



[Steel-reinforced concrete structures. Design rules]: svod pravil : utverzhd. Prikazom Ministroya Rossii ot 30.12.2016 № 1030/pr : data vved. 01 iyulya 2017 g. : redaktsiya ot 15.12.2020. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

12. Ispytali beton B12,5. [Tested concrete B12.5]. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=bmgA_B_WWto (data obrascheniya 20.07.2022) – Videozapis.

13. SP 16.13330.2017. Stalnye konstruksii [Steel structures]: svod pravil : utverzhd. Prikazom Ministroya Rossii ot 27.02.2017 N 126/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81*, data vved. 28.08.2017 : redaktsiya ot 31.05.2022. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

© П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов, А. П. Помазов, А. К. Ситникова, 2022
Получено: 10.09.2022 г.

УДК 534.21:628.517.2

Т. С. ЯРОВАЯ, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства¹;
А. И. АНТОНОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры и градостроительства¹, вед. науч. сотр.²; **В. И. ЛЕДЕНЕВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог¹, вед. науч. сотр.²;
И. В. МАТВЕЕВА¹, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad_tambov@mail.ru.

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 482-40-16

Ключевые слова: помещения с массовым пребыванием людей; методы расчета прямого звука; расчеты отраженного шума; шумовой режим помещений; речь как источник шума.

Рассматриваются численные методы расчета энергетических характеристик шума, создаваемого разговаривающими людьми в помещениях с их массовым пребыванием. На основе численных методов предложена методика, позволяющая производить оценку шумового режима и акустического комфорта в помещениях с массовым пребыванием людей. Для реализации методики разработана компьютерная программа и приведен пример ее практического использования. Численные методы и методика ее реализации дают возможность производить объективную оценку шумового режима и на этой основе разрабатывать акустически эффективные мероприятия по созданию акустического комфорта в помещениях с массовым скоплением людей.

Человек, находясь в местах с массовым скоплением людей (вокзальные и школьные помещения, операционные залы и т. п.), подвергается воздействию звуковой энергии, излучаемой людьми при их разговорах. Такая шумовая нагрузка на органы слуха человека негативно сказывается на его состоянии, вызывая усталость, раздражительность, рассеяние внимания и т. д. Другим неблагоприятным



фактором, возникающим при таких шумовых воздействиях, является снижение слышимости и разборчивости речи. Снижение разборчивости ведет к акустическому дискомфорту, ухудшая условия общения между собой людей, находящихся в толпе.

Для того чтобы оценить шумовую обстановку в таких помещениях, сведения о которой необходимы для последующей разработки мероприятий по улучшению шумового режима и созданию более комфортных акустических условий, требуется выполнение расчетов энергетических характеристик шума, создаваемого в помещениях людьми. При этом необходимо решить две задачи. Первая задача связана с определением уровней шума в расчетных точках помещения и со сравнением полученных данных с санитарно-гигиеническими требованиями. Во второй, более сложной задаче на основе метода реверберационных помех [1] производится оценка разборчивости речи между разговаривающими в толпе людьми. При решении и первой, и второй задач необходимо выполнять расчеты прямого звука, излучаемого людьми как источниками шума, а затем производить расчеты отраженного шума, возникающего при отражениях прямого звука от ограждений помещения.

В связи с тем, что ранее отсутствовали методы расчета шума от людей в местах их массовых скоплений как от источников звуковой энергии, нами были разработаны новые методы расчета излучаемого людьми прямого звука и возникающего при этом отраженного шума [2, 3, 4, 5]. При разработке методов учтены особенности излучения звуковой энергии людьми. К ним относятся случайность положения людей, их ориентация и направленность звука. Случайными величинами являются также количество разговаривающих в толпе людей и продолжительность речи каждого из них. По этим причинам нами предложены две расчетные модели, реализующие случайный характер излучения шума людьми.

В первом случае при относительно небольшом количестве людей предложено использовать компьютерное моделирование прямого звука. При таком подходе распределенные случайным образом источники шума (разговаривающие люди) рассматриваются как система дискретных излучателей. Звуковая энергия в этом случае определяется от каждого источника в отдельности. Затем производится суммирование энергии от всех источников с учетом вероятности их положения и ориентации. При моделировании используется численный метод, алгоритм которого подробно рассмотрен в статье [2]. К недостаткам метода относится значительная трудоемкость расчетов при большом скоплении людей и сложность использования полученных результатов при расчетах отраженного шума.

Менее трудоемким является метод расчета, основанный на другом подходе к решению задачи. Расчет прямого звука от разговаривающих людей производится как от однотипных источников шума. В этом случае имеется возможность заменить дискретную модель источников на плоскость с равномерно излучающей звуковую энергию способностью. Такой источник имеет определенную акустическую мощность и направленность излучения.

Наиболее подробно данный подход к оценке излучения звуковой энергии скоплением людей и реализующий его метод подробно рассмотрены нами в статье [4]. Удельная акустическая мощность источника в виде разговаривающих людей, приходящаяся на единицу излучающей плоскости, согласно [4], определяется выражением:

$$W'' = \frac{W_0 N K_{\text{од}} \cdot 10^{0.1 L_{\text{пр}}}}{S_0}, \quad (1)$$

где $W_0 = 10^{-12}$ (Вт) – акустическая мощность источника на пороге слышимости;



S_0 – площадь, занятая N количеством посетителей; $K_{\text{од}}$ – коэффициент, определяющий одновременность речи N посетителей, находящихся в пределах плоскости с площадью S_0 ; $L_{\text{вр}}$ – уровень акустической мощности одного разговаривающего человека.

Величина $L_{\text{вр}}$ зависит от частоты излучаемой энергии и уровня звукового давления, создаваемого речью человека. Уровни, в свою очередь, зависят от пола и возраста людей и степени их возбуждения во время разговоров. Подробно эти зависимости рассмотрены в статье [6].

Для плоского источника с удельной акустической мощностью W'' плотность прямой звуковой энергии в расчетной точке согласно [7] может вычисляться в соответствии с интегральным выражением:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \int_{S_0} \frac{W'' \Phi}{\Omega r^2 c} dS, \quad (2)$$

где r – расстояние от элемента dS плоскости S_0 до расчетной точки; c – скорость звука в воздухе; Ω – пространственный угол излучения звука плоскостью S_0 ; Φ – фактор направленности речи.

Величина фактора направленности речи Φ зависит от многих условий. Результаты подробного исследования его зависимости от разных условий приведены в статье [6]. В случае помещений с массовым пребыванием людей, когда говорящие люди имеют случайную ориентацию в плоскости их нахождения (например, перемещение детей в рекреационных помещениях школы), величину Φ с достаточной точностью можно принимать равной $\Phi = 1$.

Уровень прямого звука в этом случае будет определяться в соответствии с выражением:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{вр}} + 10 \lg \left(\frac{NK_{\text{од}}}{S_0} \right) + 10 \lg \left(\int_{S_0} \frac{1}{\Omega r^2} dS \right). \quad (3)$$

В статье [4] предложено расчет величины $\varepsilon_{\text{пр}}$ с использованием выражения (2) производить численным методом. В этом случае согласно [4] вся излучающая звук плоскость S_0 делится на M одинаковых элементов. Производится расчет $\varepsilon_{\text{пр}}$ от каждого элемента как от точечного источника. Затем путем суммирования определяется общая плотность энергии в расчетной точке. Величина суммарной плотности прямой энергии определяется на основе решения численного ряда:

$$\varepsilon = \sum_{m=1}^M \frac{NK_{\text{од}} W_0 10^{0.1 L_{\text{вр}}}}{4\pi r_m^2 c M}. \quad (4)$$

где r_m – расстояние от m -го элемента до расчетной точки.

При рассмотрении элементов m в качестве точечных источников звука уровень звукового давления в каждой расчетной точке вычисляется по формуле:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{вр}} + 10 \lg \left(\frac{NK_{\text{од}}}{4\pi M} \right) + 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M \frac{1}{r_m^2} \right). \quad (5)$$

Выполненный нами сравнительный анализ расчетов методом компьютерного моделирования и методом, основанном на представлениях о плоском источнике, показал, что расхождения не превышают величины 0,5 дБ [3]. При этом второй метод имеет меньшую трудоемкость и более пригоден к расчету отраженной составляющей шума.

Выбор метода расчета отраженного шума в помещениях с массовым пребы-

**К СТАТЬЕ Т. С. ЯРОВОЙ, А. И. АНТОНОВА, В. И. ЛЕДЕНЕВА,
И. В. МАТВЕЕВОЙ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ С
МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ»**

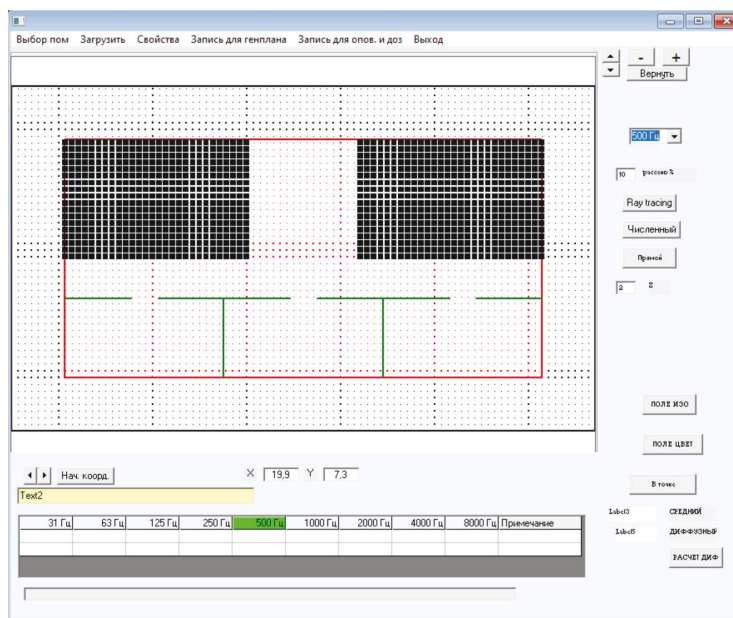


Рис. 1. Компьютерная форма помещения с исходными данными для расчета. В заштрихованной зоне зала находятся посетители

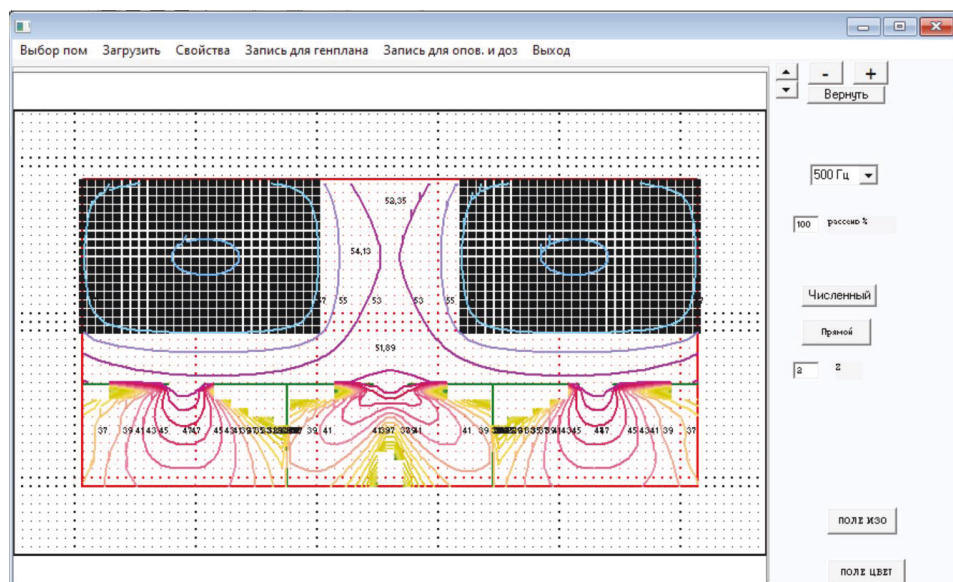


Рис. 2. Распределение уровней звукового давления (дБ) прямого звука в помещениях в форме изодeciбел

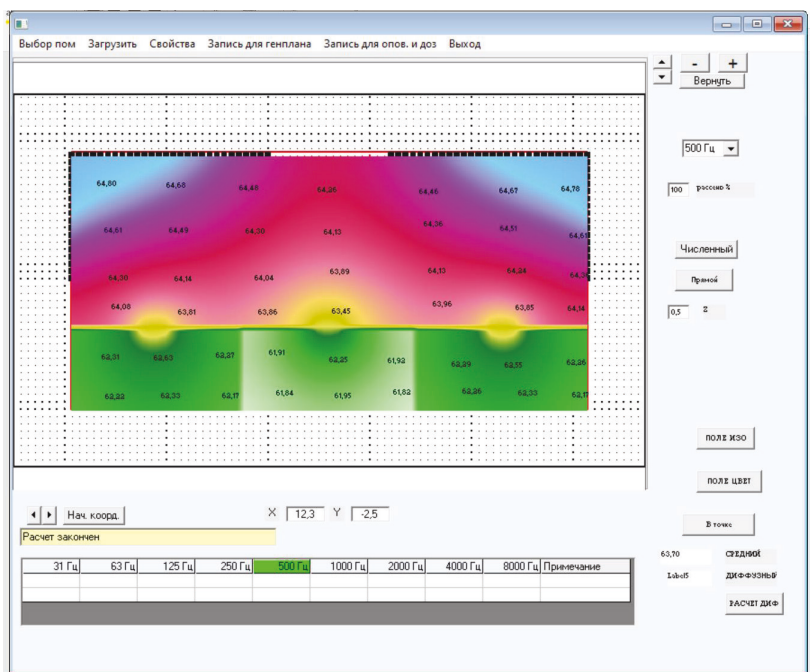


Рис. 3. Распределение уровней звукового давления (дБ) суммарной (прямой и отраженной) звуковой энергии в помещениях при коэффициентах звукопоглощения поверхности 0,1

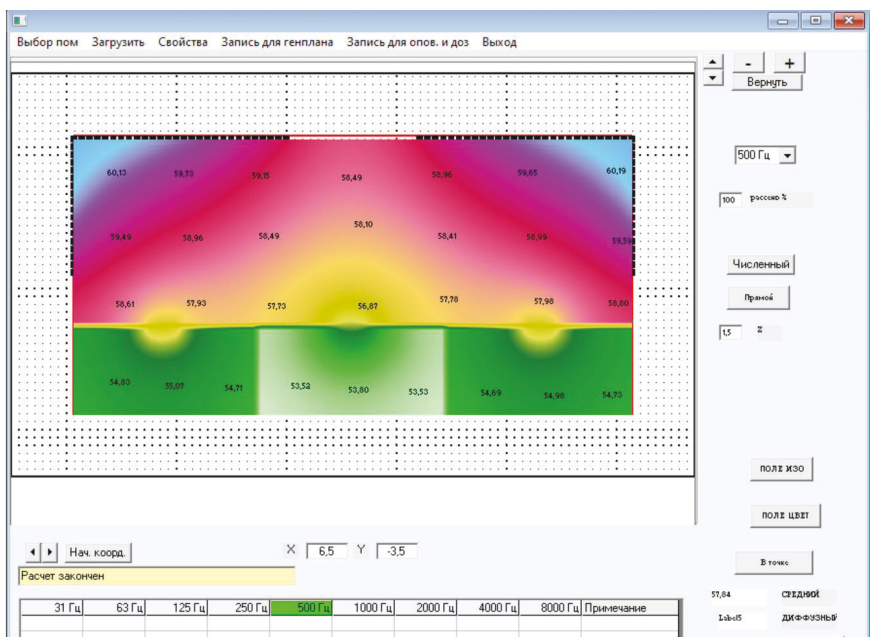


Рис. 4. Распределение уровней звукового давления (дБ) суммарной (прямой и отраженной) звуковой энергии в помещениях при устройстве звукопоглощающей облицовке потолка

ванием людей во многом определяется отражением звука от ограждений [8, 9]. При распределенных по помещению источниках шума (разговаривающих людей), являющихся также дополнительными рассеивателями звуковой энергии, излучаемой людьми, характер отражения звуковой энергии с достаточной достоверностью можно принять диффузным и в этом случае использовать для расчета отраженной составляющей численный энергетический метод расчета [7]. Достоинством метода является возможность расчета отраженной звуковой энергии как в соразмерных, так и в несоразмерных помещениях, а также в помещениях сложных форм [7].

Метод основан на решении уравнения распределения плотности отраженной звуковой энергии в квазидиффузном звуковом поле [7]. Уравнение для условий постоянного звукового поля имеет вид:

$$\eta \nabla^2 \varepsilon_{\text{отр}} - m_{\text{в}} \varepsilon_{\text{отр}} = 0, \quad (6)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа; $m_{\text{в}}$ – пространственный коэффициент затухания звука в воздухе; $\eta = 0,5cl_{\text{ср}}$ – коэффициент связи между плотностью потока звуковой энергии и градиентом плотности отраженной звуковой энергии в квазидиффузном звуковом поле [7, 10]; $l_{\text{ср}}$ – средняя длина свободного пробега звука в помещении.

Уравнение (6) в случае помещений с массовым пребыванием людей решается при граничных условиях, имеющих вид:

$$\bar{q}|_{ds} = \frac{-c\alpha_s}{2(2-\alpha_s)} \varepsilon_{\text{отр}}|_{ds} + (1-\alpha_s)I_{\text{пр}}|_{ds}, \quad (7)$$

где α_s – коэффициент звукопоглощения на рассматриваемом участке поверхности ds ; $I_{\text{пр}}$ – суммарная интенсивность прямой звуковой энергии, падающей на элемент ds со всей излучающей плоскости разговаривающих людей.

Алгоритм расчета численным методом включает в себя следующие операции:

1. Весь объем помещения делится на элементарные объемы $V_{i,j,k}$ (см. рис. 1).

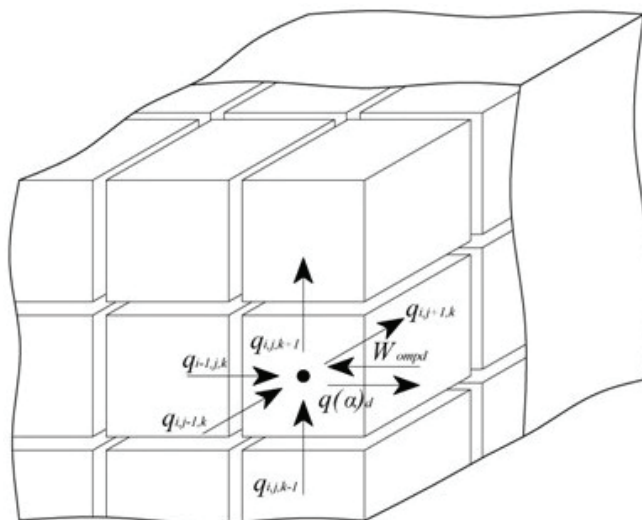


Рис. 1. Схемы разбиения помещения на элементарные объемы

2. Для каждого i,j,k -го объема составляется баланс отраженной энергии. Выражение для уравнения баланса в общем случае имеет вид:

$$\sum_{n=1}^N q_n S_n + \sum_{d=1}^{6-N} |\bar{q}|_d S_d - c m_\epsilon \epsilon_{\text{отри},j,k} V_{i,j,k} = 0, \quad (8)$$

где q_n – плотности потоков диффузной энергии между i,j,k -м объемом и соседними с ним объемами через поверхности S_n ; $|\bar{q}|_d$ – модуль плотности потока диффузной энергии на d -й поверхности элементарного объема, являющейся поверхностью ограждения помещения с площадью S_d ; $\epsilon_{\text{отри},j,k}$ – плотность отраженной энергии в i,j,k -м объеме; N – количество объемов, контактирующих с i,j,k -м объемом; $6-N$ – количество граней i,j,k -го объема, являющихся поверхностями ограждения.

3. Производится расчет интенсивности прямой энергии, приходящей на поверхность S_d элементарного объема i,j,k от всех участков m , на которые разделена излучающая звуковую энергию плоскость, и определяется интенсивность приходящей в элементарный объем i,j,k -й энергии после отражения падающего на ограждение прямого звука. Расчет производится по формуле:

$$I_{\text{пр},d} = (1 - \alpha_d) \sum_{m=1}^M \frac{NK_{\text{од}} W_0 10^{0,1L_{\text{WP}}}}{4\pi r_d^2 M} \cos \theta_d, \quad (9)$$

где r_d – расстояние от центра излучающего звук участка m до центра поверхности S_d ограждения в пределах i,j,k -го объема; θ_d – угол направления от центра излучающей поверхности элемента m и центра элемента ограждения d ; α_d – коэффициент звукопоглощения на элементе поверхности ограждения d .

4. Выполняется расчет величины $|\bar{q}|_d$ для каждой поверхности ограждения в пределах i,j,k -го объема и затем определяется суммарная величина от всех поверхностей $M = 6-N$ с учетом поглощения прямой и отраженной звуковой энергии на ограждениях, см. формулу (7).

$$\sum_{d=1}^{6-N} |\bar{q}|_d S_d = \sum_{d=1}^{6-N} \left[(1 - \alpha_d) \sum_{m=1}^M \frac{NK_{\text{од}} W_0 10^{0,1L_{\text{WP}}}}{4\pi r_d^2 M} \cos \theta_d - \frac{\alpha_d c \epsilon_{i,j,k}}{2(2 - \alpha_d)} \right] S_d. \quad (10)$$

5. Производится решение полученной системы уравнений баланса отраженной энергии и определяются плотности отраженной энергии в каждом элементарном объеме.

6. Выполняется расчет уровней звукового давления, создаваемых разговаривающими людьми в точках помещения, при их скоплении в помещениях. Расчет производится по формуле:

$$L_i = 10 \lg \left[(\epsilon_{\text{пр}i} + \epsilon_{\text{отри}}) c / I_0 \right], \quad (11)$$

где $\epsilon_{\text{пр}i}$ – плотность энергии прямого звука в i -й расчетной точке помещения, создаваемой при массовом скоплении разговаривающих людей, определяемая по формуле (4); $\epsilon_{\text{отри}}$ – плотность отраженной звуковой энергии в i -й расчетной точке, полученная в результате решения системы уравнений; $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – интенсивность звука на пороге слышимости.

Ниже приведен пример оценки шумового режима в помещении клиентского зала размерами 18×6×3,9 м и в акустически связанных с ним рабочих помещениях с размерами 6×3×3,9 м (см. рис. 2).

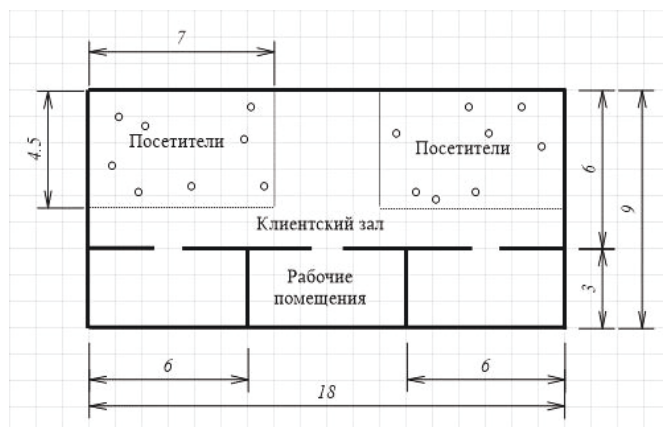


Рис. 2. Схема помещения к расчету шумового режима. Размеры даны в метрах

Связь помещений осуществляется через открытые проемы шириной 1,2 м. Посетители располагаются в клиентском зале с плотностью 1 человек на 4 м^2 , коэффициент одновременности речи равен 0,4. Расчет выполнен для октавной полосы со среднегеометрической частотой 500 Гц. Плотность акустической мощности речи составляет $69,2 \text{ дБ/м}^2$. Средний коэффициент звукопоглощения ограждений равен 0,1. Рассматривается также вариант устройства на потолке звукопоглощающей облицовки с коэффициентом звукопоглощения 0,7. Компьютерная форма к расчету приведена на рис. 1 цв. вклейки.

На рис. 2 цв. вклейки показано распределение уровней звукового давления (дБ) прямого звука от посетителей. Видно проникновение звука в акустически связанные рабочие помещения. В зоне посетителей уровень прямого звука достигает 59 дБ, что соответствует тихой речи.

С учетом отраженного звука в помещениях без акустической облицовки потолка (см. рис. 3 цв. вклейки) уровень шума составляет 62–65 дБ. Отраженное звуковое поле от разговаривающих посетителей близко к диффузному. Шум в рабочих помещениях мало отличается от шума в клиентском зале. Очевидно, что акустические условия работы персонала учреждения в таких условиях являются неудовлетворительными и особенно за счет отраженного шума.

Для снижения отраженного шума применена звукопоглощающая облицовка потолка. Это привело к снижению общих уровней шума в клиентском зале на 3–6 дБ, а в рабочих помещениях до 8 дБ (см. рис. 4 цв. вклейки). Устройство облицовки приведет к улучшению слышимости и разборчивости речи.

Предложенные численные методы расчета прямого звука и его отраженной составляющей требуют применения вычислительной техники для их реализации. Разработанная для этой цели компьютерная программа обеспечивает требуемое быстродействие при решении научно-исследовательских и практических задач по оценке шумового режима и разработке мероприятий по обеспечению требуемых акустических условий в помещениях с массовым пребыванием людей. Следует отметить, что достоинством разработанных методов является возможность их применения в помещениях любой сложной формы, а также при размещении разговаривающих людей как по всему объему помещения, так и на его отдельных участках.

Таким образом, в настоящее время на основе рассмотренных выше численных методов создана эффективная методика оценки энергетических параметров



шума, излучаемого людьми, и акустического комфорта в местах их массового пребывания. Методика позволяет эффективно использовать современную вычислительную технику, обеспечивая требуемое быстрое действие решения задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маньковский, В. С. Акустика студий и залов для звуковоспроизведения. – Москва: Искусство, 1966. – 376 с.
2. Яровая, Т. С. Математическое моделирование прямого звука при экологической оценке шумового режима в зданиях с массовым пребыванием людей / Т. С. Яровая, А. И. Антонов // В сб.: В. И. Вернадский: Устойчивое развитие регионов. Материалы Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 204–210.
3. Антонов, А. И. Расчет прямого звука от большого количества людей как от однотипных стохастических источников шума / А. И. Антонов, Т. С. Яровая // В сб.: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт. Материалы 3-й международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – С. 64–67.
4. Антонов А. И. Расчет распространения прямого звука в городской среде от объектов с массовым пребыванием людей / А. И. Антонов, И. Л. Шубин, Т. С. Яровая // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – № 3(19). – С. 105–112.
5. Антонов, А. И. Расчеты шума при акустическом благоустройстве в помещениях с массовым пребыванием людей / А. И. Антонов, В. И. Леденев, Т. С. Яровая // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 4(72). – С. 94–100.
6. Антонов, А. И. Экспериментальное определение энергетических параметров речи с целью использования их при оценке шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, Т. С. Яровая // Приволжский научный журнал. – 2017. – № 4(44). – С. 9–15.
7. Антонов, А. И. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 274 с.
8. Антонов, А. И. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // Приволжский научный журнал. – 2017. – № 2(42). – С. 16–23.
9. Антонов, А. И. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва: ООО «Директмедиа Пабблишинг», 2022. – 192 с.
10. Antonov A. I. Coupling coefficient of flux density and density gradient of reflected sound energy in quasi-diffuse sound fields / A. I. Antonov, V. I. Ledenev, T. O. Nevenchannaya, I. E. Tsukernikov, I. L. Shubin // Journal of Theoretical and Computational Acoustics. – 2019. – Т. 27. – № 2. – С. 1850053.

YAROVAYA Tatyana Sergeevna, postgraduate student of the chair of architecture and urban construction¹; ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of architecture and urban construction¹; leading researcher²; LEDENEV Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of urban development and roads¹; leading researcher²; MATVEEVA Irina Vladimirovna¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads

NUMERICAL METHODS FOR CALCULATING ENERGY CHARACTERISTICS OF NOISE IN ROOMS WITH A MASS STAY OF PEOPLE



¹Tambov State Technical University

112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia. Tel.: +7 (4752) 63-09-20, +7 (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad@mail.tambov.ru

²Research Institute of Building Physics of RAACS

21, Lokomotivny Dr., Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-16

Key words: rooms with a mass stay of people; methods of calculating direct sound; calculations of reflected noise; noise mode of rooms; speech as a noise source.

The article considers numerical methods for calculating energy characteristics of noise generated by talking people staying in mass quantities in rooms. On the basis of numerical methods, a technique is proposed that makes it possible to assess the noise regime and acoustic comfort in the rooms with a mass stay of people. To implement the methodology, a computer software has been developed and an example of its practical use is given. Numerical methods and the methodology of its implementation make it possible to make an objective assessment of the noise regime and, on this basis, develop acoustically effective measures to create acoustic comfort in rooms with a massive crowd of people.

REFERENCES

1. Mankovsky V. S. Akustika studiy i zalov dlya zvukovospromozhdeniya [Acoustics of studios and halls for sound reproduction]. – Moscow: Iskusstvo, 1966. – 376 p.
2. Yarovaya T. S., Antonov A. I. Matematicheskoe modelirovanie pryamogo zvuka pri ekologicheskoy otsenke shumovogo rezhima v zdaniyakh s massovym prebyvaniem lyudey [Mathematical modeling of direct sound in the environmental assessment of the noise regime in buildings with a mass stay of people] / V. I. Vernadsky: Ustoychivoe razvitiye regionov. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [V. I. Vernadsky: Sustainable development of regions. Materials of the International Scientific and Practical Conference]. – Tambov, 2016. – P. 204–210.
3. Antonov A. I., Yarovaya T. S. Raschyot pryamogo zvuka ot bolshogo kolichestva lyudey kak ot odnotipnykh stokhasticheskikh istochnikov shuma [Calculation of direct sound from a large number of people as from the same type of stochastic noise sources] / Ustoychivoe razvitiye regiona: arkhitektura, stroitelstvo i transport. Materialy 3-y mezhdnarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii instituta arkhitektury, stroitelstva i transporta Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Sustainable development of the region: architecture, construction and transport. Materials of the 3-rd International Scientific and Practical Conference of the Institute of Architecture, Construction and Transport of Tambov State Technical University]. – Tambov, 2016. – P. 64–67.
4. Antonov A. I., Shubin I. L., Yarovaya T. S. Raschyot rasprostraneniya pryamogo zvuka v gorodskoy srede ot obektov s massovym prebyvaniem lyudey [Calculation of the propagation of direct sound in an urban environment from objects with a mass presence of people] / Biosferaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii [Biosphere compatibility: person, region, technology]. – 2017. – № 3(19). – P. 105–112.
5. Antonov A. I., Ledenev V. I., Yarovaya T. S. Raschyoty shuma pri akusticheskom blagoustroystve v pomescheniyakh s massovym prebyvaniem lyudey [Noise calculations for acoustic improvement in rooms with a mass stay of people] / Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. – 2017. – № 4(72). – P. 94–100.
6. Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Yarovaya T. S. Eksperimentalnoe opredelenie energeticheskikh parametrov rechi s tselyu ispolzovaniya ikh pri otsenke shumovogo rezhima na obektakh s massovym prebyvaniem lyudey [Experimental determination of energy parameters of speech for the purpose of using them to assess noise regime of crowded objects] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2017. – № 4(44). – P. 9–15.
7. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva V. I., Shubin I. L. Raschyoty shuma pri



proektirovaniy shumozaschity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Noise calculations in the design of noise protection in industrial buildings] / Moscow-Berlin: Direkt-Media. – 2020. – 274 p. – ISBN 978-5-4499-0616-8.

8. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Fyodorova O. O. Vliyaniye kharaktera otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy na vybor metoda raschyota vozdushnogo shuma v grazhdanskikh i promyshlennyykh zdaniyakh [Influence of the mode of sound reflection from walls on selection of the method of air noise calculation in civil and industrial buildings] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2017. – № 2(42). – P. 16–23.

9. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty shuma v grazhdanskikh i promyshlennyykh zdaniyakh pri zerkalno-diffuznom otrazhenii zvuka ot ograzhdeniy [Noise calculations in civil and industrial buildings with mirror-diffuse reflection of sound from fences] / Moscow: Direktmedia Publishing, 2022. – 192 p.

10. Antonov A. I., Ledenev V. I., Nevenchannaya T. O., Tsukernikov I. E., Shubin I. L. Coupling coefficient of flux density and density gradient of reflected sound energy in quasi-diffuse sound fields / Journal of Theoretical and Computational Acoustics. – 2019. – Vol. 27. – № 2. – P. 1850053.

© Т. С. Яровая, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, 2022

Получено: 17.09.2022 г.

УДК 624.154.1

Ю. С. ГРИГОРЬЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры;
В. В. ФАТЕЕВ, инженер, ст. преподаватель кафедры архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВДОЛЬ РЯДОВ СВАЙ, В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ “MIDAS GTS NX”

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Ключевые слова: компьютерные модели, грунтовый массив, ряды призматических свай, горизонтальные нагрузки и перемещения.

Приводятся результаты исследований горизонтально нагруженных свайных фундаментов с линейно расположенными призматическими сваями в программном комплексе “MIDAS GTS NX”. Методику и результаты выполненных исследований целесообразно использовать при проектировании свайных фундаментов.

При проектировании зданий и сооружений на склоновых территориях; промышленных зданий и сооружений с большими горизонтальными нагрузками; гидротехнических, противоползневых и противоселевых сооружений возникает необходимость выбора рациональных типов фундаментов, воспринимающих большие горизонтальные нагрузки и обеспечивающих длительную эксплуатационную надежность сооружений. Одним из вариантов устройства такого типа фундаментов могут быть развитые в направлении действия наибольших горизонталь-