

УДК 699.844:624.012.44

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.231018.79.314

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ МЕЖДУЭТАЖНЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

БАБИЙ И. Н.<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц.,

ГОСТРИК А. Н.<sup>2</sup> асп.,

КАЛЬЧЕНЯ Е. Ю.<sup>3</sup> маг.

<sup>1</sup>Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (048) 7716969, e-mail: igor7617@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

<sup>2</sup>Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (048) 7236151, e-mail: anna.gostryk16@gmail.com

<sup>3</sup>Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (048) 7236151

**Аннотация. Постановка проблемы.** Решается важная проблема выбора рациональных технологических решений устройства звукоизоляции междуэтажных перекрытий в каркасно-монолитном домостроении путем проведения многокритериального анализа. Для этого использовались результаты сравнительного анализа организационно-технологических показателей при устройстве звукоизоляции перекрытий с использованием различных материалов и их конструктивных особенностей. **Цели статьи** - выбор и обоснование конструктивно-технологических решений звукоизоляции перекрытий в каркасно-монолитном домостроении. Для достижения цели определены следующие задачи: исследовать влияние конструктива пола на звукоизолирующие свойства; провести многокритериальный анализ, на основании которого выбрать рациональное технологическое решение устройства звукоизоляции междуэтажных перекрытий в каркасно-монолитном домостроении. Для этого необходимо выбрать материалы и конструктивно-технологические схемы при их устройстве, а также провести сравнительную оценку. **Вывод.** Многокритериальный анализ технологий устройства звукоизоляции перекрытий позволил определить наиболее рациональный вариант согласно единой балльной шкале. Результаты исследований на основании методики многокритериального анализа позволили определить рациональное и эффективное конструктивно-технологическое решение многослойной системы перекрытия на основе материала Isolon 500 – Тип 1.

**Ключевые слова:** звукоизоляция перекрытий; воздушный шум; ударный шум; многокритериальный анализ; многослойная система

## БАГАТОКРИТЕРІЙНИЙ АНАЛІЗ ПІД ЧАС ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ МІЖПОВЕРХОВИХ МОНОЛІТНИХ ПЕРЕКРИТТІВ

БАБИЙ І. М.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,

ГОСТРИК А. М.<sup>2</sup>, асп.,

КАЛЬЧЕНЯ Є. Ю.<sup>3</sup>, маг.

<sup>1</sup>Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 65029, Одеса, Україна, тел. +38(048)7716969, e-mail: igor7617@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

<sup>2</sup>Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (048) 7236151, e-mail: anna.gostryk16@gmail.com

<sup>3</sup>Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (048) 7236151,

**Анотація. Постановка проблеми.** Вирішується важлива проблема вибору раціональних технологічних рішень влаштування звукоізоляції міжповерхових перекриттів у каркасно-монолітному житловому будівництві шляхом проведення багатокритерійного аналізу. Для цього використовувалися результати порівняльного аналізу організаційно-технологічних показників під час влаштування звукоізоляції перекриттів із використанням різних матеріалів і їх конструктивних особливостей. **Мета дослідження** - вибір і обґрунтування конструктивно-технологічних рішень звукоізоляції перекриттів у каркасно-монолітному житловому будівництві. Для досягнення мети визначено такі завдання: дослідити вплив конструктиву підлоги на звукоізолювальні властивості; провести багатокритерійний аналіз, на підставі якого вибрати раціональне технологічне рішення влаштування звукоізоляції міжповерхових перекриттів у каркасно-монолітному житловому будівництві. Для цього необхідно вибрати матеріали і конструктивно-технологічні схеми для їх влаштування, а також провести порівняльне оцінювання. **Висновок.** Багатокритерійний аналіз технологій влаштування звукоізоляції перекриттів дозволив визначити найбільш раціональний варіант згідно з єдиною

бальною шкалою. Результати досліджень на підставі методики багатокритерійного аналізу дозволили визначити раціональне та ефективне конструктивно-технологічне рішення багатопарової системи перекриття на основі матеріалу Isolon 500 - Тип 1.

**Ключові слова:** звукоізоляція перекриттів; повітряний шум; ударний шум; багатокритерійний аналіз; багатопарова система

## MULTIPLE CRITERIA ANALYSIS WHEN CHOOSING THE TECHNOLOGY OF THE SOUND INSULATION DEVICE OF THE MONOLITHIC INTERFLOORING

BABIY I.N.<sup>1</sup>, *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*

GOSTRIK A.N.<sup>2</sup>, *Grad. student*

KAL'CHENYA E.Yu.<sup>3</sup>, *M. S.*

<sup>1</sup>Department of the building construction technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrikhsona str., 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38 (048) 7716969, e-mail: igor7617@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

<sup>2</sup>Department of the building construction technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrikhsona str., 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38 (048) 7236151, e-mail: anna.hostryk16@gmail.com

<sup>3</sup>Department of the building construction technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrikhsona str., 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38 (048) 7236151

**Annotation. Formulation of the problem.** This work is devoted to the solution of an important problem of choosing rational technological solutions for the sound insulation device of interflooring in frame-monolithic house building by conducting multiple criteria analysis. For this purpose, we used the results of a comparative analysis of organizational and technological indicators for the sound insulations of floors using various materials and their design features. **Goals and targets.** The purpose of this work is the selection and justification of structural and technological solutions for sound insulation of floors in frame-monolithic housing construction. For achieving this goal, the following tasks are defined: to investigate the influence of the floor constructive on the sound-insulation values; to conduct a multiple criteria analysis, on the basis of which to choose a rational technological solution for the sound insulation device of interflooring in frame-monolithic housing construction. For achieving this, it is necessary to choose materials and constructive-technological schemes for their device, as well as to conduct a comparative evaluation. **Conclusion.** Multiple criteria analysis of the sound insulation technology of floors allowed to determine the most rational option, according to a single rating scale. The results of the studies on the basis of the multiple criteria analysis methodology allowed us to determine the rational and effective structural and technological solution of the multilayer overlap system based on the Isolon 500 material of the first type.

**Keywords:** sound insulation of floors; air noise; impact noise; multiple criteria analysis; multilayer system

**Постановка проблеми.** Работа посвящена решению важной проблемы выбора рациональных технологических решений устройства звукоизоляции междуэтажных перекрытий в каркасно-монолитном домостроении путем проведения многокритериального анализа. Для этого использовались результаты сравнительного анализа организационно-технологических показателей при устройстве звукоизоляции перекрытий с использованием различных материалов и их конструктивных особенностей.

**Анализ публикаций.** В процессе возрастания требований к увеличению конкурентоспособности помещений жилого и делового назначения, расположенных как во вновь строящихся, так и в ранее построенных зданиях, все больше места занимает проблема междуэтажной звукоизоляции перекрытий. В особенности

это относится к новым жилым домам со свободной планировкой, офисным помещениям, расположенным на их первых этажах, а также к офисно-деловым центрам.

В лучшем случае, стяжку на этапе строительства делают только в местах общего пользования, оставляя площади жилых и офисных помещений для отделки, в том числе и изготовления стяжки, самим жильцам и арендаторам, вследствие чего на некоторых этажах звукоизоляция может вообще не выполняться или выполняться с нарушениями [1]. На этапе строительства опасность устройства неправильной изоляции ударного шума гораздо меньше.

Поэтому комплексное решение вопроса производства звукоизолирующей стяжки по всем площадям строительства в целом значительно упрощает создание комфорта в жилых и офисных помещениях, что в немалой степени может

способствовать увеличению конкурентоспособности помещений жилого и делового назначения [2; 3].

Однако далеко не всегда эти проекты эффективны, потому что не до конца исследованы все возможности по оптимизации как в организации проектов, так и при выборе технологических решений [4].

Шум, проникающий из соседних по вертикали помещений, бывает воздушным, ударным и структурным [5]. Конструкция пола, расположенного над перекрытием, мало влияет на общую величину звукоизоляции. Здесь, прежде всего, важна величина общей массивности  $1 \text{ м}^2$  перекрытия с полом, и если она больше  $350 \text{ кг/м}^2$ , требуемая звукоизоляция воздушного шума в целом обеспечивается. Для изоляции ударного шума также важна массивность перекрытия, но для обеспечения нормативов она должна быть в несколько раз больше, чем для нормативов по воздушному шуму, что ни технически, ни экономически крайне нерационально. Для изоляции ударного шума более эффективно использование специальных конструкций пола [5; 6].

**Цели и задачи.** Целью данной работы является выбор и обоснование конструктивно-технологических решений звукоизоляции перекрытий в каркасно-монолитном домостроении.

Для достижения цели определены следующие задачи:

- исследовать влияние конструктива пола на звукоизолирующие свойства;
- провести многокритериальный анализ, на основании которого выбрать рациональное технологическое решение устройства звукоизоляции междуэтажных перекрытий в каркасно-монолитном домостроении. Для этого необходимо выбрать материалы и конструктивно-технологические схемы при их устройстве, а также провести сравнительную оценку.

**Изложение материала.** Известно [7; 8], что в перекрытиях эффективность защиты от воздушных шумов во многом зависит от массы материала конструкции на

единицу ее площади, т.е. необходимый уровень изоляции от воздушных шумов достигается конструкцией самого монолитного железобетонного перекрытия. Напротив, решить проблему изоляции от ударных и структурных шумов самым монолитным перекрытием или способом его утолщения не представляется возможным. Это конструктивно-технологическое решение может спровоцировать значительные материалоемкость и материальные затраты, а также привести к значительным нагрузкам на фундаменты и основания. Поэтому для изоляции от ударного и структурного шума необходим поиск более эффективных конструктивно-технологических решений перекрытий и пола.

Исследования проводились в натуральных условиях в помещениях построенного здания между вторым и третьим этажом, в которых полы устроены без финишной отделки с несколькими различными конструктивно-технологическими решениями на основе следующих материалов:

- рулонный материал «Акуфлекс», основу которого составляют специально обработанные полиэфирные волокна, разработанные в соответствии актуальным требованиям по акустике помещений и служащие для поглощения ударного шума. Материал используется в качестве звукоизолирующей подложки в конструкциях плавающих полов, которая является слоем между стяжкой и финишным напольным покрытием (линолеум, ламинат, паркет). Кроме этого, Акуфлекс может служить упругим слоем под выравнивающей стяжкой для дополнительной изоляции от ударного шума;

- эластичный закрытоячеистый пенополиэтилен со сшитой молекулярной структурой Isolon 500, представленный в широком диапазоне толщин (0,8-50 мм) и плотностей (от 25 до  $20 \text{ кг/м}^3$ ), обладающий уникальным сочетанием физических и химических свойств. Преимущества Isolon 500 перед традиционно используемыми

минераловатными плитами, пенополистиролом, экструдированным полистиролом, пенополиуретаном, мягкими древесно-волокнистыми плитами и другими, заключаются прежде всего в необходимой толщине материала, в экологической чистоте и сохранении стабильности всех основных эксплуатационных свойств (теплоизоляционных и акустических показателей, влагостойкости и гидрофобности, упругости и эластичности) на длительный период при различных условиях эксплуатации;

- шумоизоляционный слой на основе материала Gum-Gum Spray. Используют для звукоизоляции от ударных шумов. Перемешивание двух компонентов изоляционного материала, а именно гранул каучука SBR с контролируемым размером зерна и полимерного связующего, выполняется непосредственно на строительной площадке. Готовая смесь наносится на поверхность основания напылением толщиной до 5-7 мм. Особенностью такого напыления является то, что на поверхности создается сплошной звукоизоляционный контур.

Таким образом, были устроены следующие конструктивно-технологические схемы полов, а именно: Тип 1 (76 мм – ц/п стяжка М 150, пленка PE, 8 мм – подложка Isolon 500 (1 слой 4 мм), 180 мм – ж/б плита); Тип 2 (75 мм – ц/п стяжка М 150, пленка PE, 6-8 мм – Gum-Gum Spray, 180 мм – ж/б плита; Тип 3(70 мм – ц/п стяжка М 150, 10 мм – подложка Акуфлекс, 180 мм – ж/б плита)

Согласно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» междуэтажное перекрытие должно иметь индекс изоляции воздушного шума  $R_w \geq 52$  дБ, а индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием  $L_{nw} \leq 55$  дБ.

Измерение звукоизоляции приведенного ударного шума состоит из следующих этапов: подготовка к испытаниям помещений; измерение уровней ударного и воздушного шума под

перекрытием при создании на нем ударных воздействий; обработка результатов измерений.

Создание воздушных шумов в помещениях с устроенными конструкциями полов производилось с помощью всенаправленного источника звука OED-SP360 со штативом TRP005R. В свою очередь, имитация ударного шума производилась с помощью ударной машины УМ-10. Измерение шумов выполняли с помощью шумомера Экофизика-110А.

Исследования проводились в несколько этапов. На первом этапе были определены показатели индекса приведенного ударного и воздушных шумов. Установлено, что конструктивно-технологические решения полов перекрытий на основе исследуемых материалов имеют практически одинаковые показатели. При этом необходимо отметить, наименьшим индексом звукоизоляции от ударных шумов характеризуется система пола на основе материала Isolon 500 (равна 46 дБ, рис. 1). Получив данные показатели, представляло интерес выбрать рациональную схему устройства междуэтажных перекрытий.

На следующем этапе выбраны критерии сравнения выбранных инноваций методов звукоизоляции междуэтажных перекрытий. Произведена качественная и количественная оценка технологических альтернатив (табл. 1).

Критерии выбора имеют многоуровневый подход, который предполагает решение многочисленных задач: технических, технологических, эксплуатационных, экономических и экологических.

Следующим этапом по методике многокритериального анализа является получение аналитической зависимости, отражающей степень влияния весомости критериев на рациональный выбор технологического решения [3].

Сравнение выбранных технологий устройства звукоизоляции перекрытий по приведенным критериям осуществляется с помощью диаграмм. Натуральные значения критериев (табл. 4.3.) переводятся в баллы

от 1 до 5, где худшим и лучшим значениям присвоены баллы 1 и 5 соответственно. Остальные баллы подсчитаны с помощью

интерполяции. Технологии, критерии и присвоенные им баллы представлены в таблице 2.

Таблица 1

**Критерии сравнения выбранных инноваций в натуральных величинах**

Технология	Критерий оценки	Подложка Isolon 500	Подложка Акуфлекс	Gum-Gum Spray
1	Трудоёмкость производства работ, чел.-см	148	159	246
2	Требуемая квалификация рабочих ср.разряд	3,2	3,5	4,5
3	Индекс приведенного ударного шума, дБ	46	52	58
4	Индекс изоляции воздушного шума, дБ	51	52	51
5	Горючесть материала	Самозатухающий	Самозатухающий	НГ (не горючий)
6	Сопротивление теплопередачи, Вт/(м*К)	0,036	0,036	5,20
7	Срок службы, лет*	90	80	50

\* - по данным производителя

Таблица 2

**Критерии сравнения выбранных инноваций в баллах (максимальный балл – 5)**

Технология/ критерий	Трудоёмкость производства работ	Требуемая квалификация рабочих	Индекс приведенного ударного шума	Индекс изоляции воздушного шума	Горючесть	Сопротивление теплопередачи
Подложка Isolon 500	5	5	5	4,9	4	5
Подложка Акуфлекс	4,4	4,7	4,8	5	4	5
Gum-Gum Spray	3,8	3,5	3,8	4,9	5	4,2

Анализ данных таблицы 2 позволил установить, что устройство звукоизоляции с применением Gum-Gum Spray по выбранным критериям качества имеет наихудшие показатели. При этом следует отметить его значительную стоимость по сравнению с другими рассматриваемыми материалами.

**Выводы** 1. Многокритериальный анализ технологий устройства звукоизоляции перекрытий позволил определить наиболее рациональный вариант согласно единой балльной шкале.

2. Результаты исследований на основании методики многокритериального анализа позволили определить конструктивно-технологическое решение многослойной системы перекрытия на основе материала Isolon 500 – Тип 1.

3. Звукоизоляция перекрытий каркасно-монолитных домов позволила повысить индекс изоляции воздушного шума от 2,23 раза, а индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием в 1,8 раза.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салтыков И. П. Теоретические аспекты суммарного влияния воздушного и ударного шума на звукоизоляцию междуэтажных перекрытий жилых зданий / И. П. Салтыков // Вестник МГСУ. – 2012. – № 10. – С. 45–50.
2. Дідковський В. С. Оцінка ізоляції повітряного шуму огорожувальних конструкцій в розширеному діапазоні частот / В. С. Дідковський, В. П. Засць, Н. О. Самійленко // Електроника и связь. Тематический вып. «Электроника и нанотехнологии». – 2011. – № 1 (60). – С. 164–168.
3. Бабий И. Н. Использование новых энергосберегающих технологий в проектируемой бизнес-гостинице «Аэропорт» / И. Н. Бабий, О. Ю. Багмет, Р. А. Яковенко // Будівельне виробництво : міжвідом. наук.-техн. зб. (техн. науки) / Н.-д. ін-т буд. вир-ва. – Київ, 2017. – № 62/1. – С. 64–70.
4. Менейлюк А. И. Выбор эффективных организационно-технологических решений возведения жилых зданий / А. И. Менейлюк, И. С. Чернов // Будівельне виробництво : міжвідом. наук.-техн. зб. (техн. науки) / Н.-д. ін-т буд. вир-ва. – Київ, 2012. – № 53 – С. 93–97.
5. Целлер В. Техника борьбы с шумом / В. Целлер ; пер. с фр. И. Ю. Эрдели ; под ред. С. П. Алексеева. – Москва : Гос. изд-во лит. по стр-ву, архитектуре и строит. материалам, 1958. – 410 с.
6. Сенан А. М. К оценке звукоизоляции междуэтажных перекрытий / А. М. Сенан // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2006. – Спецвыпуск. – С. 151–153.
7. Звукоизоляция и звукопоглощение : учеб. пос. для студ. вузов / Л. Г. Осипов, В. Н. Бобылев, Л. А. Борисов [и др.] ; под ред. Г. Л. Осипова, В. Н. Бобылева. – Москва : АСТ ; Астрель, 2004. – 450 с.
8. Иванова Н. В. Социальная эффективность акустической комфортности жилья / Н. В. Иванова // Вісник Харківського художньо-промислового інституту. – 1999. – Вип. 1. – Харків : ХХПІ. – С. 324–326.

## REFERENCES

1. Saltykov I.P. *Teoreticheskiye aspekty summarnogo vliyaniya vozdušnogo i udarnogo shuma na zvukoizolyatsiyu mezhduezhnykh perekrytiy zhilykh zdaniy* [Theoretical aspects of the total impact of airborne and impact noise on the noise insulation of residential interflooring buildings]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering], 2012, no 10, pp. 45–50. (in Russian).
2. Didkovskiy V.S., Zaiets V.P. and Samiilenko N.O. *Otsinka izolyatsii povitriyanogo shumu ogorodzhivalnykh konstrukttsii v rozshirenomu diapazoni chastot* [Assessment of the airborne noise isolation of enclosing structures in the extended frequency range]. *Elektronika i svyaz'. Tematicheskyy vyp. «Elektronika i nanotekhnologii»* [Electronics and communication. The thematic iss. "Electronics and Nanotechnology"], 2011, no 1(60), pp. 164–168. (in Ukrainian).
3. Babiy I.N., Bagmet O.Yu. and Yakovenko R.A. *Ispol'zovaniye novykh energosberegayushchikh tekhnologiy v proyektiruyemoy biznes-gostinitse «Aeroport»* [The use of new energy-saving technologies in the projected business hotel "Airport"]. *Budivelnne vyrobnytstvo : mizhvidom. nauk.-tekh. zb. (tekh. nauky)* [Construction industry: interdepartmental scientific and technical collection (technical sciences)], Kyiv, 2017, no 62/1, pp. 64–70. (in Russian).
4. Meneilyuk A.I., Chernov I.S. *Vybor effektivnykh organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy vozvedeniya zhilykh zdaniy* [The choice of effective organizational and technological solutions for the construction of residential buildings]. *Budivelnne vyrobnytstvo : mizhvidom. nauk.-tekh. zb. (tekh. nauky)* [Construction industry: interdepartmental scientific and technical collection (technical sciences)], Kyiv, 2012, no 53, pp. 93–97. (in Russian).
5. Tseller V. *Tekhnika bor'by s shumom* [The technique of dealing with noise], ed. S.P. Alekseeva, transl. from French by I.Yu. Erdeli. Moscow : Gos. izd-vo lit. po str-vu, arkhitekture i stroit.materialam Publ., 1958, 410 p.
6. Senan A.M. *K otsenke zvukoizolyatsii mezhduezhnykh perekrytiy* [To the evaluation of sound insulation of interflooring]. *Ekologicheskyy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation]. Spetsvypusk, 2006, pp. 151–153. (in Russian).
7. Osipov L.G., Bobylev V.N., Borisov L.A. et al. *Zvukoizolyatsiya i zvukopogloshcheniye* [Sound insulation and sound absorption] ; ed. L.G. Osipova, V.N. Bobyleva. Moscow : AST ; Astrel' Publ., 2004, 450 p.
8. Ivanova N.V. *Sotsial'naya effektivnost' akusticheskoy komfortnosti zhil'ya* [Social effectiveness of housing acoustic comfort]. *Visnyk Kharkivskogo khudozhno-promyslovogo instytutu* [The Bulletin of the Kharkiv State Academy of Design and Arts]. Kharkiv : Kharkivskiyi khudozhno-promyslovyi instytut Publ., 1999, iss. 1, pp. 324–326. (in Russian).

Рецензент: Шпірко М. В., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 11.08.2018 р.