

Пожарная и промышленная безопасность (05.26.03, технические науки)

Научная статья
УДК 624.13
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.35.47.001

Пожарная безопасность несущей звукозащитной деревянной CLT панели

Сергей Петрович Амельчугов^{1,2}
Игорь Владимирович Тарасов¹
Роман Геннадьевич Шубкин²
Дмитрий Владимирович Иванов²
Михаил Александрович Никулин³

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

³Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

Автор ответственный за переписку: Шубкин Роман Геннадьевич, rshubkin@yandex.ru

Аннотация. В статье представлено исследование пожарной безопасности звукозащитной деревянной CLT панели, сконструированной на ранее не применявшихся для строительных конструкций физических принципах, рассмотрено влияние звуковых полостей на распространение горения и процесс обугливания, сделано предложение о необходимости учета при конструировании снижения несущей способности при пожаре звукозащитной деревянной CLT панели.

Ключевые слова: толщина обугливания, несущие конструкции, звуковой импеданс, звуковое давление, воздушные полости.

Для цитирования: Амельчугов С.П., Тарасов И.В., Шубкин Р.Г., Иванов Д.В., Никулин М.А. Пожарная безопасность несущей звукозащитной деревянной CLT панели // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 9-14.

Fire and Industrial Safety

FIRE SAFETY OF THE SOUNDPROOF WOODEN CLT PANEL CARRIER

S.P. Amelchugov^{1,2}
I.V. Tarasov¹
R.G. Shubkin²
D.V. Ivanov²
M.A. Nikulin³

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

²Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

³State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

Corresponding author: Roman G. Shubkin, rshubkin@yandex.ru

Abstract. The article presents a study of a fire soundproof wooden CLT panel designed on physical principles not previously used for building structures, the influence of sound pockets on the spread of gorenje and the process of charring is considered, a proposal is made about the need to take into account the reduction in the load-bearing capacity in case of fire soundproof wooden CLT panel.

Keywords: charring thickness, load-bearing structures, sound impedance, sound pressure, air cavities.

For citation: Amelchugov S.P., Tarasov I.V., Shubkin R.G., Ivanov D.V., Nikulin M.A. Fire safety of the soundproof wooden CLT panel carrier// Siberian Fire and Rescue Bulletin 2022. № 2 (25). С. 9-14.

Несущие деревянные конструкции в зданиях и сооружениях могут быть представлены в виде панелей перекрытий и стеновых ограждений. В случае пожара, сгорание дерева несет за собой обрушение несущих элементов. Происходит это следующим образом: процесс горения дерева заключается в обугливание части несущего диаметра конструкции, обугленная часть разрушается, и вся нагрузка постепенно переходит на не обугленную часть конструкции. Если процесс горения продолжается длительное время, то происходит уменьшение несущей площади и, пропорционально, увеличивается нагрузка на всё уменьшающуюся опорную площадь, до наступления предела прочности.

Наиболее быстрый процесс обугливания происходит у конструкций из цельной древесины с минимальным сечением, для них скорость обугливания составляет 1 мм в минуту. Клееная древесина обугливается медленнее, при таком же сечении скорость составляет 0,7 мм в минуту. Однако, наличие воздушных полостей у звукозащитной деревянной CLT панели увеличивает скорость обугливания.

Известно, что звуковой комфорт является одной из важной составляющей функций дома. Поэтому установлены санитарные нормы реализация которых обеспечивается строительно-акустическими мероприятиями по защите от шума. Порядок выбора и применения различных методов и средств для снижения расчетных или фактических уровней шума производится в соответствии СП 51.13330.2011 «Защита от шума».

В основе стандарта лежит эмпирическое деление звука на воздушный и ударный звук, которые характеризуются акустическим давлением. Принято, что для различных конструкций и узлов достаточность звукоизоляции, зачастую зависит от толщины конструкции, наличия двух- или трехслойной обшивки, каждой из сторон, использования специальных решений. Величины звукоизоляции принимаются по результатам натурных испытаний на данную конструкцию. Однако, несовершенство расчетных методов оценки звука значительно снижает качество принимаемых проектных решений и приводит либо к перерасходу строительных материалов, либо некачественной звукоизоляции.

Отсутствие описания физики распространения шума в здании, на наш взгляд, является основным препятствием для создания детерминированных подходов к оценки звукового комфорта проживания в зданиях.

В настоящее время принято [6], что амплитудное значение акустического давления Pa связано с амплитудой волны A , ее циклической частотой и скоростью распространения в веществе и плотностью материалов строительной конструкции.

Интенсивность плоской синусоидальной волны связана с акустическим давлением следующей зависимостью:

$$I = Pa^2 / 2 \rho c, \quad (1)$$

где ρ - плотность вещества кг/м³;

c - скорость звука в материале конструкции, м/с.

Произведение ρc называется удельным волновым, или акустическим, сопротивлением среды и характеризует рассеяние энергии волны в акустическом поле.

В основу реализации принципа звукоизоляции и звукопоглощения CLT панели положено звуковое сопротивление, при этом звуковое давление оказывает фронтальная волна. Считается [3,5], что важнейшая, с точки зрения звукового комфорта, область слышимости человека находится в третьоктавных полосах частот в диапазоне 100—3150 Гц.

Для рассмотрения представлений использовали понятие акустического импеданса Z_a , которым является отношение комплексных амплитуд к колебательной объемной скорости частиц среды и, которую вычисляют как произведение, усреднённой по площади колебательной скорости частиц среды и площади, для которой определяется акустический импеданс [2].

В общем случае, акустический импеданс выражается как:

$$Z_a = Ra + iXa \quad (2)$$

где $i = \sqrt{-1}$ - мнимая единица.

Если действительная часть уравнения 2 связана Ra с диссипацией энергии в самой системе и с поглощением энергии звука, то предложено, что физическое проявление мнимой части возможно если форма элементов конструкции будет описываться степенным уравнением с четной степенью, что обусловит реакции сил инерции вещества. Таким образом, следует предположить, что при наличии в ограждающей конструкции из множества распределенных полостей в форме параболоида, применение мнимой части акустического импеданса приобретает физический смысл, а наличие знака «-» меняет направление реактивной звуковой волны на обратное. Конечно, идеальным результатом будет являться строительная конструкция с нулевым комплексным звуковым импедансом, т.е.,

$$Ra = iXa \quad (3)$$

Таким образом, практическая реализация данного способа звукопоглощения строительными конструкциями состоит в расчете характеристик внутренних полостей, например, приведенных на рисунке 1.

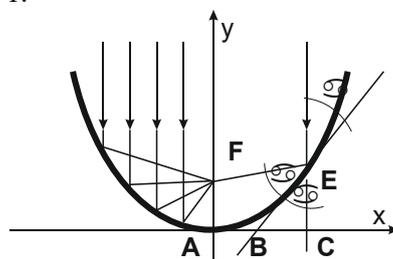


Рис. 1. Схема отражения звука в параболической полости

На этапах лабораторных исследований, установлено, что ограждающие CLT конструкции (стены, перекрытия) с внутренними параболическими полостями, т.е. со звукопоглощением основанном на новых физических принципах, кратно снижают уровень шума.

Звуковые колебания представляют собой негармонический сигнал, спектр колебаний составляет 100—3150 Гц и импеданс зависит от частоты, а параметры конструкции не меняются со временем. Исследовались следующие методы: преобразование Лапласа и разложение звука на спектральные компоненты при помощи ряда Фурье и рассматривается воздействие каждой спектральной компоненты, при этом сумма откликов на спектральные компоненты равна отклику на исходный негармонический источник звука. Комбинируя преобразование Лапласа с использованием его свойств и интеграл Дюамеля находят отклики во временной области самых различных строительных конструкций [4].

Причем в таких вычислениях источник звука $f_{in}(t)$ из временного представления должен быть предварительно преобразован в комплексное представление $F_i(s)$ через прямое преобразование Лапласа:

$$\int_0^{\infty} f(t) e^{-s t} dt \quad (4)$$

Комплексное звуковое сопротивление конструкции выражается через преобразованное комплексное представление источника звука и комплексную передаточную функцию строительной конструкции $H(s)$:

$$F_t H(s) = H(s) F_t(s). \quad (5)$$

Для CLT конструкции величина R_a из уравнения 2 для негармонического звука соответствует звуковому сопротивлению и может быть вычислена экспериментально по звуковому давлению. Однако параметр X_a зависит от звуковой частоты m и параметра C - свойств внутренних полостей конструкции резонаторов, таких как: геометрические размеры, плотность материала, чистота обработки поверхностей, коэффициент звукопоглощения строительного материала, поэтому его значение находится из выражения 6,

$$X_a = -\frac{i}{\omega C}, \quad (6)$$

при этом

$$C = f(h; d; \rho; \alpha), \quad (7)$$

где

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}}. \quad (8)$$

Все величины, входящие в уравнение 7 имеют физические свойства, которые определяются стандартными методами испытаний. Однако численные характеристики параметра C не установлены, что является основным препятствием в получении инженерной методики расчета звукового импеданса строительных конструкций.

Внутренние полости – «звуковые карманы» являются резонаторами мгновенного действия [1], что подразумевает совершение одного периода колебания за время не больше периода колебания источника звука, характерных для резонатора Гельмгольца. Поэтому характеристики C предопределяются взаимообогащением энергии звука других частот и поглощения теплового движения пространства полости.

Внутренняя полость резонатора CLT панели «звукового кармана» образована параболоидом и плоскостью ламели древесины, что схематично показано на рис. 2.

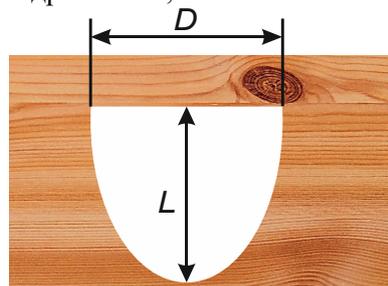


Рис. 3. Схема «звукового кармана» CLT панели.

Поэтому единичную полость можно рассматривать как модуль или элемент звукопоглощения, что позволяет перейти к модульному принципу расчета и проектирования звукозащиты зданий из панелей CLT и выявлять рациональные пути снижения шума до допустимых норм.

Общее решение состоит в том, что средняя, наиболее ненагруженная плита (ламель) панели имеет симметричные полости, выполненные фрезой параболической формы. Размеры полостей зависят от толщины плиты CLT панели, например, при толщине плиты 3-5 см, наибольший диаметр составляет 3-5 см. Вид панели представлен на рисунке 3.

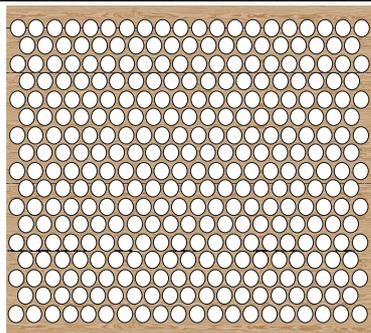


Рис. 3. План звукопоглощающей CLT панели нового поколения

В результате исследований установлено, что акустический импеданс звукопоглощающей CLT панели выше, чем массивной панели CLT. Также отличается звуковое сопротивление при противоположном направлении прохождения звука относительно параболических полостей.

Наибольшая разница в звуковом давлении обнаружена в диапазоне частот более 300 Гц.

Однако наличие внутренних полостей несущей звукозащитной деревянной CLT панели влияет на распространение горения внутри панели. При этом следует учитывать, что предел огнестойкости может рассчитываться для каждого элемента если конструкция сборная. В случае пожара, сгорание дерева несет за собой обрушение несущих элементов из него. На рис. 4 представлено изменение несущей площади при пожаре конструкции из ангарской сосны.

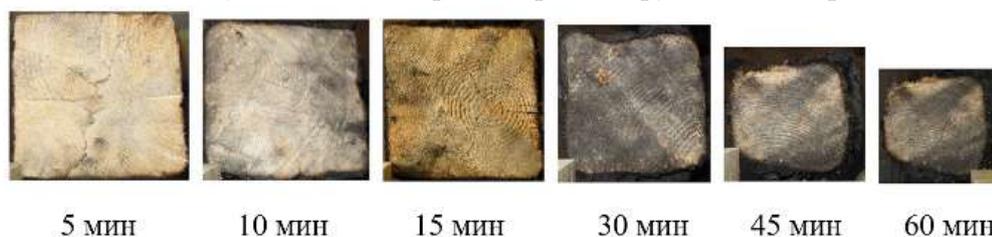


Рис. 4. Обугливание деревянной колонны

Таким образом, в процессе горения звукопоглощающей CLT её несущая способность заключается в обугливание части древесины в зоне, прилегающей к воздушным полостям, при этом обугленная часть разрушается, и вся нагрузка постепенно переходит на не обугленную часть конструкции. Если процесс горения продолжается длительное время, то происходит уменьшение несущей площади и по законам физических процессов, пропорционально увеличивается нагрузка на все уменьшающуюся опорную площадь. Поэтому наличие воздушных полостей в сочетании с уменьшением несущей площади конструкции при пожаре значительно снижает несущую способность звукозащитной деревянной CLT панели.

Вывод

Конструирование звукопоглощающих CLT панели должно учитывать изменение несущих свойств конструкции при пожаре.

Список источников

1. Патент РФ 2340012 Способ и устройство для защиты от акустических волн или их подавления, например, звука
2. Физическая акустика / Под ред. У. Мэзона. — Т.1. М: Мир, 1966г, 588с.
3. Шутилов В. А. Основы физики ультразвука: Учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. — 280с.
4. Вайншток И. С. Ультразвук и его применение в машиностроении. М.: МАШГИЗ, 1958. — 140с.
5. Ш.Ш. Хисматуллин, Г.Г. Хисматуллина, И.В. Ефремов. Техническая акустика. Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2010. - 281 с. : ил.

6. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1), Минрегион России, 2010— 45с.

List of sources

1. RUS Patent 2340012 Method and device for protection against acoustic waves or their suppression, for example, sound.
2. Physical acoustics / Edited by W. Mason. — Vol. 1. M: Mir, 1966, 588 p.
3. Shutilov V. A. Fundamentals of ultrasound physics: Textbook. L.: Publishing House of the Leningrad University, 1980. — 280 p.
4. Vainshtok I. S. Ultrasound and its application in mechanical engineering. Moscow: MASHGIZ, 1958. — 140 p.
5. Sh.Sh. Hismatullin, G.G. Hismatullina, I.V. Efremov. Technical acoustics. Orenburg. State University". - Orenburg : IPK GOU OSU, 2010. - 281 p.
6. SR 51.13330.2011 Noise protection. Updated version of building codes and regulations 23-03-2003 (with amendment No. 1), Ministry of Regional Development of Russia, 2010— 45 p.

Информация об авторах

Информация об авторах

С.П. Амельчугов – доктор технических наук
И.В. Тарасов – кандидат технических наук
Р.Г. Шубкин – кандидат технических наук

Information about the author

S.P. Amelchugov – Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science)
in Engineering Sciences
I.V. Tarasov – Ph.D. of Engineering Sciences
R.G. Shubkin – Ph.D. of Engineering Sciences

Статья поступила в редакция 16.02.2022; одобрена после рецензирования 01.03.2022; принята к публикации 30.06.2022.

The article was submitted 16.02.2023, approved after reviewing 01.03.2022, accepted for publication 30.06.2022.