

Список цитированных источников

1. Государственная программа по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017-2020 гг. [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Республики Беларусь 18.09.2017№699 // сайт Совета Министров Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www/government.by/rusolutions/3002>. – Дата доступа 04.05.2020.

2. Мосты автодорожные. Правила выполнения диагностики = Мосты аўтадарожныя. Правілы выканання дыягностыкі : ТКП 227-2018 (33200). – Введ. 01.06.2018 (с отменой на территории РБ – ТКП 227-2009 (02191). Минск : Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, 2018. – 114 с.

3. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний = Мосты і трубы. Правілы абследавання і выпрабавання : ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). – Введ. 18.09.2009. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 29 с.

УДК 699.844:692.526

Дьякончук О. С., Головейко И. В.

Научный руководитель: Лапина А. И.

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Целью научной работы является обращение внимания на важность такой темы как звукоизоляция деревянных перекрытий. Несмотря на то, что деревянные дома строят уже многие тысячи лет, этот материал до сих пор не исчерпал свой потенциал. Микроклимат, свойственный только домам из дерева, делает их наилучшим вариантом для жизни человека. Но дерево имеет и ряд недостатков или, точнее, эксплуатационных особенностей, мириться с которыми соглашаются не все. И один из таких недостатков – это шум.

Шум – это всякий неприятный, нежелательный звук или совокупность звуков, мешающих восприятию полезных сигналов и нарушающих тишину, оказывающих вредное или раздражающее воздействие на организм человека, снижающих его работоспособность. Шум представляет собой механические колебания волновой природы [1, с. 2]. Шум бывает:

- Воздушный – шум, распространяющийся в воздухе;
- Структурный – шум, распространяющийся в твердых телах (конструкциях), и излучаемый ими в воздух [2, с. 2].;
- Ударный – шум, возникающий в помещении под перекрытием при воздействии звуковых волн на перекрытие [2, с. 2].

Преимущества деревянных перекрытий:

- Минимальная стоимость;
- Нагрузка на стены в 2-3 раза меньше, чем от панелей;
- На небольших пролетах (до 4 метров) деревянные балки можно укладывать вручную, используя простейшие приспособления (лебедку или подъемный блок);

• Низкая трудоемкость и высокая скорость работ (по сравнению с заливкой монолитного ж/б перекрытия);

- Экологичность.

Недостатки деревянных перекрытий:

• Повышенная деформативность. Проявляется в эффекте вибрирования при хождении и образовании трещин в местах примыкания перегородок из гипсокартона;

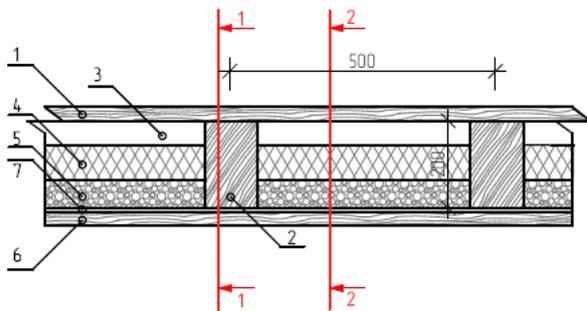
- Низкая огнестойкость (без специальной пропитки);

- Относительно небольшая длина (не превышает 6 метров).
- Плохая звукоизоляция по сравнению с бетонными конструкциями вследствие небольшой массы.

Чтобы как можно лучше защитить помещение от шума, следует использовать так называемые плавающие полы с максимально возможным весом. Это могут быть большого размера деревянные элементы или древесные плиты (например, ламинированные доски или клееные доски). Необходимо обратить внимание на тщательную изоляцию плавающего пола у стен, что может привести в некоторых случаях к прохождению звука.

Основным нормативным документом, регламентирующим звукоизоляционные свойства строительных конструкций, является ТКП 45-2.04-154-2009 (02250) «Защита от шума. Строительные нормы проектирования». Примеры звукоизоляции деревянного перекрытия можно также рассмотреть подробно в книге Вальтера Блэзи «Справочник проектировщика-строительная физика» [3]. Некоторые из них приведены на рисунке 1.

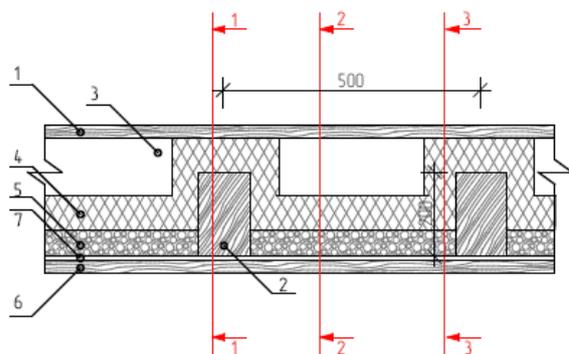
а)



25
50
50
100
25

а) 1-й вариант конструкции толщиной 250 мм,

б)



25
50
50
100
50
25

б) 2-й вариант конструкции толщиной 300 мм,

в) 3-й вариант конструкции толщиной 350 мм,

1 – паркет из сосны,

2 – балка из сосны 100x200(h),

3 – воздушная прослойка,

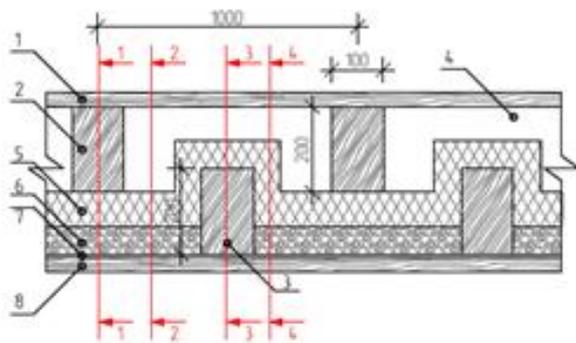
4 – минеральная вата,

5 – засыпка из песка,

6 – подшивка из сосновых досок,

7 – полиэтилен

в)



25
50
50
200
25

Рисунок 1 – Конструкция деревянного перекрытия

Для перекрытий наиболее актуальным является защита от ударного шума. Выполним необходимые расчеты для трех деревянных перекрытий с целью

определения наиболее эффективно изолирующего (рис. 1) по ТКП 45-2.04-154-2009 (02250) «Защита от шума. Строительные нормы проектирования» [1]. За основной звукоизоляционный материал возьмем минеральную вату $\rho = 60$ кг/м³ – 50мм и утяжеляющий материал - песок $\rho = 1500$ кг/м³ – 50мм для всех трех конструкций, шаг деревянный балок – 500 мм

Рассчитываем 1-й вариант конструкции деревянного перекрытия (рис. 1а).

Сечение 1-1.

Определяем индекс изоляции приведённого ударного шума по формуле [1, с. 22]:

$$L_{nw} = 135 - 10 \lg(\rho^{1.5} E^{0.5} h^3 \eta), \quad (1)$$

где ρ – плотность материала, E – модуль упругости Юнга, h – толщина конструкции, η – коэффициент потерь энергии.

Индекс ударного шума равен:

$$L_{nw1-1} = 135 - 10 \lg(500^{1.5} \cdot (11.7 \cdot 10^9)^{0.5} \cdot 0.25^3 \cdot 0.08) = 73.2 \text{ дБ}, \quad (2)$$

Сечение 2-2.

Определяем коэффициент жесткости минеральной ваты по формуле [1, с. 23]:

$$k_1 = \frac{E_{дин}}{d} = \frac{1.3 \cdot 10^5}{0.05} = 2.6 \cdot 10^6 \text{ Па}, \quad (3)$$

где $E_{дин}$ – динамический модуль упругости прослойки, d – толщина упругой прослойки.

Определяем коэффициент жесткости воздушной прослойки по формуле [1, с. 23]:

$$k_2 = \frac{E_{дин}}{d} = \frac{1.4 \cdot 10^5}{0.1} = 1.4 \cdot 10^6 \text{ Па}, \quad (4)$$

где $E_{дин}$ – динамический модуль упругости воздуха, d – толщина упругой прослойки.

Определяем коэффициент жесткости упругой прослойки:

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} = \frac{2.6 \cdot 10^6 \cdot 1.4 \cdot 10^6}{2.6 \cdot 10^6 + 1.4 \cdot 10^6} = 9.1 \cdot 10^5 \text{ Па}, \quad (5)$$

где k_1 – коэффициент жесткости минеральной ваты, k_2 – коэффициент жесткости воздушной прослойки.

Определяем поверхностную плотность упругого слоя [1, с. 4]:

$$m_0 = h \cdot \rho = 0.05 \cdot 60 = 3.00 \text{ кг/м}^2, \quad (6)$$

где ρ – плотность минеральной ваты, h – толщина минеральной ваты.

Определяем поверхностную плотность пола [1, с. 4]:

$$m_2 = h \cdot \rho = 0.025 \cdot 500 = 12.5 \text{ кг/м}^2, \quad (7)$$

где ρ – плотность сосны, h – толщина паркетной доски.

Определяем поверхностную плотность несущей части [1, с. 4]:

$$m_1 = h_1 \cdot \rho_1 + h_2 \cdot \rho_2 = 0.025 \cdot 500 + 0.05 \cdot 1500 = 87.5 \text{ кг/м}^2, \quad (8)$$

где ρ_1 – плотность сосны, ρ_2 – плотность песка, h_1 – толщина подшивки, h_2 – толщина засыпки.

Фактическое снижение уровня ударного шума полом на упругом основании зависит прежде всего от частоты собственных колебаний пола [1, с. 24]:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_2}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{0.9 \cdot 10^5}{12.5}} = 47,1 \text{ Гц}, \quad (9)$$

где k – жёсткость упругого слоя, m_2 – поверхностная плотность пола.

Определяем коэффициент соотношения поверхностную плотностей [1, с. 25]:

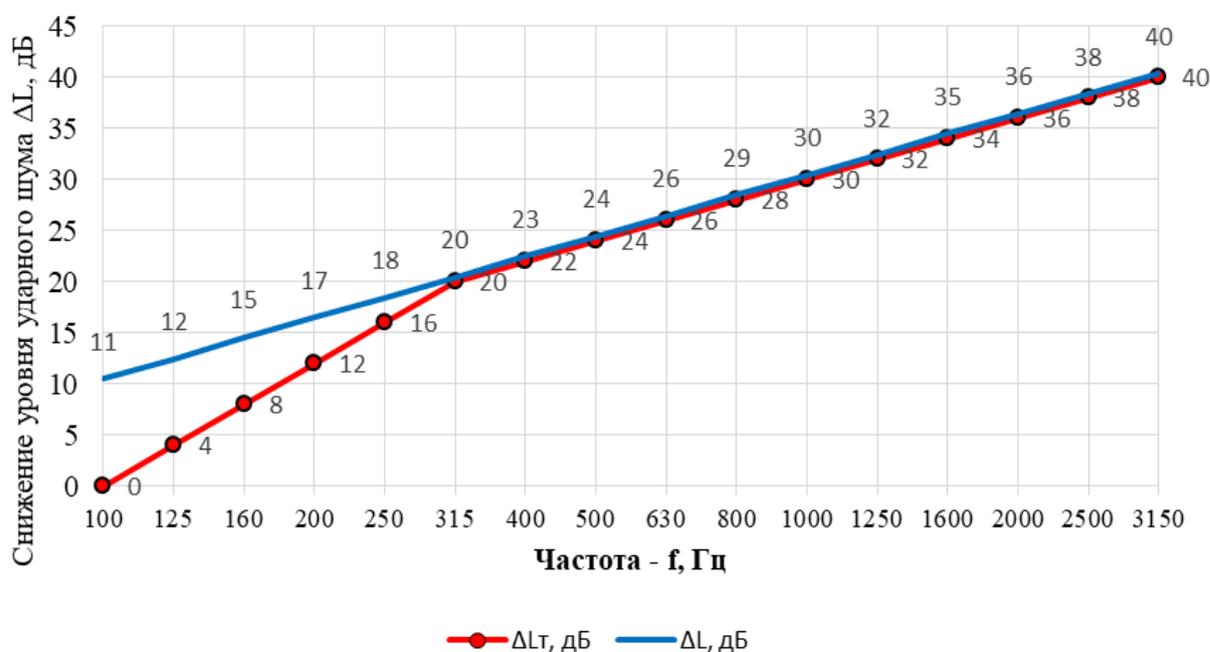
$$\lambda = \frac{m_1}{m_2} = \frac{87,5}{12,5} = 7, \quad (10)$$

где ρ_1 – плотность воздуха, ρ_2 – плотность минеральной ваты, h_1 – толщина воздуха, h_2 – толщина минеральной ваты.

Начиная со средних частот, в упругой прослойке возникают явления волновых совпадений, что снижает рост звукоизоляции с 12 до 6 дБ на октаву. Для определения точки изменения роста звукоизоляции на частоте резонанса откладывают ординату [1, с. 63]:

$$l = 10 \lg \frac{m_2}{m_0} - 3 = 10 \lg \frac{12,5}{3} - 3 = 3,23 \text{ дБ}, \quad (11)$$

Строим частотную характеристику фактического и требуемого снижения уровня ударного шума в соответствии с требованиями [1] (рис. 2)



ΔL – фактическое снижение уровня ударного шума,
 ΔL_t – требуемое снижение уровня ударного шума

Рисунок 2 – Определение индекса звукоизоляции ударного шума (рис 1а сечение 2-2)

Определяем неблагоприятное отклонение фактической кривой снижения уровня ударного шума от требуемой на каждой третьоктавной частоте по формуле:

$$\delta_i = \Delta L_T + \Delta - \Delta L \geq 0, \quad (12)$$

где ΔL_T – ордината кривой требуемого снижения уровня ударного шума на данной частоте, ΔL – ордината кривой фактического снижения уровня ударного шума на данной частоте, Δ – смещение кривой требуемого снижения уровня ударного шума.

Необходимое смещение кривой требуемого уровня ударного шума определяем из условия, чтобы среднее неблагоприятное отклонение не превышало 2дБ. Результаты расчетов сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Определение среднего неблагоприятного при $\Delta=3$ для конструкции 1

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| f, | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 31 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 |
| | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ΔL_T | 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 |
| ΔL | 11 | 12 | 15 | 17 | 18 | 20 | 23 | 24 | 26 | 29 | 30 | 32 | 35 | 36 | 38 | 40 |
| δ_i | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |

$$\sum \delta_i / 16 = 1.79 < 2$$

Индекс звукоизоляции от ударного шума определяем по формуле: [2, с. 19]:

$$L_{nw2-2} = 60 - \Delta = 60 - 3 = 57 \text{дБ}, \quad (13)$$

Общий индекс звукоизоляции от ударного шума 1-го варианта конструкции L_1 вычисляется по формуле [1, с. 20]:

$$L_1 = L_{nw1-1} - 10 \lg \left(1 + \frac{S_{1-1}}{S_{1-1} + S_{2-2}} \cdot (10^{0.1(L_{1-1} - L_{2-2})} - 1) \right), \quad (14)$$

где L_{1-1} – индекс звукоизоляции ударного шума по сечению 1-1, L_{2-2} – индекс звукоизоляции ударного шума по сечению 2-2, S_{1-1} – площадь по сечению 1-1, S_{2-2} – площадь по сечению 2-2.

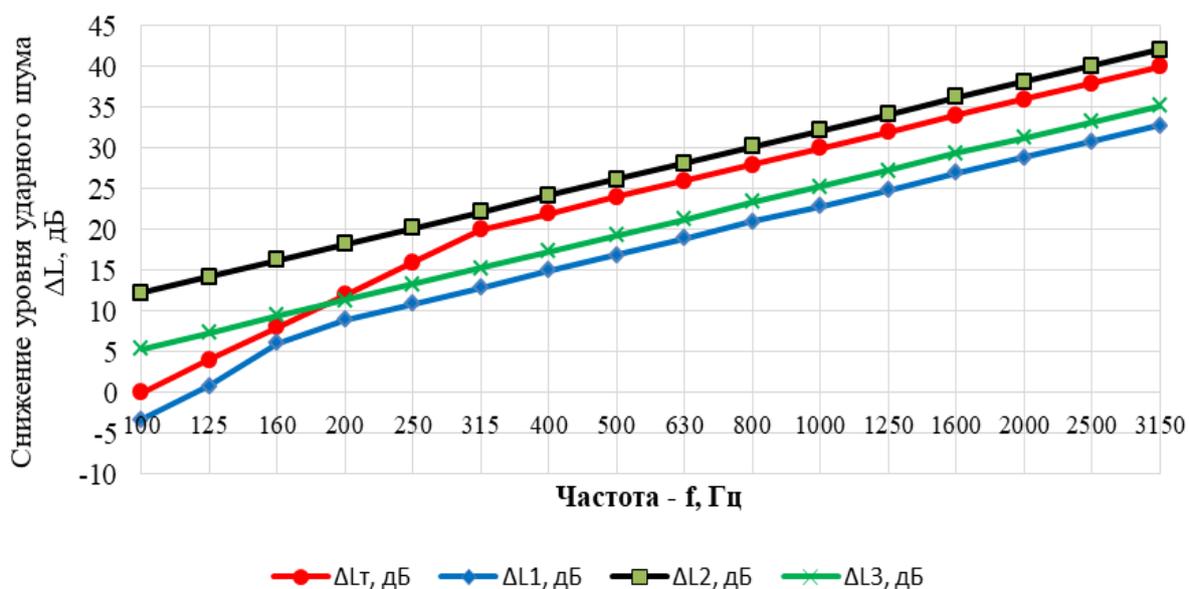
$$L_1 = 73,2 - 10 \lg \left(1 + \frac{0.1 \cdot 0.2}{0.1 \cdot 0.2 + 0.4 \cdot 0.2} \cdot (10^{0.1(73,2 - 57)} - 1) \right) = 58 \text{дБ}, \quad (15)$$

Рассчитываем 2 вариант конструкции деревянного перекрытия (рис. 16).

Расчет ведем аналогичным образом, результаты сводим в таблицу 2. Частотные характеристики снижения звукоизоляции от ударного шума для всех сечений конструкции представлены на рисунке 3.

Таблица 2 – Расчет 2-го варианта конструкции деревянного перекрытия

| Сечение | k, Па/м | m_0 , кг/м ² | $m_{1,2}$, кг/м ² | $m_{2,2}$, кг/м ² | f, Гц | λ | L, дБ | Δ , дБ | L_{nw} , дБ |
|---------|---------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-----------|-------|---------------|---------------|
| 1-1 | 5,2E+06 | 3 | 112,5 | 12,5 | 102,7 | 9 | 3,20 | -5 | 65 |
| 2-2 | 6,1E+05 | 3 | 87,5 | 12,5 | 35,2 | 7 | 3,20 | 5 | 55 |
| 3-3 | 7,4E+05 | 12 | 87,5 | 12,5 | 38,8 | 7 | -2,82 | -2 | 62 |



ΔL_1 – фактическое снижение уровня ударного шума в сечении 1-1,
 ΔL_2 – фактическое снижение уровня ударного шума в сечении 2-2,
 ΔL_3 – фактическое снижение уровня ударного шума в сечении 3-3,
 ΔL_t – требуемое снижение уровня ударного шума,

Рисунок 3 - Определение индекса звукоизоляции ударного шума (рис. 1б)

Общий индекс звукоизоляции от ударного шума для сечений 1-1 и 2-2 2-го варианта конструкции:

$$L_{12} = 65 - 10 \lg \left(1 + \frac{0.1 \cdot 0.2}{0.1 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.2} \cdot (10^{0.1(65-55)} - 1) \right) = 56 \text{ дБ}, \quad (16)$$

Общий индекс звукоизоляции от ударного шума 2-го варианта конструкции:

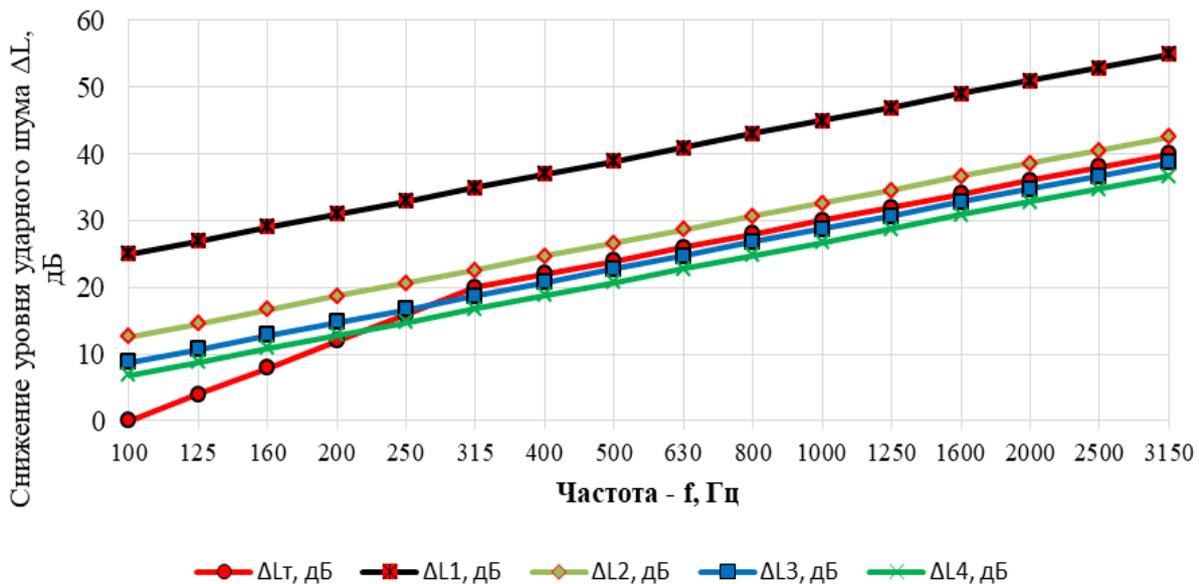
$$L_2 = 62 - 10 \lg \left(1 + \frac{0.1 \cdot 0.2}{0.1 \cdot 0.2 + 0.1 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.2} \cdot (10^{0.1(62-56)} - 1) \right) = 57 \text{ дБ}, \quad (17)$$

Рассчитываем 3 вариант конструкции деревянного перекрытия (рис.1в)

Расчет ведем аналогичным образом, результаты сводим в таблицу 3. Частотные характеристики снижения звукоизоляции от ударного шума для всех сечений конструкции представлены на рисунке 4.

Таблица 3 – Расчет 3-го варианта конструкции деревянного перекрытия

| Сечение | k, Па/м | $m_{0,2}$, кг/м ² | $m_{1,2}$, кг/м ² | $m_{2,2}$, кг/м ² | f, Гц | λ | L, дБ | Δ , дБ | L_{nw} , дБ |
|---------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-----------|-------|---------------|---------------|
| 1-1 | 2,6E+06 | 3 | 87,5 | 112,5 | 24,2 | 0,78 | 12,74 | 17 | 43 |
| 2-2 | 5,5E+05 | 3 | 87,5 | 12,5 | 33,4 | 7 | 3,20 | 5 | 55 |
| 3-3 | 1,3E+06 | 3 | 112,5 | 12,5 | 52,3 | 9 | 3,20 | 1 | 59 |
| 4-4 | 5,3E+05 | 12 | 87,5 | 12,5 | 32,7 | 7 | -2,82 | -1 | 61 |



ΔL_1 – фактическое снижение уровня ударного шума в сечении 1-1,
 ΔL_2 – фактическое снижение уровня ударного шума в сечении 2-2,
 ΔL_3 – фактическое снижение уровня ударного шума в сечении 3-3,
 ΔL_4 – фактическое снижение уровня ударного шума в сечении 4-4,
 ΔL_t – требуемое снижение уровня ударного шума

Рисунок 4 – Определение индекса звукоизоляции ударного шума (рис. 1в)

Общий индекс звукоизоляции от ударного шума для сечений 1-1 и 2-2 3-го варианта конструкции:

$$L_{12} = 55 - 10 \lg \left(1 + \frac{0.1 \cdot 0.2}{0.1 \cdot 0.2 + 0.7 \cdot 0.2} \cdot (10^{0.1(55-43)} - 1) \right) = 50 \text{ дБ}, \quad (18)$$

Общий индекс звукоизоляции от ударного шума для сечений 3-3 и 4-4 3-го варианта конструкции:

$$L_{34} = 61 - 10 \lg \left(1 + \frac{0.1 \cdot 0.2}{0.1 \cdot 0.2 + 0.1 \cdot 0.2} \cdot (10^{0.1(61-59)} - 1) \right) = 60 \text{ дБ}, \quad (19)$$

Общий индекс звукоизоляции от ударного шума 3-го варианта конструкции:

$$L_3 = 60 - 10 \lg \left(1 + \frac{0.2 \cdot 0.2}{0.2 \cdot 0.2 + 0.8 \cdot 0.2} \cdot (10^{0.1(60-50)} - 1) \right) = 51 \text{ дБ}, \quad (20)$$

Вывод: Расчеты трех вариантов конструкций деревянных перекрытий на звукоизоляцию ударного шума показали, что 3-й вариант наиболее эффективен, так как его индекс изоляции ударного шума составляет 51 дБ, что на 12 % ниже, чем у наиболее распространенных конструкции (вариант 1).

Список цитированных источников

1. Защита от шума. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-154-2009 (02250). – Введ. 14.10.2009. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 78 с.
2. Конструкции здания и сооружения. Правила проектирования звукоизоляции и звукопоглощения: ТКП 45-2.04-127-2009 (02250). – Введ. 14.10.2009. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 39 с.
3. Вальтера Блэзи. Справочник проектировщика. Строительная физика. Москва: Техносфера, 2019. – 480 с.