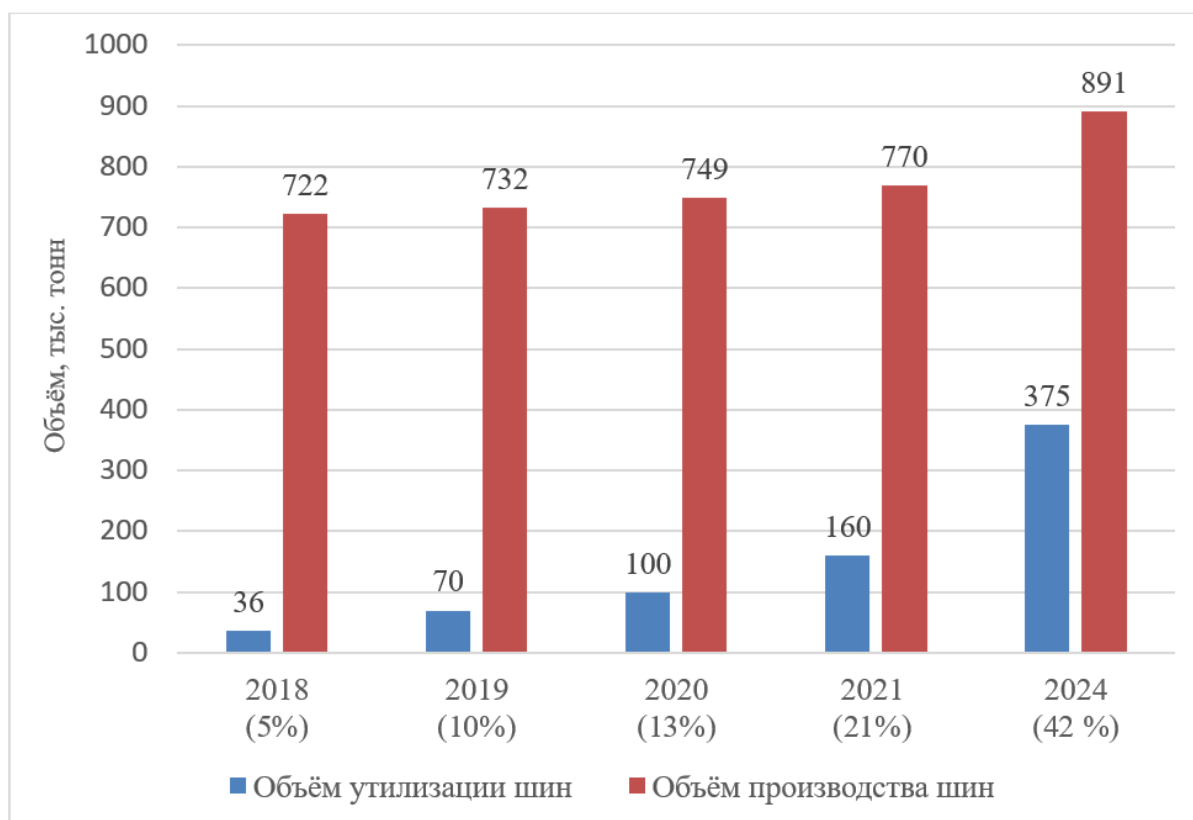


Рисунок 2 – Объёмы производства и утилизации изношенных шин

Улучшение качества жизни людей и непрерывный рост численности населения, и, как следствие, количества АТС в мире, к сожалению, усугубили и экологические проблемы. Одна из ключевых таких проблем – шум.

За последние годы было проведено множество исследований, касающихся шума, его источников, уровней шумового загрязнения, последствий его воздействия на здоровье человека и т.д., поэтому эта тема по-прежнему представляет научно - практический интерес.

Проблема защиты населения городов от шума актуальна в наше время связана с ростом количества транспорта, развитием промышленности и рядом других причин. Множество людей в России, да и во всём мире, живут в условиях акустического дискомфорта [4].

Однако, несмотря на значительные усилия автопроизводителей по созданию малозумных машин, автомобильный шум остается наиболее распространенным вредным фактором жилой среды, вклад которого составляет свыше 70%. Уровни автомобильного шума на прилегающей селитебной территории достигают 60-80 дБА [5] при норме шума в жилой застройке 55 дБА днем и 45 дБА ночью.

При существующих объемах строительства объектов дорожно-мостового хозяйства, приводящих к повышенной акустической нагрузке, практически на каждом объекте автотранспортного строительства выполняется проектирование комплекса шумозащитных сооружений (ШЗС), включающего, в том числе, и установку акустических

экранов (АЭ).

Предполагается, что использование и внедрение продуктов переработки изношенных шин (собственно резиновой крошки и плит, плиток из неё) при изготовлении панелей АЭ для ШЗС обеспечат как снижение уровней транспортного шума на селитебных территориях до нормативных значений, так и увеличение объёмов переработки шин. Оба эти аспекта имеют важную экологическую значимость.

При этом в статье рассмотрены образцы резинотехнических изделий (РТИ) из продуктов переработки шин, образец панели базового (два листа из стали толщиной 1,2 мм и расстоянием между ними - 70 мм, заполненным звукопоглощающим материалом) металлического АЭ [6] и панель каменного (гравий, щебень, песок) АЭ габионного типа (ГТ).

1 Методы и средства исследования

В рамках исследовательской работы была проведена оценка звукоизолирующей способности (то есть ЗИ характеристики) образцов, в состав которых входят:

- резинотехнические изделия из продуктов переработки шин;
- панель базового металлического АЭ.

В качестве ориентира при оценке были использованы подходы, изложенные в ГОСТ 27296–2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций» [7].

Действительно, по целому ряду понятных причин (невозможность обеспечить необходимые как площадь испытываемых образцов, так и объёмы камер высокого и низкого уровней и т.д.) полностью выполнить требования указанного стандарта не представлялось возможным.

Однако, по мнению авторов, в связи с тем, что экспериментальная оценка ЗИ характеристик образцов проводилась не для цели их «строгой» сертификации (например, по индексу изоляции воздушного шума в дБ), а всего лишь для сравнения звукоизолирующей способности РТИ образцов с базовой панелью АЭ (сопоставима или несопоставима), то скрупулёзное выполнение требований указанного ГОСТа в данной ситуации представляется необязательным. И в случае, если значение ЗИ характеристики панели металлического АЭ будет достаточно сопоставимым с аналогичным показателем образцов резинотехнических изделий, то последние можно рекомендовать для изготовления панелей акустических экранов.

Необходимость оценки именно звукоизолирующей способности всех образцов из продуктов переработки шин заключается в следующем:

- все известные методики расчёта акустической эффективности различных видов действующих АЭ (металл, светопрозрачный материал, бетон и т.д.), представленные, например, в [8]-[9], оценивают шумозащиту в расчётной точке только от огибающей, то есть дифракционной, составляющей звука через верхнюю и боковые (свободные) кромки экрана, при этом учитываются в основном габаритно – ситуационные параметры (высота, длина АЭ и расстояние от АЭ как до источника шума, так и до расчётной точки);

- также полагается, что звукоизолирующая способность панелей АЭ достаточна велика, тем самым обуславливая значительное снижение прямой составляющей звука и отсутствие необходимости её учёта при расчёте, то есть основной вклад в шумовую экспозицию в расчётной точке будет вносить только дифракционная составляющая;

- так как авторам были неизвестны ЗИ характеристики РТИ различных видов, появилась необходимость в проведении их экспериментальной оценки и сравнении

полученных результатов с измеренными тогда же ЗИ характеристиками панели базового АЭ.

Средства для проведения оценки звукоизолирующей способности всех образцов – шариковый источник шума (ИШ) и шумомер «ОКТАВА - 110А».

2 Проведение эксперимента

Указанный ГОСТ 27296–2012 [7] устанавливает методы измерения изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями (стенами, перекрытиями и их элементами, перегородками и т.д.) в лабораторных и натурных условиях.

Сущность метода – измерение уровня звукового давления в камерах высокого (КВУ) и низкого (КНУ) уровней с учётом поглощения звука в КНУ. Объём помещений КВУ и КНУ должен составлять не менее 30 м³ и не более 150 м³

Нами же для проведения эксперимента были подобраны 2 помещения объёмом 40 м³ (КВУ) на нижнем уровне и 175 м³ (КНУ) на верхнем уровне с перекрытием между ними из ж/б плит толщиной 210 мм. В этом перекрытии был сделан измерительный проём с габаритами 320х240х210 мм для установки исследуемых образцов панели базового экрана и резинотехнических изделий.

В КВУ источник шума находился в 1,5 м по вертикали вниз от измерительного проёма ж/б перекрытия и на расстояниях более 1 м от ограждающих поверхностей (стен и пола), как показано на рисунке 3.

Измерения в КНУ проводились на высоте 1 м по вертикали вверх от измерительного проёма.



Рисунок 3 – Открытый измерительный проём и ИШ в КВУ

В нашем случае основной методический подход при проведении экспериментальных исследований состоял в определении разницы уровней звука в камере низкого уровня с открытым и перекрытым различными испытуемыми образцами (РТИ, панель базового экрана) измерительным проёмом.

Так как целью исследования являлась лишь сравнительная оценка звукоизолирующей способности образцов панели базового экрана и различных резинотехнических изделий, то измерения в КНУ проводились только по уровню звука в дБА (при работе одного и того же ИШ и при одинаковых условиях измерений).

В качестве испытуемых образцов резинотехнических изделий нами были подобраны:

- плитка для детских площадок (33x240x30 мм), состоящая из двух слоёв, при этом верхний слой толщиной 7 мм сделан из крошки фр. 1 мм, а нижний толщиной 23 мм – из фр. 2 – 4 мм (рисунок 4);

- пакеты с резиновой крошкой (440x200x40 мм) с фр. 0,5; 1 – 3 и 2 – 4 мм (рисунок 5);

- дорожная плита НЦК – 50 ПС (500x500x55 мм), представляющая собой монолитную прямоугольную плоскую плиту, армированную внутренним каркасом из периодического профиля А3 диаметром 18 мм и предназначенная для обустройства временной подъездной инфраструктуры на труднодоступных участках (рисунок 6) [10].

Надо отметить, что все исследуемые образцы изготовлены из продуктов переработки изношенных шин (резиновая крошка – первый передел, плиты и плитки – второй передел).

Авторы благодарны Дмитровскому заводу РТИ (резиновая крошка), ООО НЦК (дорожная плита) и ГБУ Жилищник района Сокол (плитка для детских площадок) за любезно представленные образцы.



Рисунок 4 – Плитка для детских площадок



Рисунок 5 – Пакеты с резиновой крошкой различных фракций



Рисунок 6 – Дорожная плита НЦК

В таблице 1 приведены результаты измерений уровней звука в КНУ.

Таблица 1 – Результаты измерений в КНУ на высоте 1 м вертикально вверх от середины измерительного проёма

КНУ		
№ п/п	Условия измерений	Уровень звука, LA, дБА
1	Фон. Источник шума (ИШ) выключен, измерительный проём открыт	28
2	С ИШ. Проём открыт	77
3	С ИШ. Проём перекрыт образцом панелью базового металлического АЭ	42
4	С ИШ. Проём перекрыт плиткой для детских площадок	59
5	С ИШ. Проём перекрыт пакетом резиновой крошки фр. 0,5 мм (с минераловатным уплотнителем по периметру)	44
6	С ИШ. Проём перекрыт пакетом резиновой крошки фр. 1 - 3 мм (с минераловатным уплотнителем по периметру)	45
7	С ИШ. Проём перекрыт пакетом резиновой крошки фр. 2 - 4 мм (с минераловатным уплотнителем по периметру)	46
8	С ИШ. Проём перекрыт дорожной плитой НЦК	40

Гистограмма разниц УЗ в КНУ при открытом и перекрытом различными исследуемыми образцами измерительном проёме показана на рисунке 7.

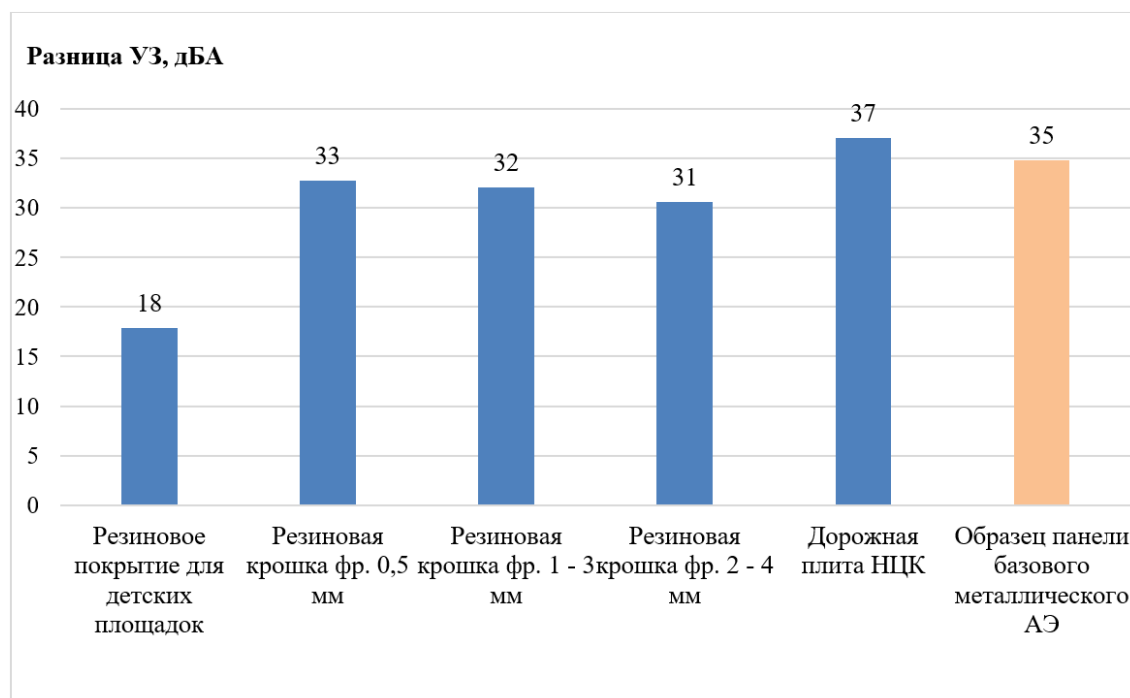


Рисунок 7 – Звукоизолирующая способность образцов различных РТИ и панели базового АЭ

Как видно из представленных данных, наиболее эффективным исследуемым образцом является дорожная плита компании НЦК, что очевидно объясняется её наибольшей поверхностной плотностью. Эффективность (звукоизолирующая способность) этой плиты составила 37 дБА.

Резиновая крошка показала результат от 31 до 33 дБА (от фр. 2 - 4 мм до фр. 0,5 мм).

Плитка для детских площадок наименее эффективна (18 дБА) в сравнении с остальными исследуемыми образцами из РТИ, при этом ничто не мешает для повышения звукоизолирующей способности использовать в панелях экранов двойной слой плитки суммарной толщиной 60 мм.

Необходимо отметить, что звукоизолирующие способности образцов из резинотехнических изделий сопоставимы с аналогичным показателем образца панели базового металлического экрана.

3 Каменные АЭ габионного типа

В Европе применяются габионные конструкции с габаритами панелей 1000х1000хх2000 в качестве акустических экранов. Для подобного рода конструкции с такими габаритами вертикальные опорные стойки и фундамент для АЭ не требуются.

В Германии, например, используется габион, состоящий из 3 слоёв природных материалов (рисунок 8) следующей толщины: пемза (20 см), песок (20 см) и щебень (60 см) [11].

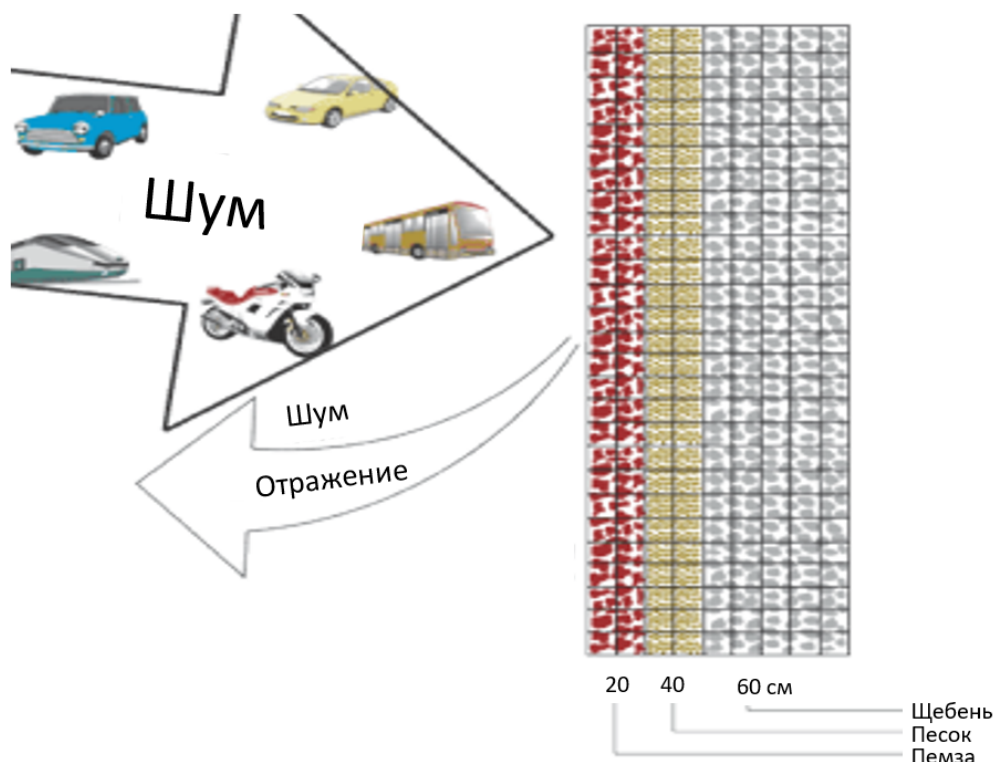


Рисунок 8 – АЭ габионного типа

Для таких конструкций АЭ авторами предлагается замена высокопористой пемзы (как звукопоглотителя) на резиновые грануляты с фр. >100 мм (так называемые резиновые «чипсы»), изготовленные из изношенных шин. Выбор «чипсов» существенно большей фракции, нежели резиновая крошка (0,5; 1-3; 2-4 мм), связан с возможными размерами

ячеек сетки панели экрана, предназначенной для предотвращения высыпания гранулята через неё.

Исходя из физико-химических свойств продуктов переработки изношенных шин, можно предположить, что помимо достаточно высокой звукоизолирующей способности панелей из них, звукопоглощение такого материала значительно больше, чем у отражающей панели базового металлического экрана.

По мнению авторов, по своим акустическим особенностям панели из РТИ чем-то напоминают панели экранов из импрегнированной древесины с достаточной звукоизоляцией и повышенным звукопоглощением по сравнению с металлическим листом [12].

Заключение

Таким образом, можно утверждать, что звукоизолирующая способность испытанных образцов из резинотехнических изделий сопоставима с таким же показателем образца панели базового металлического акустического экрана. Следовательно, использование резинотехнических изделий из изношенных шин для панелей АЭ можно рекомендовать к внедрению с предварительной детальной конструкторской проработкой опытного образца акустического экрана с панелями подобного типа.

Также авторы полагают, что разработка и внедрение АЭ с применением панелей из РТИ обеспечит, помимо достаточной акустической эффективности, ещё и значительные эколого – экономические преимущества, а именно:

- ориентировочный расчёт стоимости 1 м² предлагаемой панели из РТИ показал, что она почти в 2 раза меньше, чем стоимость 1 м² металлической панели стандартного базового АЭ (1837 и 3525 руб. в ценах 2024 г.);

- реализация возможных конструкций АЭ с применением панелей из РТИ увеличивает объём переработки изношенных шин (в качестве примера, для установки 15 км подобного АЭ высотой 6 м потребуется дополнительно переработать 15 000 т или почти 2 миллиона штук изношенных шин);

- а также при реализации конструкций именно таких экранов снижается использование невозобновляемых ресурсов в виде железной руды, окатышей, кокса и, как следствие, стали (аналогичный предыдущему расчёт показывает, что при установке тех же 15 км экрана высотой 6 м с применением панелей из РТИ вместо стандартного экрана с металлическими панелями экономится почти 1 500 т оцинкованной стали);

- не менее важно прогнозируемое увеличение долговечности панелей из РТИ, ведь если базовый металлический экран из оцинкованной стали с лакокрасочным покрытием имеет срок службы 10 – 15 лет, то панели из резинотехнических изделий должны будут меняться через существенно больший промежуток времени.

Список использованных источников

1. Российское сообщество торговли и производства: офиц. сайт. – URL: <https://rosstip.ru/news/7311-ekologichnyj-put-kak-pererabotka-shin-pomogaet-v-borbe-s-zagryazneniem-okruzhayushchej-sredy> (дата обращения 01.08.2025 г.).

2. АВТОСТАТ аналитическое агентство: офиц. сайт. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/43122/> (дата обращения 12.02.2022 г.).

3. Опыт организации системы обращения с изношенными шинами в Российской Федерации на принципах РОП / Ю. В. Трофименко, Ж. В. Перлина, Е. Р. Кренц,

О. А. Гальченко // Проектирование автомобильных дорог : Сборник докладов 80-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 24–28 января 2022 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «А-проджект», 2022. – С. 220–231. – EDN GOVBRY.

4. Элькин, Ю. И. Возможные применение резиновой крошки в качестве шумопоглощающего материала для шумозащитных сооружений / Ю. И. Элькин, Р. А. Виноградов // Научный вестник автомобильного транспорта. – 2023. – № 4. – С. 47–51. – EDN CFOVTJ.

5. Манкеев, Р. Р. Расчет акустической эффективности автотранспортных шумозащитных экранов с учетом отражения звука от них и от дорожного покрытия / Р. Р. Манкеев, В. В. Тупов // Акустика среды обитания 2022 : Материалы VII Всероссийской конференции, Москва, 26–27 мая 2022 года. Том 1. – М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2022. – С. 121–131.

6. СТО АВТОДОР 2.9 – 2023 «Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах Государственной Компании «Автодор» М., 2023 – 97 с.

7. ГОСТ 27296 – 2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций» М., 2012 – 20 с.

8. СП 276.1325800.2016 «Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков.» М., 2016. – 146 с.

9. ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам» / Росавтодор. – М., 2011. – 164 с.

10. Нанотехнологический центр композитов: офиц. сайт. – URL: <https://www.nccrussia.com/ru/products/construction/opisanie-plit.html> (дата обращения 01.12.2023 г.).

11. Wire Mesh Basket 'Silent Plus' Description & Guidelines: сайт. – URL: schlosser-gabionen.de (date of request 05.05.2023).

12. Шашурин, А. Е. Научное обоснование и применение новых технических и технологических решений для снижения акустического загрязнения основными типами шумозащитных экранов: специальность 01.04.06 «Акустика»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Шашурин Александр Евгеньевич, 2018. – 420 с. – EDN ZHXBKH.

References

1. Russian Trade and Production Community: official website. - URL: <https://rosstip.ru/news/7311-ekologichnyj-put-kak-pererabotka-shin-pomogaet-v-borbe-s-zagryazneniem-okruzhayushchej-sredy> (date of request 01.08.2025 г.).

2. AUTOSTAT analytical agency: official website. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/43122/> (date of request 12.02.2022 г.).

3. Experience in organizing a system for handling worn-out tires in the Russian Federation based on the principles of Extended Producer Responsibility / Yu. V. Trofimenko, Zh. V. Perlina, E. R. Krents, and O. A. Galchenko // Road Design: Proceedings of the 80th International Scientific and Research Conference of the Moscow State Academy of Road and Traffic Engineering, Moscow, January 24–28, 2022. – Moscow: A-Project LLC, 2022. – Pp. 220–231. – EDN GOVBRY.

4. Elkin, Yu. I. Possible applications of rubber chips as a noise-absorbing material for

noise-proof structures / Yu. I. Elkin, R. A. Vinogradov // Scientific Bulletin of automobile transport. – 2023. – No. 4. – pp. 47-51. – EDN CFOVTJ.

5. Mankeev, R. R. Calculation of the acoustic efficiency of motor vehicle noise shields, taking into account the reflection of sound from them and from the road surface / R. R. Mankeev, V. V. Tupov // Acoustics of the habitat 2022: Proceedings of the VII All-Russian Conference, Moscow, May 26-27, 2022. Volume 1. Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2022, pp. 121-131.

6. STO AVTODOR 2.9 – 2023 "Recommendations for the Design, Construction, and Operation of Acoustic Screens on the Roads of the State Company Avtodor" M., 2023. – 97 p.

7. GOST 27296 – 2012 "Buildings and structures. Methods for measuring sound insulation of building envelopes" M., 2012. – 20 p.

8. SP 276.1325800.2016 "Buildings and territories. Rules for the design of noise protection against traffic flows." M., 2016. – 146 p.

9. ODM 218.2.013-2011 "Methodological recommendations for protection from traffic noise of territories adjacent to highways" / Rosavtodor. – M., 2011. – 164 p.

10. Nanotechnology Center for Composites: official website. – URL: <https://www.nccrussia.com/ru/products/construction/opisanie-plit.html> (date of request 01.12.2023 r.).

11. Wire Mesh Basket 'Silent Plus' Description & Guidelines: website. – URL: schlosser-gabionen.de (date of request 05.05.2023).

12. Shashurin, A. E. Scientific substantiation and application of new technical and technological solutions to reduce acoustic pollution by the main types of noise screens: specialty 04/01/06 "Acoustics": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Shashurin Alexander Evgenievich, 2018. – 420 p. – EDN ZHXBKH.