

УДК 534.2

*А.И. АНТОНОВ, канд. техн. наук, О.А. ЖОГОЛЕВА, бакалавр,
В.И. ЛЕДЕНЕВ, д-р техн. наук, Государственный технический университет (Тамбов);
И.Л. ШУБИН, д-р техн. наук, директор РААСН (Москва)*

Метод расчета шума в квартирах с ячейковыми системами планировки

Представлен новый метод расчета распространения шума в квартирах с ячейковой системой планировки. Особенностью метода является учет перераспределения энергии в помещениях квартиры как системе объемов, имеющих между собой акустическую связь. Метод и компьютерная программа для его реализации позволяют объективно оценивать шумовой режим в зданиях с ячейками и разрабатывать эффективные шумозащитные мероприятия.

Ключевые слова: шумовой режим, звуковое поле, ячейковая система планировки, снижение шума.

Современные квартиры представляют собой, как правило, незначительные по объему замкнутые пространства, предназначенные для выполнения достаточно большого количества одновременно протекающих функциональных процессов. При выполнении большинства из них возникает шумовое загрязнение среды квартиры. Оно оказывает негативное воздействие на протекание других функциональных процессов, требующих обеспечения более благоприятных акустических условий. Исключение подобных неблагоприятных воздействий может быть обеспечено на ранних стадиях проектирования квартир путем рационального зонирования их объемов исходя из акустических условий отдельных функциональных зон. Выбор рациональных по акустическим условиям планировок является достаточно сложной задачей. Решение ее затрудняется ограниченностью объема квартиры, многофункциональностью и, следовательно, необходимостью обеспечения при разработке планировки других комфортных и социальных критериев жилища. Выбор планировки также существенно зависит от конструктивных схем и систем несущего остова здания.

В условиях эксплуатации звуковая энергия, излучаемая источниками, распространяется по помещениям квартир, проникая в них через открытые проемы и звукоизолирующие преграды. В этой связи квартира по условиям распространения шума является системой акустически связанных объемов, имеющей общее шумовое поле, сформированное в зависимости от объемно-планировочных параметров помещений, звукоизоляции ограждений, звукопоглощающих характеристик ограждений, мебели, оборудования и убранства помещений, а также от места расположения и мощности источников шума. Изменяя в процессе проектирования объемно-планировочное решение квартиры, вид и положение связей между комнатами, а также звукоизоляцию и звукопоглощение ограждений, возможно изменять распределение звуковой энергии в системе в целом и тем самым достигать наиболее оптимальных условий для формирования акустического климата.

Решение этой многофакторной задачи возможно при наличии надежного метода оценки энергетических параметров общего шумового поля квартиры. В настоящее время такой метод отсутствует и соответственно при проектировании квартир необходимые акустические расчеты не производятся.

Большинство современных квартир имеют ячейковую планировочную систему. Все помещения таких квартир по условиям распространения звуковой энергии в замкнутых объемах относятся к соразмерным помещениям [1]. При работе источников шума в соразмерных помещениях квартиры формируются диффузные звуковые поля с равномерным распределением звуковой энергии по объему помещений. В этом случае оценку шума в помещениях квартиры можно производить на основе статистической теории акустики. Основываясь на представлениях о диффузных звуковых полях помещений, предлагается метод расчета шума в квартирах с ячейковой системой планировки.

В случае диффузного звукового поля уравнение нестационарного шумового режима для соразмерного помещения, располагающегося в системе акустически связанных соразмерных помещений, можно получить на основе закона сохранения энергии. Изменение количества звуковой энергии E_i в i -м помещении определяется энергией, излучаемой источником шума в данном помещении P_i , притоком энергии от соседних акустически связанных с ним j -х помещений $\beta_{ij}E_j$, потерями энергии за счет звукопоглощения в i -м помещении и оттоком ее в смежные помещения $\eta_i E_i$:

$$\frac{\partial E_i}{\partial t} = P_i + \sum_{j=1}^m \beta_{ij} E_j - \eta_i E_i, \quad (1)$$

где η_i – коэффициент потерь звуковой энергии в i -м помещении; β_{ij} – коэффициент передачи звуковой энергии из j -го помещения в i -е помещение; m – количество связанных с i -м помещением j -х помещений.

Начальные условия могут задаваться в виде $E_i = E_{oi}$ при $t = t_0$. При $t \gg t_0$ и при наличии действующего с постоянной

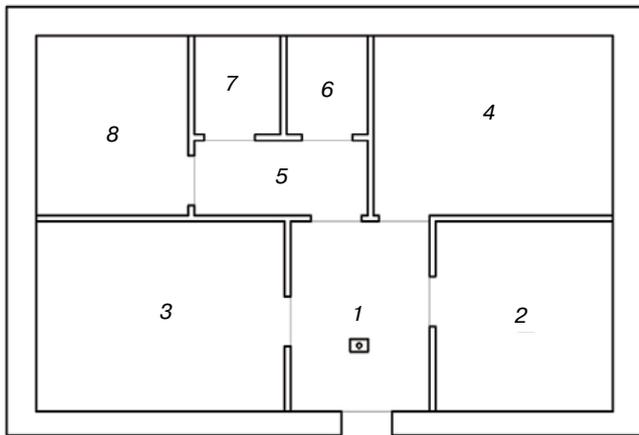


Рис. 1. Схема квартиры

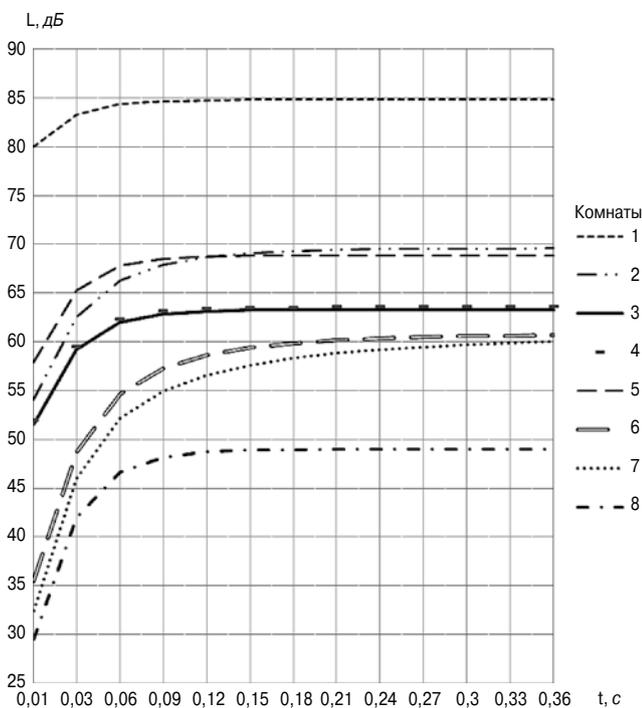


Рис. 2. Процесс нарастания звуковой энергии в помещениях квартиры как в системе акустически связанных объемов

мощностью источника шума влияние начального распределения энергии E_{oi} на звуковое поле быстро уменьшается и устанавливается стационарное звуковое поле, описываемое уравнением:

$$\eta_i E_i = P_i + \sum_{j=1}^N \beta_{ij} E_j. \quad (2)$$

Коэффициент потерь η_i в условиях диффузного звукового поля:

$$\eta_i = \frac{c \alpha_i S_i}{4V_i(1-0,5\alpha_i)}, \quad (3)$$

а коэффициент передачи энергии из j -го помещения в i -е рассчитывается по формуле:

$$\beta_{ij} = \frac{c}{4V_j(1-0,5\alpha_j)} (s_{ij}^{de} \cdot \tau_{ij}^{de} + s_{ij}^{nep} \cdot \tau_{ij}^{nep}). \quad (4)$$

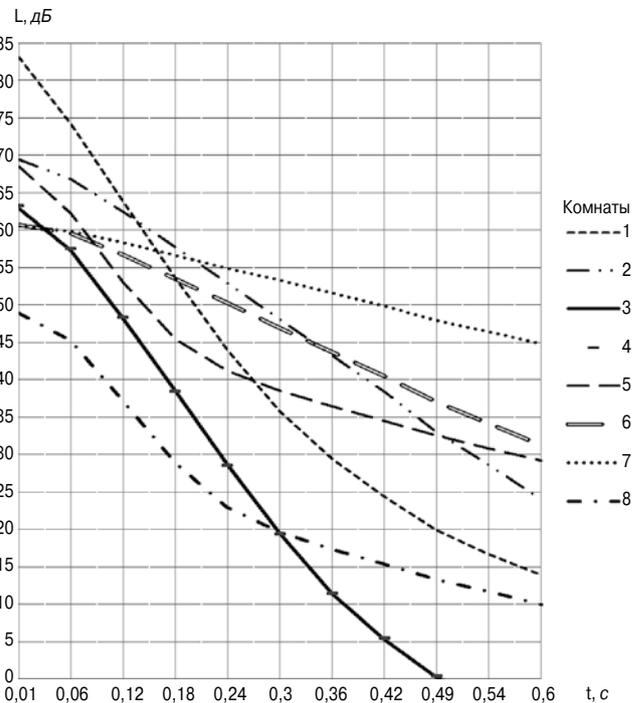


Рис. 3. Процессы реверберации звука в помещениях квартиры как в системе акустически связанных объемов

В выражениях (3) и (4) приняты обозначения: c — скорость звука в воздухе; S_i, V_i — площадь ограждений и объем i -го помещения; V_j — объем j -го помещения; α_i, α_j — средние коэффициенты звукопоглощения ограждений i -го и j -го помещений; $s_{ij}^{de}, \tau_{ij}^{de}$ — площадь и коэффициент звукопередачи двери между i -м и j -м помещениями; $s_{ij}^{nep}, \tau_{ij}^{nep}$ — то же перегородки.

При записи выражений (1)–(4) использованы известные зависимости статистической теории акустики.

В уравнениях (1) и (2) энергия, передающаяся из рассматриваемого i -го помещения в связанные с ним j -е помещения через двери и перегородки, в явном виде не указана. Отток этой энергии учитывается в коэффициенте потерь η_i путем соответствующего изменения звукопоглощения ограждений.

При сплошных перегородках и закрытых дверях эти изменения весьма незначительны. При открытых дверях и проемах потери энергии в i -м помещении за счет оттока существенны и их следует учитывать в общем звукопоглощении помещения через эквивалентное звукопоглощение $A_{отк} = \alpha_{отк} \cdot S_{отк}$, где $\alpha_{отк} = 1$; $S_{отк}$ — коэффициент звукопоглощения и площадь открытого проема, связывающего соседние помещения.

Для оценки распределения звуковой энергии в квартире как системе акустически связанных помещений необходимо решать системы линейных уравнений (1) или (2) с их числом, равным количеству помещений в квартире. Так как общее количество помещений в квартирах невелико, решение их не представляет сложности. При стационарном режиме работы источников шума систему уравнений (2) можно решать, например, методом Гаусса. Решение системы уравнений (1) может быть выполнено с использованием явных и неявных схем. Наиболее просто алгоритмируется решение системы уравнений (1) методом конечных разностей по явной схеме. Заменяя дифференциалы

Таблица 1

№ помещения	Площадь ограждений S_p , м ²	Объем V_p , м ³	Средний коэффициент звукопоглощения α_i	Уровни шума, дБ	
				при закрытых дверях	при открытых дверях
1	56,8	28,5	0,2	84,8	82,5
2	63,6	34,2	0,1	69,6	76,4
3	89,4	55,9	0,3	63,3	70,9
4	83,6	50,8	0,3	63,6	71,2
5	52,2	12,6	0,2	68,9	74
6	28	9,6	0,05	60,8	72,4
7	44	19,2	0,05	60,6	72,4
8	63,8	34,6	0,3	49	64,1

на конечные разности ΔE и Δt , можно записать выражение для приращения энергии в i -м помещении за интервал времени Δt в виде:

$$\Delta E_i = \left(-\eta_i E_i + P_i + \sum_{j=1}^m \beta_{ij} E_j \right) \cdot \Delta t. \quad (5)$$

Величина изменения энергии выражается с учетом начальных условий $E_i^0 = E_{0i}$:

$$\Delta E_i^{t+\Delta t} = E_i^t + \Delta E_i = E_i^t (1 - \eta_i \Delta t) + P_i^t \Delta t + \sum_{j=1}^m \beta_{ij} E_j^t \cdot \Delta t. \quad (6)$$

Расчеты показали, что устойчивость решения уравнения по явной схеме обеспечивается при выполнении условия:

$$\Delta t < \frac{0,05}{\eta_i}. \quad (7)$$

На основе изложенного выше разработана компьютерная программа, позволяющая производить расчеты уровней шума в системах акустически связанных соразмерных помещений при стационарном и нестационарном режимах работы расположенных в них источников шума.

Ниже в качестве примера приведены результаты расчета шума в трехкомнатной квартире, схема которой дана на рис. 1. Квартира состоит из восьми помещений, разделенных кирпичными перегородками со звукоизоляцией 48 дБ. Звукоизоляция дверных заполнений 10 дБ. Источник шума с мощностью 90 дБ располагается в комнате 1. Параметры помещений квартиры даны в табл. 1. Там же приведены полученные при расчетах уровни шума в помещениях квартиры при всех закрытых и открытых дверях.

Предложенный метод расчета распределения звуковой энергии в системах акустически связанных соразмерных помещений дает возможность выполнять на стадии проектирования количественную оценку шумовых полей квартиры, производить ее зонирование по степени шумности помещений и разрабатывать на этой основе планировку квартир с позиций ограничения распространения шума в них.

Возможность исследований процессов формирования нестационарных звуковых полей в квартирах также имеет большое практическое значение. Например, на основе обработки получаемых реверберационных графиков можно оценивать необходимые звукопоглощающие характеристики в помещениях квартиры. На рис. 2 и 3 в качестве примера приведены процессы нарастания и затухания звуковой энергии, полученные в помещениях квартиры после включения и отключения источника шума при всех закрытых дверях.

Таблица 2

№ помещения	Время реверберации, с	
	Расчет по формуле Эйринга	Расчет для системы акустически связанных помещений
1	0,35	0,53
2	0,75	0,76
3	0,29	0,51
4	0,28	0,51
5	0,23	0,95
6	1,09	1,15
7	2,1	2,15
8	0,26	0,9

В табл. 2 приведены значения времени реверберации помещений, рассчитанные на основе системы уравнений (1) как для связанных помещений, и значения времени реверберации, рассчитанные по формуле Эйринга как для изолированных одиночных помещений. Рассчитанное двумя способами время реверберации совпадает только в помещениях 2, 6 и 7, имеющих низкие коэффициенты звукопоглощения ограждений. В остальных помещениях наличие акустической связи значительно увеличивает время реверберации. На заключительных стадиях реверберации графики затухания звуковой энергии становятся более пологими, это объясняется процессом перераспределения энергии между помещениями. Звуковая энергия из помещений с более низкими коэффициентами звукопоглощения и соответственно с более низкой скоростью затухания звука передается в акустически связанные с ними помещения, имеющие более высокую скорость затухания звука.

Таким образом, акустическая связь между помещениями оказывает существенное влияние на распределение звуковой энергии между ними как при стационарном, так и при нестационарном шумовых режимах в квартире. Для расчета характеристик шумового режима и разработки строительно-акустических мероприятий по снижению шума в квартирах с ячейковой планировкой можно с достаточной надежностью использовать предложенный метод. Он позволяет учитывать при расчетах конкретные процессы формирования звуковых полей в отдельных помещениях и их акустическую связь между собой.

Литература

1. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. М.: Строиздат, 1987. 558 с.