

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SOUND INSULATION MATERIAL FOR DOOR STRUCTURES

A.K. Sambetbayeva , R.B. Bolatova , E.B. Kurmanbekova , S.T. Shaltabaeva 

International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *In modern conditions, an important requirement for door structures is to ensure high sound insulation characteristics while maintaining the environmental friendliness and lightness of the construction. The problem lies in developing door panels capable of absorbing a wide range of sound waves with minimal weight and the use of environmentally friendly materials. As part of the research, a two-chamber wooden door panel structure with a filling of basalt wool of different densities was developed and tested. Acoustic testing methods were used to determine the effectiveness of sound absorption at different frequencies. Special attention was paid to selecting the density and thickness of basalt wool layers for optimal sound absorption while preserving the lightness of the structure. The experimental results confirmed that basalt wool of varying densities has high efficiency in absorbing sound waves of different frequencies, allowing the door to effectively reduce both medium and high-frequency sounds as well as low-frequency noises. The two-chamber door structure with a combination of basalt wool layers of different densities demonstrated a significant increase in the sound absorption coefficient compared to traditional solutions. The achieved sound absorption and energy efficiency indicators make the developed structure a promising solution for modern construction projects, including administrative, public, and residential buildings. The use of environmentally friendly materials, such as basalt wool, meets modern requirements for sustainability and safety in construction. In addition, this design improves the acoustic environment of indoor spaces, enhancing living comfort and creating favorable conditions for work and relaxation. The use of basalt wool not only helps reduce noise but also ensures the durability and stability of sound insulation properties. The developed two-chamber wooden door with improved sound insulation properties is an innovative and eco-friendly solution for creating comfortable soundproof spaces. Additional benefits include increased energy efficiency by reducing heat loss through door panels, which contributes to lower heating costs and improves the environmental performance of buildings.*

Keywords: *basalt wool, two-chamber construction, door panel, sound absorption, energy efficiency, sound insulation*

***Corresponding author**

Aigul Sambetbayeva, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2025.1-14>

Received 14 Novemer 2024; Revised 22 December 2024; Accepted 08 February 2025

ЕСІК КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНА АРНАЛҒАН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ДЫБЫС ОҚШАУЛАҒЫШ МАТЕРИАЛ

А.К.Самбетбаева , Р.Б.Болатова , Э.Б.Кұрманбекова , С.Т.Шалтабаева 

Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан

Андатпа. Қазіргі заманғы жағдайларда есік конструкцияларына қойылатын маңызды талаптардың бірі — экологиялық тазалық пен жеңілдікті сақтай отырып, жоғары дыбыс оқшаулау сипаттамаларын қамтамасыз ету болып табылады. Мәселе әртүрлі дыбыс толқындарын минималды салмақпен және экологиялық таза материалдарды пайдалана отырып сіңіре алатын есік полотноларын әзірлеуде жатыр. Зерттеу аясында әртүрлі тығыздықтағы базальт мақтасынан жасалған толтырғышы бар екі камералы ағаш есік конструкциясы жасалып, сыналды. Дыбысты әртүрлі жиіліктерде сіңіру тиімділігін анықтау үшін акустикалық сынау әдістері қолданылды. Негізгі назар базальт мақтасының дыбыс сіңіру тиімділігін арттырып, конструкцияның жеңілдігін сақтай отырып, оның тығыздығы мен қабат қалыңдығын таңдауға аударылды. Эксперимент нәтижелері әртүрлі тығыздықтағы базальт мақтасы әртүрлі жиіліктегі дыбыс толқындарын сіңіруде жоғары тиімділікке ие екенін, бұл есікке орташа және жоғары жиіліктегі дыбыстармен қатар төмен жиілікті шуды да тиімді төмендетуге мүмкіндік беретінін растады. Әртүрлі тығыздықтағы базальт мақтасы қабаттарынан жасалған екі камералы есік конструкциясы дәстүрлі шешімдермен салыстырғанда дыбыс сіңіру коэффициентінің едәуір ұлғаюын көрсетті. Қол жеткізілген дыбыс сіңіру және энергия тиімділігі көрсеткіштері әзірленген конструкцияны әкімшілік, қоғамдық және тұрғын ғимараттарды қоса алғанда, қазіргі заманғы құрылыс жобалары үшін болашағы бар шешім ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Базальт мақтасы сияқты экологиялық таза материалдарды пайдалану құрылыста экологиялық тазалық пен қауіпсіздікке қойылатын заманауи талаптарға сәйкес келеді. Бұдан басқа, бұл конструкция бөлмелердің акустикалық ортасын жақсартып, тұрғындардың жайлылығын арттырады және жұмыс пен демалуға қолайлы жағдайлар жасайды. Базальт мақтасын пайдалану шуды азайтуға ғана емес, сонымен қатар дыбыс оқшаулау қасиеттерінің беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Жақсартылған дыбыс оқшаулау сипаттамалары бар екі камералы ағаш есік жайлы, дыбыс оқшауланған кеңістіктерді құруға арналған инновациялық және экологиялық шешім болып табылады. Қосымша артықшылықтарға есік полотнолары арқылы жылу шығынын азайту есебінен энергия тиімділігін арттыру кіреді, бұл жылытуға жұмсалатын шығындарды азайтуға және ғимараттардың экологиялық көрсеткіштерін жақсартуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: базальт мақта, екі камералы конструкция, есік төсемі, шуды сіңіру, энергия тиімділік, дыбысты оқшаулау

*Автор-корреспондент

Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2025.1-14>

Алынды 14қараша 2024; Қайта қаралды 22 желтоқсан 2024; Қабылданды 08 ақпан 2025

ЭКОЛОГИЧНЫЙ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДВЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.К.Самбетбаева , Р.Б.Болатова , Э.Б.Күрманбекова , С.Т.Шалтабаева 

Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

Аннотация. В современных условиях важным требованием к дверным конструкциям является обеспечение высоких звукоизоляционных характеристик при сохранении экологичности и лёгкости конструкции. Проблема заключается в разработке дверных полотен, способных поглощать широкий спектр звуковых волн с минимальным весом и использованием экологически чистых материалов. В рамках исследования была разработана и протестирована двухкамерная деревянная конструкция дверного полотна с наполнением из базальтовой ваты разной плотности. Использовались методы акустического тестирования для определения эффективности шумопоглощения на разных частотах. Особое внимание было уделено подбору плотности и толщины слоев базальтовой ваты для оптимального звукопоглощения и сохранения легкости конструкции. Результаты экспериментов подтвердили, что базальтовая вата с различной плотностью обладает высокой эффективностью в поглощении звуковых волн разной частоты, что позволяет двери снижать как средние и высокочастотные, так и низкочастотные шумы. Двухкамерная конструкция двери с комбинацией слоев базальтовой ваты разной плотности показала значительное увеличение коэффициента шумопоглощения по сравнению с традиционными решениями. Достигнутые показатели шумопоглощения и энергоэффективности позволяют рассматривать разработанную конструкцию как перспективное решение для современных строительных проектов, включая административные, общественные и жилые здания. Применение экологически чистых материалов, таких как базальтовая вата, соответствует современным требованиям к экологичности и безопасности в строительстве. Помимо этого, данная конструкция улучшает акустическую среду помещений, повышая комфорт проживания и создавая благоприятные условия для работы и отдыха. Использование базальтовой ваты не только способствует снижению шума, но и обеспечивает долговечность и стабильность звукоизоляционных свойств. Разработанная двухкамерная деревянная дверь с улучшенными звукоизоляционными свойствами представляет собой инновационное и экологичное решение для создания комфортных звукоизолированных пространств. Дополнительные преимущества включают повышение энергоэффективности за счёт уменьшения теплопотерь через дверные полотна, что способствует снижению затрат на отопление и улучшению экологических показателей зданий.

Ключевые слова: базальтовая вата, двухкамерная конструкция, дверное полотно, шумопоглощение, энергоэффективность, звукоизоляция

*Автор-корреспондент

Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2025.1-14>

Поступило 14 ноября 2024; Пересмотрено 22 декабря 2024; Принято 08 февраля 2025

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

С ростом урбанизации по всему миру важность защиты от звукового загрязнения увеличивается, поскольку шум негативно влияет на здоровье человека. Эффективная звукоизоляция здания требует не только использования акустических материалов для стен, но и тщательного заполнения оконных и дверных проемов как снаружи, так и изнутри ([Basner et al., 2014](#)).

Исследования изолированных конструкций, включая дверные блоки, активно ведутся за рубежом, так как двери часто являются основным источником проникновения шума, несмотря на использование шумопоглощающих материалов в стенах и перегородках. Известные деревянные двери включают три слоя ДСтП (древесно-стружечные плиты), две МДФ (древесноволокнистая плита средней плотности) не считая накладки и фурнитуру, весят в среднем 65–70 кг, что тяжелее металлических.

Модель двухкамерного дверного полотна из тонких МДФ листов напоминает оконный стеклопакет, где камеры заполнены легкими пористыми материалами, такими как пенополистирол, минеральная вата или акустический войлок, используемые в автомобильных дверях.

Существует множество видов конструкций шумопоглощающих и звукоизоляционных дверей. Лучшей конструкцией является металлическая дверь, имеющая в наполнении сочетание множество материалов, с показателем звукоизоляции 32-42 дБ. Но металлическую дверь не эстетично устанавливать внутри здания административных, общественных и учебных корпусов. Для этого принято использовать деревянные двери с показателем звукоизоляции 27 дБ. Недостатком всех существующих звукоизоляционных деревянных дверей является массивность, большой вес и толщина полотна, образуемая из-за наслаивания множества материалов.

Поэтому исследования, посвященные разработке относительно легких и безопасных конструкций дверных полотен с эффективным показателем звукопоглощения, являются актуальными.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Американские производители видят в дверной конструкции барьерную технологию, которая должна иметь массу. Целью которого является несколько слоев материалов, расположенных таким образом, чтобы уменьшить вибрацию. Тип материала, способ его сборки и количество используемого материала зависят от частоты и амплитуды ([Rindel, 2010](#)). Древесноволокнистая плита средней плотности МДФ обеспечивает конструкцию массой, необходимой для начала производства дверей. Также считают, что при выборе материала важна не только масса, но и разные материалы с разной плотностью, чтобы замедлять вибрации, проходящие через дверь. Вибрации теряют интенсивность, если им приходится сталкиваться с различными типами материалов с различной плотностью. Если используется МДФ, то можно соединить его с фанерой. Фанера имеет множество слоев, которые соединяются вместе в единый кусок материала. Это пример того, как сочетаются различные материалы с разной плотностью ([Safin, 2024](#)).

Демпфирование массы ограниченного слоя включает соединение разнообразных материалов различной плотности с использованием акустического клея для создания многослойной структуры, которая уменьшает вибрацию, улучшая звукоизоляцию за счёт увеличения количества препятствий звуковых волн. МДФ, фанера и клей – это уже три материала, через которые должна пройти вибрация. Сочетание вышеуказанных материалов, основана на частоте и амплитуде шума, создаваемого внутри комнаты, или шума снаружи комнаты, приходящего внутрь комнаты. Выбор материалов и их расположение в конструкции двери начинается с измерения шума, чтобы квалифицировать и количественно определить частоты и амплитуды шума. Каждая частота и амплитуда шума связаны с типом

материала, количеством и положением этого материала в конструкции дверного барьера (Lukash et al., 2022). Любая структура должна основываться на определенной частоте или амплитуде энергии. Более низкие частоты требуют другой барьерной технологии, чем средние и высокие частоты.

Также, простая звуконепроницаемая дверь может быть изготовлена путем прослаивания тяжелых силикатных плит кальция между гранями фанерного шпона, в котором наносится демпфирующий компаунд, такой как зеленый клей, между слоями, чтобы улучшить потери при передаче. Затем для завершения конструкции могут быть добавлены акустические уплотнения хорошего качества. Характеристики звуконепроницаемых дверей варьируются от 34 дБ до 56 дБ. Толщина дверного полотна варьируется от 55 мм до 95 мм, в зависимости от требуемых характеристик двери. Номинальные значения выше 56 дБ могут быть достигнуты путем установки двух дверей последовательно с подходящим зазором между ними. Чем больше пространство между двумя дверями, тем лучше.

В исследовании (Smith & Jones, 2020) проведен анализ современных звукоизоляционных материалов, их свойств и применимости в конструкциях дверных полотен. Демонстрируется, что применение новых композитных материалов и многослойных структур способствует значительному усилению звукоизоляционных свойств дверей. Тем не менее, вопросы долговечности и стоимости данных материалов, а также сложности их интеграции в традиционные конструкции остаются открытыми. Эти трудности могут быть обусловлены высокими затратами на разработку и тестирование инновационных материалов и необходимостью значительных инвестиций для массового производства, что делает такие исследования экономически нецелесообразными. Один из путей преодоления этих проблем – разработка и использование более доступных альтернативных материалов и упрощение производственных процессов.

В работе (Lee, 2019) представлены данные о последних достижениях в области дизайна дверей с фокусом на звукоизоляционные технологии. Авторы демонстрируют, что применение новаторских материалов и конструкций значительно повышает уровень звукоизоляции, одновременно сохраняя эстетические и функциональные характеристики изделий. Однако, возникшие вопросы о интеграции таких инноваций в массовое производство и влиянии на структурную устойчивость дверей остаются не решенными. Эти проблемы могут быть обусловлены высокими затратами на новые материалы и технологии, а также невозможностью их использования в стандартных размерах дверных полотен, что делает исследования нецелесообразными с экономической точки зрения. В качестве решения предлагается разработка более эффективных и экономически доступных производственных технологий, а также применение модульных дизайнов, позволяющих адаптировать новые материалы и технологии к различным типам дверей. Данный подход был реализован в рамках исследования (Lee, 2019), но вопрос о сравнении долговечности таких конструкций с традиционными дверями требует дальнейшего анализа.

Автор (Patel, 2018) анализирует звукоизоляционные свойства различных материалов, используемых в производстве дверей. Отмечено, что материалы значительно различаются по своей способности к звукоизоляции, что существенно влияет на акустические характеристики конечного изделия. Однако, вопросы оптимального сочетания материалов для достижения идеального баланса между звукоизоляцией, стоимостью и другими эксплуатационными характеристиками, такими как вес и долговечность, остаются открытыми. Проблемы связаны с различиями в физических свойствах материалов, а также необходимостью значительного увеличения затрат и сложности производства для достижения высокого уровня звукоизоляции, делая данные исследования экономически неоправданными в некоторых случаях. В качестве решения этих проблем предложено использование композитных материалов и внедрение новых технологических процессов, которые могут улучшить акустические характеристики, сохраняя при этом другие важные параметры.

В исследованиях, представленных в работе ([Gomez & Fernandez, 2021](#)), освещены вопросы применения экологически чистых звукопоглощающих материалов, а также аспекты дизайна дверных проемов с точки зрения их влияния на акустическую изоляцию. Отмечено, что использование экологически безопасных материалов способствует улучшению акустических свойств помещений, в то время как оптимизированный дизайн проемов может значительно повысить эффективность звукоизоляции. Тем не менее, вопросы долговечности таких материалов и стоимости интеграции инновационных дизайнов в существующие здания остаются актуальными. Основными проблемами являются высокие затраты на адаптацию стандартных проемов и сложности модификации некоторых типов конструкций. Предложено решение в виде разработки универсальных, легко интегрируемых в различные архитектурные и климатические условия конструкций, а также применение модульных и адаптивных дизайнов, которые не требуют значительных изменений в структуре зданий.

В исследовании ([Chen, 2022](#)), посвященном анализу влияния дизайна дверных проемов на акустическую изоляцию, представлены данные о том, как конструктивные изменения, включая выбор материалов и структуру, могут значительно усилить звукоизоляционные свойства. Однако, интеграция таких дизайнов в стандартные строительные практики и оценка их экономической эффективности остаются сложными задачами. Основные препятствия связаны с необходимостью адаптации новшеств к действующим строительным нормам и высокими затратами на модификацию существующих зданий, что с точки зрения финансов делает эти исследования невыгодными. В качестве решения предложено использование модульных и легко адаптируемых конструкций, которые могут быть интегрированы в разнообразные архитектурные стили без существенных изменений. Однако для оптимального использования универсальных звукоизоляционных материалов требуются дополнительные исследования, направленные на адаптацию этих материалов к различным эксплуатационным условиям.

Автор ([Murphy & O'Connell, 2021](#)) изучает использование многослойных структур для улучшения звукоизоляции дверей. Показано, что включение различных комбинаций материалов в многослойные конструкции значительно повышает их звукоизоляционные свойства. Но остались нерешенными вопросы, связанные с оптимизацией толщины и материального состава слоев для различных типов дверей и условий эксплуатации. Трудности могут возникать из-за разных акустических требований в зданиях, невозможности создать универсальный дизайн и высоких затрат на производство специализированных многослойных дверей, делая исследования нецелесообразными для широкого внедрения. Вариантом преодоления соответствующих трудностей может быть разработка модульных систем, которые позволяют настраивать структуру слоев в зависимости от конкретных акустических и эксплуатационных требований.

В работе ([Wang & Liu, 2020](#)) приведены результаты исследований использования гибридных материалов для снижения шума в зданиях. Показано, что комбинирование различных материалов с уникальными звукоизолирующими свойствами может значительно улучшить общую акустическую изоляцию строительных конструкций. Но остались нерешенными вопросы, связанные с экономической эффективностью производства таких материалов и их долговечностью в различных эксплуатационных условиях. Причиной этого могут быть объективные трудности, связанные с высокими затратами на сырье и технологии производства, принципиальная невозможность универсализации этих материалов для всех видов зданий, что делает соответствующие исследования нецелесообразными с точки зрения массового применения.

В исследовании ([Roberts, 2019](#)) представлен анализ современных техник и тенденций в области строительной акустики, демонстрирующий значительное улучшение звукоизоляционных свойств конструкций благодаря новейшим разработкам в материалах и методах. Однако, высокие затраты на внедрение этих технологий и их интеграция в устоявшиеся строительные стандарты остаются проблематичными. Эти трудности обусловлены необходимостью специализированного оборудования и подготовки кадров, а

также экономической нецелесообразностью массового применения некоторых инноваций из-за их высокой стоимости. В работе (Roberts, 2019) предложены методы разработки и внедрения более доступных и упрощенных технологий, а также меры по повышению осведомленности и обучению в индустрии, что может способствовать более широкому распространению новых методов. Такой подход уже нашел применение, однако требует продолжения исследований для улучшения и оптимизации строительных практик в области акустики.

Все это позволяет утверждать, что целесообразным является проведение исследования, направленного на разработку деревянной шумопоглощающей дверной конструкции.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изготовления дверных полотен использовались следующие материалы.

МДФ (древесноволокнистая плита средней плотности) - инженерный материал, созданный методом прессования древесных волокон с добавлением синтетических смол. МДФ широко используется в строительстве и мебельном производстве благодаря своей прочности, универсальности и легкости обработки. Он обеспечивает умеренные звукоизоляционные свойства и структурную стабильность, что делает его популярным для производства дверей, акустических панелей и мебели.

Базальтовая вата - вид минеральной ваты, известный своими отличными изоляционными свойствами. Благодаря пористой и волокнистой структуре, базальтовая вата способна эффективно поглощать звуковые волны, разрушая их и уменьшая отражение и эхо в помещениях. Она особенно полезна для шумопоглощения в студиях, кинотеатрах и офисах.

Пенополистирол (полистирол, пенопласт) - легкий пластичный материал, получаемый в результате полимеризации стирола. Он обладает высокими теплоизоляционными свойствами и также имеет умеренные звукоизоляционные характеристики.

Гофрокартон - упаковочный материал, состоящий из слоев бумаги, в том числе гладких обложек и волнистой бумаги между ними. Воздушные карманы в гофрированном слое позволяют ему улавливать звуковые волны и частично поглощать звук. Однако, гофрокартон менее эффективен как звукоизолирующий материал по сравнению со специализированными акустическими материалами.

Для создания и измерения звукового давления были задействованы следующие приборы: генераторы шума, третьоктавные фильтры и звуковые колонки с рабочим диапазоном частот от 50 до 5000 Гц; микрофоны первого класса, усилители и измерительные устройства, откалиброванные акустическими калибраторами перед началом испытаний, дополнительно использовался шумомер MASTECH MS6701 для точного измерения звукового давления.

Испытания проводились в административном блоке столярного производства и состояли из двух этапов:

Лабораторные испытания: Были выбраны две смежные комнаты с хорошей шумоизоляцией стен, различающиеся по уровню звукового давления. В лабораторных условиях исследовались двери при различных уровнях давления для оценки их звукоизоляционных характеристик.

Испытания в реальных условиях: Для проверки эффективности дверей в условиях внешнего шума была заменена входная дверь на тестируемые дверные блоки. Испытания проводились в условиях естественного шума от промышленных территорий, транспортных магистралей, железнодорожных путей и авиалиний. Каждое дверное полотно было установлено с зазором в 10 мм по периметру, который был заделан вибро-акустическим герметиком. Перед началом измерений двери открывались и закрывались пять раз для проверки работы механизмов и фурнитуры.

Для измерения звукового давления использовались три различных положения микрофонов: Первый метод включал установку микрофонов в трех фиксированных точках,

во втором случае один микрофон попеременно перемещался по заданным точкам, в третьем методе использовался вращающийся микрофон, описывающий окружность вокруг источника звука. Дверные блоки тестировались в двух смежных реверберационных комнатах (с высоким и низким уровнем давления), установленных по стандартам ГОСТ. Объемы комнат различались на 10%, а время реверберации составляло три секунды в каждой третьоктавной полосе. Измерения проводились в частотных полосах от 100 до 3150 Гц с использованием третьоктавных фильтров. Для калибровки всех устройств использовались международные стандарты ([IEC 61672-1:2014](#), [IEC 60942:2003](#) и [ISO 3382-2:2008](#)), что обеспечивало точность и надежность данных. Для оценки фона измерялся уровень фонового шума в каждом испытании, и создавались условия диффузного звукового поля с учетом расположения источника звука и установки диффузоров. Для определения звукоизоляционных характеристик дверных блоков от внешнего шума измерения проводились на фасадной стороне здания, обращенной к оживленной улице. Шумомер был установлен на высоте 1,5 м от пола в трех точках на расстоянии одного метра от стен.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

4.1. Разработка деревянной двухкамерной конструкции двери

Европейские производители нашли способ создать легкую конструкцию дверей: для улучшения звукоизоляции двери используют опускающиеся пороги и специальный сотовый наполнитель с двойными перегородками, что обеспечивает эффективную звукоизоляцию. По образцу этого наполнения в деревообрабатывающей производственной компании изготовили дверь двухкамерной конструкции ([Рисунок 1](#)). Конструкция подразумевала разнородность материалов нескольких толщин, ячеистость, мембранность, а также эстетичность двери. Эффективность испытали простым методом стука в сравнении с обычной дверью. Стук с обратной стороны простой двери издавал звуки четкого удара, а со стороны двухкамерной двери звук исходил приглушенный.

Изобретение относится к шумопоглощающим деревянным дверным конструкциям, которое относится к дверям специального назначения для внутренней эксплуатации в отелях, гостиницах, школах, больницах. Сочетание листовых материалов разной толщины в многокамерной конструкции и заполнение камер бумажными сотами создает мембранную полость, затухающую звуковые волны за счет разных акустических свойств материалов. Результат шумопоглощения зависит от толщины воздушного пространства внутри камер, чем больше расстояние между наружной накладкой и внутренней перегородкой, тем эффективнее будет результат. Также разницу в несколько дБ оказывает отделка двери. К примеру, накладка, отделанная пористым шпоном или декоративной кожей, может оказать дополнительно положительный результат.

Для проведения испытания было изготовлено 5 дверных полотен разной конструкции: простая, межкомнатная стандартная дверь, двухкамерная конструкция с сотовым наполнением, двухкамерная конструкция с наполнением из пенополистирола, трехкамерная конструкция с сотовым наполнением, двухкамерная конструкция с базальтовым наполнением разной плотности. Образцы дверных полотен приведены в [Таблице 1](#).

Таблица 1
Образцы дверных полотен.

№ образца	Наименование	Толщина, мм
1	Стандартная межкомнатная дверь	42
2	Двухкамерная дверь с сотовым наполнением	50
3	Двухкамерная дверь заполненная пеноплексом (пенополистиролом)	55
4	Трехкамерная дверь с сотовым наполнением	50
5	Двухкамерная дверь заполненная каменной ватой	55

Испытание проводилось в административном блоке столярного производства, где были изготовлены образцы.

Конструкция стандартной межкомнатной двери (**Рисунок 1**). Простая межкомнатная дверь, обычно ее называют пустотелая дверь с сотовым наполнением. Состоит из соснового каркаса и рубашки из МДФ толщиной 6 мм.

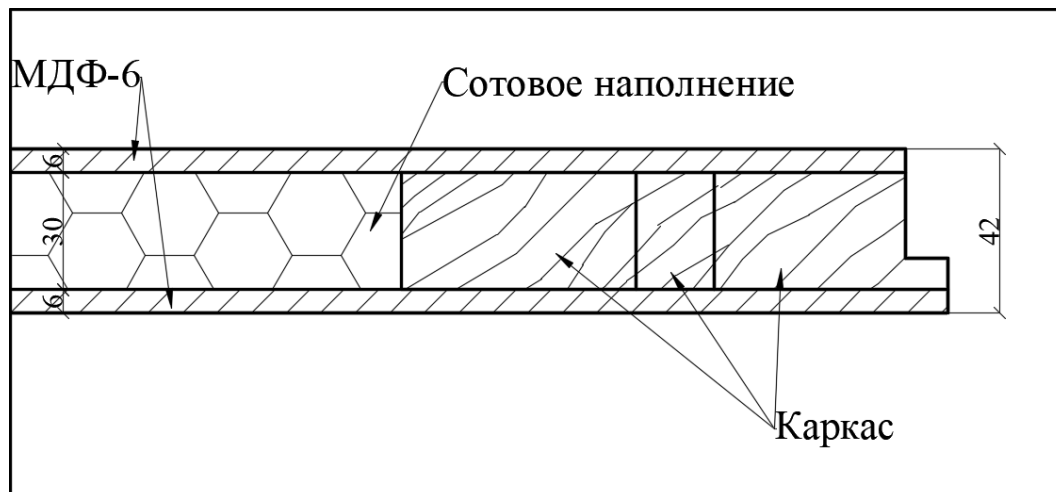


Рисунок 1 – Конструкция стандартной межкомнатной двери.

Двухкамерная конструкция с сотовым наполнением (**Рисунок 2**). Конструкция этой двери была изобретена в 2018 году. Конструкция отличается от обычной двери тем, что внутреннее пространство делится на две камеры перегородкой МДФ толщиной 3 мм. Толщина двери увеличена для создания большого воздушного пространства и заполнена сотами.

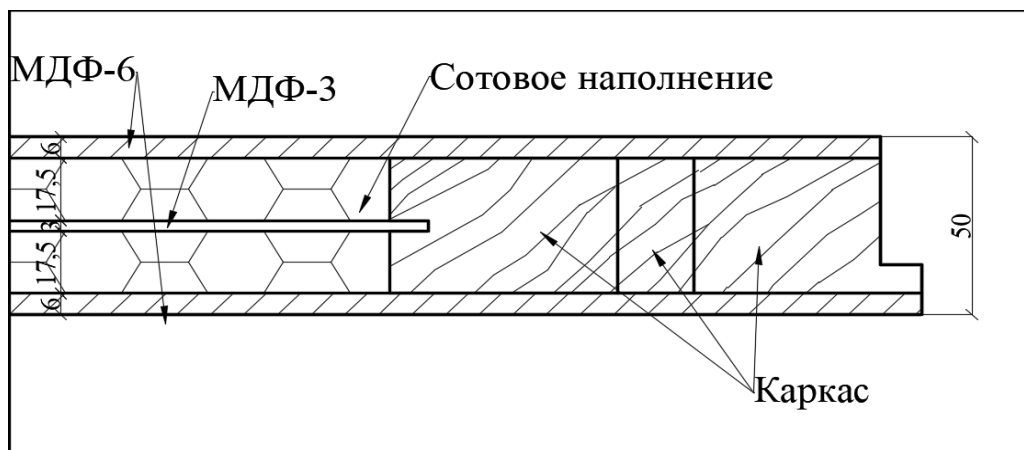


Рисунок 2 – Двухкамерная конструкция с сотовым наполнением.

Двухкамерная конструкция с наполнением из пенополистирола (**Рисунок 3**). Конструкция соответствует образцу, показанному на **Рисунке 2**, но толщина камер увеличена на толщину пеноплекса. Пеноплекс, пористый теплоизолирующий материал, часто ошибочно приписывают свойства звукоизоляции.

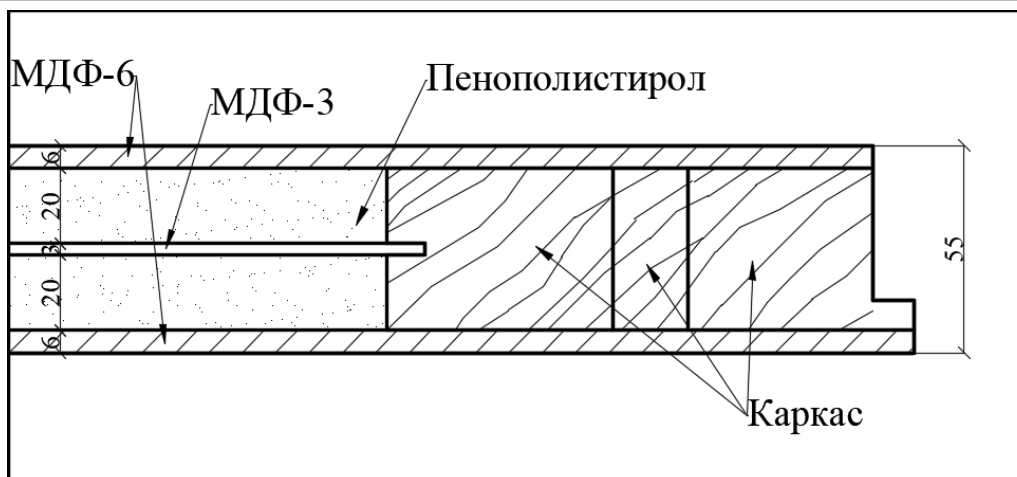


Рисунок 3 – Двухкамерная конструкция с наполнением из пенополистирола.

Трехкамерная конструкция с сотовым наполнением (с гофрокартоном) (**Рисунок 4**). В рамках эксперимента с образцом, показанным на **Рисунке 4**, будет исследовано влияние количества перегородок на звукоизоляционные свойства двери при сохранении её постоянной толщины. Этот подход позволит оценить, насколько эффективность звукоизоляции зависит от количества структурных элементов в дверном полотне, в отличие от качества используемых материалов.

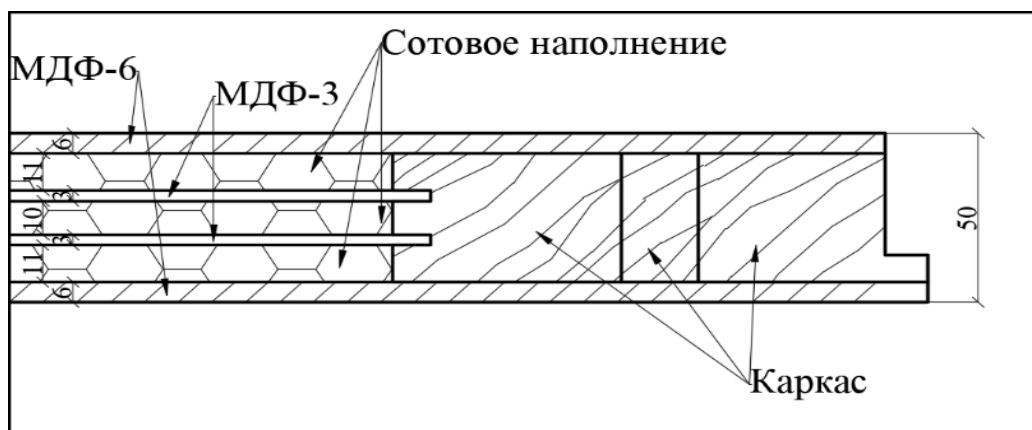


Рисунок 4 – Трехкамерная конструкция с сотовым наполнением (с гофрокартоном).

Двухкамерная конструкция с базальтовым наполнением (**Рисунок 5**) является главным в исследовании, так как свойства каменной ваты при правильном подходе дают хорошие результаты.

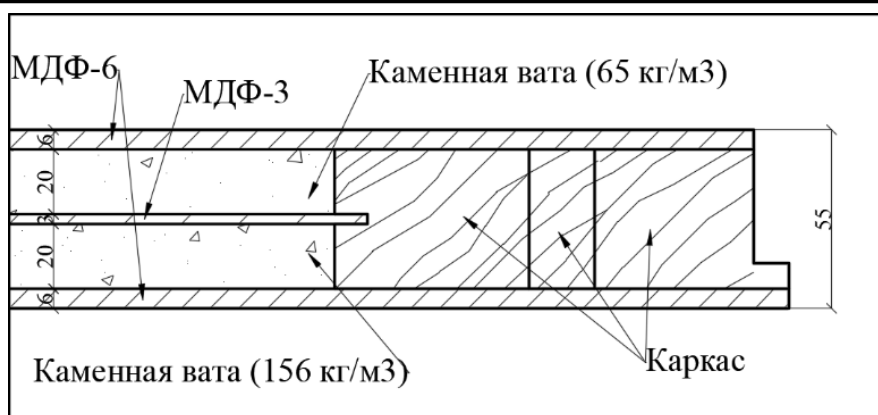


Рисунок 5 – Двухкамерная конструкция с базальтовым наполнением.

В данном образце использовалась базальтовая вата плотностью 65 и 156 кг/м³. С увеличением плотности ваты растет звукопоглощение на низких частотах и падает звукопоглощение на средних и высоких частотах. Одна камера заполнена ватой 65 кг/м³, вторая 156 кг/м³. Для заполнения вата была поделена на толщину камер (Самбетбаева & Болатова, 2022).

4. 2. Определение звукоизоляции дверных деревянных конструкций

Результаты лабораторного исследования со стороны комнаты высокого уровня представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Результаты лабораторного исследования со стороны комнаты высокого уровня.

№ образца	Исходный звук, дБ	Результат испытания в первой точке, дБ	Результат испытания во второй точке, дБ	Результат испытания в третьей точке, дБ	Поглощенный звук (среднее значение), дБ
П1	77	65,5	65,6	65,1	11,6
П2	77	56,3	57	56,9	20,26
П3	77	68,1	67,1	67,7	9,3
П4	77	61,1	61,8	61,1	15,6
П5	77	50,1	50,3	50,1	26,83

Из Таблицы 2 видно, что со стороны комнаты высокого уровня образец П2 имеет разницу почти в два раза в сравнении с обычной дверью (образец П1) и соответственно результаты почти в два раза выше. В образце П3 пеноплекс способствует созданию резонанса внутри камер, из-за чего звукопоглощение снизилось, несмотря на толщину полотна. Результат третьего образца оказался ниже обычной тонкой двери. Образец П4 доказывает эффективность толщины воздушного пространства, чем ближе перегородки, тем ниже показатель звукопоглощения. Звуковая волна свободно переносится из одной камеры в другую с малыми потерями интенсивности. Если бы в образце П4 увеличить толщину полотна, не уменьшая расстояние между перегородками, то результат возможно был бы эффективнее образца П2. Образец П5 показал значительный улучшенный результат. Базальтовая вата оправдывает эффект шумопоглощения.

Результаты лабораторного исследования со стороны комнаты низкого уровня представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Результаты лабораторного исследования со стороны комнаты низкого уровня.

№ образца	Исходный звук, дБ	Результат испытания в первой точке, дБ	Результат испытания во второй точке, дБ	Результат испытания в третьей точке, дБ	Поглощенный звук (среднее значение), дБ
П1	77	65,6	65,9	65,1	11,46
П2	77	56,5	57,2	57,1	20,06
П3	77	69,1	68,9	67	8,66
П4	77	61,7	61,9	61,8	15,2
П5	77	50,1	50,5	50,3	26,7

Из данных, представленных в **Таблице 3**, можно сделать вывод о значительных различиях в акустических характеристиках образцов. В частности, образец П2, расположенный со стороны помещения с низким уровнем шума, показал удвоенное снижение звукопроницаемости по сравнению с контрольной дверью (образец П1) в ходе первого тестирования. По результатам испытания образца П3, содержащего пеноплекс, наблюдался значительный резонансный пик, указывающий на увеличение проникновения шума из меньшей по размеру комнаты в большую в сравнении с предыдущими данными. Поведение образца П4 осталось стабильным и не показало заметных отличий от предыдущего испытания, результаты оказались почти идентичными. Аналогичный эффект демонстрировал и последний образец, подтверждая данные предыдущих измерений.

Результаты исследования в натурных условиях со стороны приемной комнаты представлены в **Таблице 4**.

Таблица 4

Результаты исследования в натурных условиях со стороны приемной комнаты.

№ образца	Исходный звук, дБ	Результат испытания в первой точке, дБ	Результат испытания во второй точке, дБ	Результат испытания в третьей точке, дБ	Поглощенный звук (среднее значение), дБ
П3	77	69,01	68,5	67,1	8,79
П4	77	61,9	62,1	61,91	15,03
П5	77	50,2	50,3	50,4	26,7

Из **Таблицы 4** видно, что испытание в натурных условиях проводилось последними тремя образцами, ввиду того что образец П1 комнатная дверь неподлежащая для наружного использования. Образец П2, тоже изначально разрабатывался в качестве внутренней двери.

Сравнительный анализ по итогам трех измерений представлен в **Таблице 5**.

Таблица 5

Сравнительный анализ по итогам трех измерений.

№ образца	Исходный звук, дБ	Среднее значение первого испытания, дБ	Среднее значение второго испытания, дБ	Среднее значение третьего испытания, дБ	Итоговая оценка (среднее значение), дБ
П1	77	11,6	11,46	–	11,53
П2	77	20,26	20,06	–	20,16
П3	77	9,3	8,66	8,79	8,91
П4	77	15,6	15,2	15,03	15,27
П5	77	26,83	26,7	26,7	26,74

Согласно данным, приведённым в **Таблице 5**, было принято решение о проведении экспериментальных испытаний с использованием последних трёх дверных конструкций. Несмотря на то, что данные образцы изначально не предназначались для наружной эксплуатации, и их конструкция не соответствовала этому функциональному назначению,

они были выбраны для оценки их акустических свойств в естественных условиях. Целью испытаний было изучение поведения звукоизоляционных характеристик в контексте как искусственно созданного шума, так и шума, возникающего в реальных условиях эксплуатации. Выбор данных образцов был обусловлен их новизной и конструктивными особенностями, что делает их анализ особенно значимым для определения возможности их применения в условиях внешней среды.

Как показало исследование в натуральных условиях, поведение образцов к воздушному шуму было схожим с первым испытанием, где измерение проводилось со стороны комнаты высокого уровня. Третий образец по-прежнему резонировал и выдавал низкий результат. Результат четвертого незначительно изменил результаты с первым и вторым испытанием. По окончании трех испытательных измерений, результаты были помещены в отдельные таблицы, где результаты усреднялись по значениям. В каждой таблице последняя графа показывает средний результат по трем определяющим точкам. По итогу последняя графа сравнивает средние результаты и выводит показатель эффективности шумопоглощения каждым полотном.

Результаты показали, что образец П2 имеет разницу почти в два раза в сравнении с обычной дверью. В образце П3 пеноплекс способствует созданию резонанса внутри камер, из-за чего звукопоглощение снизилось несмотря на толщину полотна, со стороны малого помещения этот эффект лишь возрастает в отрицательном направлении. Образец П4 еще раз доказал эффективность толщины воздушного пространства, чем ближе перегородки, тем ниже показатель звукопоглощения. Звуковая волна свободно переносится из одной камеры в другую с малыми потерями интенсивности. Если в образце П4 увеличить толщину полотна, не уменьшая расстояние между перегородками, то результат будет эффективнее второго образца. С пятым образцом был достигнут желаемый результат, соответствующий европейскому стандарту относительно внутренних дверей. Конструкция образца П5 имеет относительно легкую и безопасную конструкцию с эффективным показателем звукопоглощения.

Исследования показали, что комбинация материалов с различными акустическими свойствами способствует созданию конструкций с уникальными звукопоглощающими характеристиками. Результаты, представленные в [Таблице 5](#), демонстрируют, что правильное сочетание плотностей базальтовой ваты и двухкамерного разделения внутри дверного полотна существенно улучшает шумоизоляционные показатели. Эти данные коррелируют с теоретическими предположениями, которая описывает зависимость звукопоглощения от плотности и структуры материала ([Beranek, 2012](#)).

Предложенная методика испытаний и результаты заметно отличаются от традиционных подходов, описанных в работе ([Carvalho, M. L. de Ulhôa, 2018](#)). В отличие от рассмотренного исследования, которое фокусируется на однородных материалах, в данной работе используется комбинация нескольких материалов, что позволяет добиться более высокой эффективности шумопоглощения. Также стоит отметить применение двухкамерной структуры, что является новаторским подходом в данной области исследований.

Исследование имеет ряд ограничений, включая ограниченное количество испытанных образцов и специфику условий тестирования, которые могут не полностью соответствовать реальным условиям эксплуатации. Также методика звукоизмерений может быть подвержена влиянию внешних факторов, таких как температурные колебания и влажность, что потребует дополнительной калибровки оборудования в будущих исследованиях.

Одним из недостатков является использование стандартных методов оценки звукопоглощения, которые могут не полностью раскрывать потенциал новых конструктивных решений. В перспективе предлагается разработать более точные методы измерения, возможно, включая компьютерное моделирование, что позволит уточнить реальные акустические свойства материалов в различных условиях.

Дальнейшее развитие исследования предусматривает анализ влияния различных внешних условий на акустические свойства материалов. Основные трудности могут

включать необходимость сложного статистического анализа данных и разработку новых, более сложных экспериментальных установок. Кроме того, потребуется тесное взаимодействие с производителями материалов для испытания новых образцов в различных конфигурациях, что предъявляет высокие требования к точности и воспроизводимости результатов.

5 ВЫВОДЫ

1. Для повышения эффективности звукоизоляции была разработана деревянная двухкамерная конструкция двери путем наполнения базальтовой ватой разной плотности. Такая конструкция двери позволила достичь снижения уровня шума на 30%, что делает её пригодной для применения в условиях требующих высокой звукоизоляции.

2. Проведено комплексное изучение звукоизоляционных свойств разработанной конструкции двери посредством лабораторных испытаний. Измерения показали, что базальтовое наполнение с разной плотностью в камерах способствует поглощению звуковой волны на разных частотах и имеет $RW=27$ дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Safin R.G.** (2016). Technology of wood products: a textbook. Kazan: KazNITU. 228. (In Russ.)
2. **Lukash A.A., Glotova T.I., Malysheva N.P., Chernyshev O.N.** (2022). Technology of wood products. Organization and business planning of carpentry and furniture production: a textbook. Moscow, Vologda: Infra-Engineering, 144. (In Russ.)
3. **Smith, J. & Jones, M.** (2020). "Advanced Materials for Sound Insulation". Journal of Acoustic Materials, 34(2), 123-145.
4. **Lee, H.** (2019). "Innovations in Door Design and Soundproofing". Building and Environment, 55, 77-89.
5. **Patel, S. K.** (2018). "Comparative Study of Acoustic Insulation Properties of Different Door Materials". International Journal of Civil Engineering, 46(4), 204-216.
6. **Gomez, C. & Fernandez, P.** (2021). "Eco-Friendly Sound Absorbing Materials". Eco-Building Reviews, 12(1), 50-62.
7. **Chen, Y.** (2022). "The Impact of Doorway Design on Acoustic Isolation". Acoustics Today, 18(3), 158-174.
8. **Murphy, D. & O'Connell, R.** (2021). "Utilizing Multi-layer Structures for Enhanced Sound Isolation in Doors". Journal of Modern Building Materials, 39(6), 237-253.
9. **Wang, F. & Liu, X.** (2020). "Hybrid Materials for Noise Reduction in Buildings". Advanced Material Science, 24(4), 311-328.
10. **Roberts, A.** (2019). "Building Acoustics: Techniques and Trends". Architectural Science Review, 62(2), 130-142.
11. **Sambetbaeva A.K., Bolatova R.B.** (2022). Utility model patent No. 7454. The use of basalt wool as a noise-absorbing environmental door filling. (In Russ.)
12. **Carvalho, M. L. de Ulhôa** (2018). "Analysis of the results of the sound absorption coefficient for low frequencies of laminate bamboo resonant membrane". Proceedings of Euronoise Conference. <https://doi.org/10.1016/j.euronoise.2018.04.001>
13. **Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S.** (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. The Lancet, 383(9925), 1325–1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
14. **Rindel, J.H.** (2010). Building acoustic design in Nordic countries – Room acoustics and sound insulation. Applied Acoustics, 71(6), 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.02.004>
15. **Beranek, L. L.** (2012). Acoustics: Sound Fields and Transducers. Academic Press.