

УДК 534.21

Выявление вклада составляющих шума инженерного оборудования в акустическую обстановку жилых помещений

Кузнецова Александра Дмитриевна^()*ad-kuz@mail.ru
SPIN-код: 4102-6837*Пименов Игорь Константинович*ikpimenov@list.ru
SPIN-код: 9273-3454

СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье описывается практический опыт выявления вклада источников, формирующих акустическую обстановку в квартире, расположенной на верхнем этаже жилого дома. В качестве возможных источников повышенного шума в квартире рассматривается инженерное оборудование, расположенное в помещении крышной котельной, транзитный трубопровод и лифтовое оборудование. Для определения вклада отдельных единиц оборудования проведены измерения уровней вибрации на их опорных частях и ограждающих конструкциях помещения котельной. Для прослеживания путей распространения структурного шума выполнены замеры вибрации стен и перекрытий в лифтовом холле и в помещениях квартиры. В исследуемых помещениях также фиксировались уровни шума. По результатам проведенных измерений, по предложенной авторами методике идентификации источников шума и вибрации (для последующей разработки средств снижения), был выделен доверительный диапазон и выявлены частоты, определяющие шум в квартире, путем коррекции уровней звукового давления по фильтру «А». Выполнено спектральное сопоставление измеренных уровней вибрации ограждений с уровнями шума. На основе проведенного анализа предложены мероприятия по виброизоляции инженерного оборудования и повышению акустического комфорта в квартире.

Ключевые слова: инженерное оборудование, структурный шум, идентификация источников, уровни вибрации, уровни шума, шумозащитные мероприятия

Identification of the contribution of noise components of engineering equipment to the acoustic environment of residential premises

Kuznetsova Alexandra Dmitrievna^()*ad-kuz@mail.ru
SPIN-код: 4102-6837*Pimenov Igor Konstantinovich*ikpimenov@list.ru
SPIN-код: 9273-3454

GMTU, Saint-Petersburg, Russia

Abstract. This article describes a practical case study involving the inclusion of input sources that shape the acoustic environment in a room located on the top floor of a residential building. Potential sources of increased noise in the room include utility equipment lo-

cated in the rooftop boiler room, transit piping, and elevator equipment. To determine the contribution of individual pieces of equipment, vibration levels were measured on their supporting parts and enclosing structures in the rooms and boiler room. To trace the propagation paths of structure-borne noise, vibration measurements were taken on walls and ceilings in the elevator lobby and throughout the apartment. Noise levels were also recorded in the rooms. Based on the results of these measurements, using the authors' proposed method for identifying noise and vibration sources (to support the development of noise reduction measures), a range of frequencies was identified and the frequencies determining noise in the room were determined by varying the sound pressure levels using filter "A." Spectral measurements of the vibration levels of the enclosures and the noise levels were also performed. Based on the analysis, measures were proposed to isolate vibration of engineering equipment and improve acoustic comfort in the premises.

Keywords: engineering equipment, structure-borne noise, source identification, vibration levels, noise levels, noise protection measures

Введение. При проектировании жилых домов, архитекторы, конструкторы и инженеры обязаны обеспечить соблюдение требований действующих строительных правил и санитарного нормирования [1–4]. При этом санитарные нормы, на которые опираются проверяющие органы, жестко регламентируют уровни шума только в жилых комнатах квартир [3]. Термин «жилая комната» согласно СП 54.13330 это «часть квартиры, предназначенная для использования в качестве места непосредственного проживания граждан», а термин «кухня — вспомогательное помещение с обеденной зоной, а также местом для размещения кухонного оборудования ...» [1]. Формально кухня к жилым помещениям не относится и не попадает под санитарное нормирование. С другой стороны, для большинства семей кухня — это социальное пространство, где все поколения собираются одновременно для коммуникации, а высокий фоновый шум заставляет людей подсознательно повышать голос, что ведет к быстрой утомляемости и раздражительности [5]. При этом смежное расположение помещения кухни с шахтами лифтов, тепловыми пунктами, помещениями котельных и транзитных трубопроводов является распространенной практикой в гражданском строительстве [6–8].

Методы и материалы. В статье рассматривается пример выявления вклада составляющих шума инженерного оборудования в акустическую обстановку помещения квартиры последнего этажа.

Верхняя часть стены кухни расположена смежно со стеной помещения крышной котельной. В помещении котельной из виброактивного оборудования установлен один котел и два вспомогательных насоса. Также из помещения котельной выходят стояки труб, проходящие через жилой этаж. Смежно с помещением кухни расположена лифтовая шахта. Взаимное расположение помещений квартиры и указанного инженерного оборудования приведено на рис. 1.

Предварительные дневные измерения шума в помещении кухни показали, что уровень звука составляет $L_A = 36...40$ дБА, при штатной работе оборудо-

вания котельной и работе лифтов. Нормативные уровни шума для жилых помещений для дневного и ночного времени суток, с учетом поправки 5 дБ(А) для оборудования системы отопления, составляют 35 и 25 дБА соответственно [3]. Органолептическая оценка показала, что в помещении хорошо различим постоянный низкочастотный гул с небольшими флуктуациями.

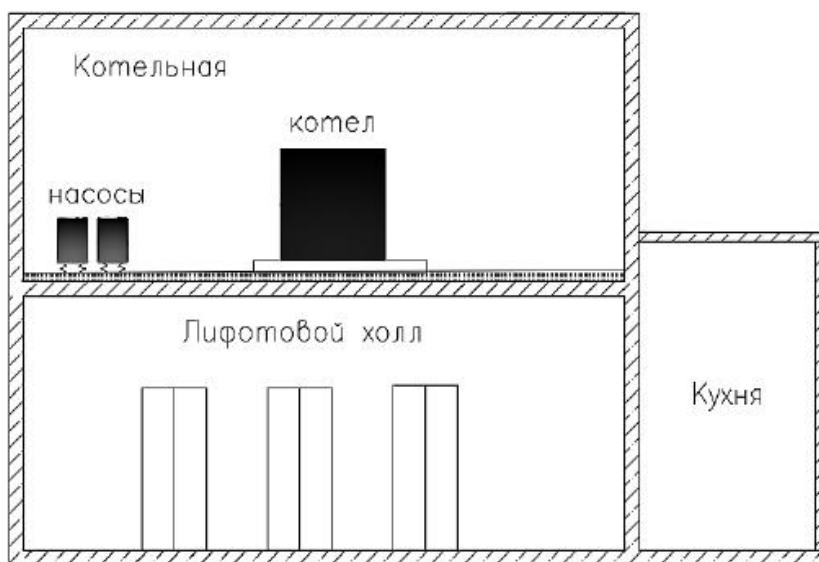
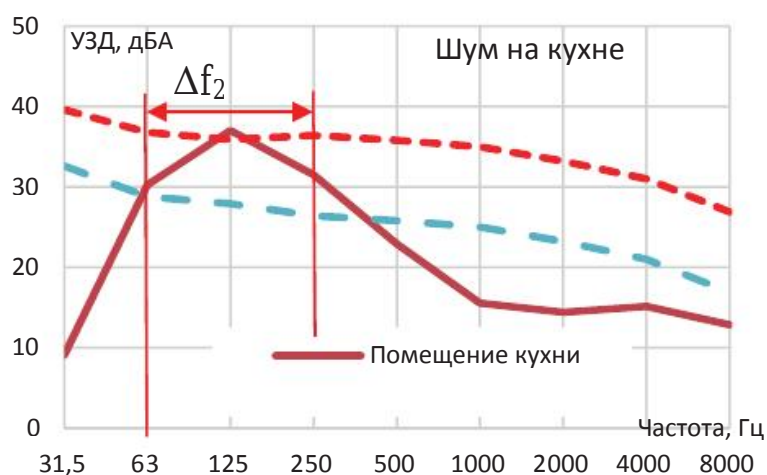
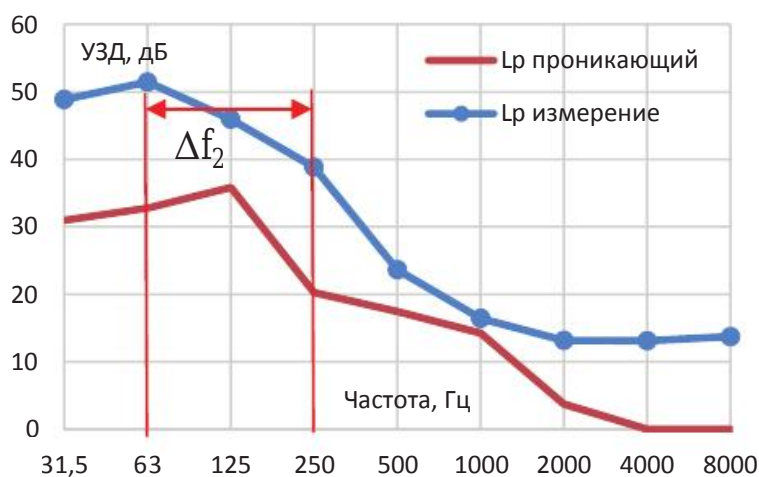


Рис. 1. Взаимное расположение помещений квартиры и инженерного оборудования

Результаты. Согласно алгоритму идентификации источников шума и вибрации, представленному авторами в статье 2025 года [9], в первую очередь был выявлен частотный диапазон достоверных измерений Δf_1 , который определяется влиянием фоновых уровней и ограничен особенностями крепления вибродатчика. При измерениях вибрации использовалось два вида крепления вибродатчика — на магнит (в технических помещениях) и посредством ручного щупа (на жилом этаже), что сократило диапазон Δf_1 со стороны высоких частот до 2 кГц и 400 Гц соответственно [10]. При измерениях шума оценивался только общий (суммарный шум), так как не было возможности отключения источника в момент проведения измерений (отопительный сезон).

Далее был определен диапазон анализа (Δf_2), путем коррекции по шкале «А» измеренных уровней звукового давления (УЗД), дБА в помещении кухни. На рисунке представлены также коррективные нормативные уровни шума в жилых помещениях для дневного и ночного времени суток, с учетом поправки 5 дБА для оборудования системы отопления [3]. Согласно приведенным графикам, основной диапазон превышений (диапазон анализа) 63...250 Гц.

Следующим шагом является определение проникающей составляющей шума в суммарный шум в помещении кухни [9].


 Рис. 2. Определение диапазона анализа (Δf_2)

 Рис. 3. Проникающий шум (L_p — УЗД, дБ)

Для оценки вклада проникающего шума из помещения котельной, имеющего общую стену с помещением кухни, выполнен расчет шума по СП 51.13330–2011 [4]:

$$L = L_{\text{ш}} - R + 10 \lg S - 10 \lg B_{\text{и}} - 10 \lg k, \quad (1)$$

где $L_{\text{ш}}$ — УЗД в помещении котельной, дБ; R — изоляция воздушного шума стены (дБ), выполненной из бетона ($h = 0,2$ м). Звукоизоляция определялась по [11]; S — площадь стены, м^2 ; $B_{\text{и}}$ — акустическая постоянная кухни, м^2 ; k — коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении.

На рис. 3 приведено сравнение результатов расчета с данными натурных измерений. Расчетные уровни шума, проникающие из помещения котельной,

ниже суммарных измеренных в диапазоне Δf_2 на 10...19 дБ. По этой причине вклад проникающего шума может быть исключен из дальнейшего анализа.

Последним этапом алгоритма идентификации является сопоставление вибрации ограждающих конструкций с шумом в помещении и определение структурной составляющей.

Выполненное сопоставление вибрации от транзитного трубопровода и прохода лифтовых кабин по шахте не выявили корреляции со спектрами вибрации стен помещения кухни и были исключены из последующего анализа.

Сопоставление измеренной вибрации при работе водогрейного котла и насосов с шумом и вибрацией стен в помещении кухни приведено на рис. 4. Как видно, особенности измеренных спектров вибрации от котла и насосов повторяются в вибрации стен и при определении уровней звукового давления. Таким образом, шум на кухне определяется сразу двумя источниками. При этом вибрационные характеристики котла и насосов различаются менее чем на 3 дБ, что не дает возможность гарантированно определить, какой из двух источников вносит основной вклад в суммарный шум помещения.

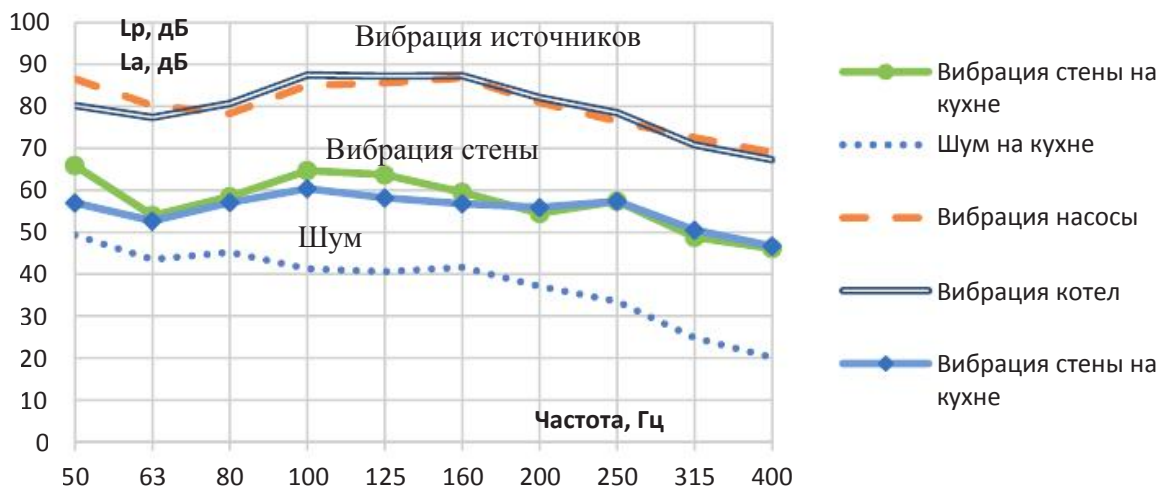


Рис. 4. Сравнение вибрации и шума в помещении кухни

Для подтверждения результатов анализа, выполнен расчет приведенного УЗД в помещении кухни ($L_{n,s}$), который зависит от уровня звуковой мощности структурного шума ($L_{W,s,inst}$), коэффициента преобразования структурного шума в воздушный (D_{sa}) и звукоизоляции побочного шума по пути звукопередачи ($R_{ij,ref}$) [12]:

$$L_{n,s,ij} = L_{s,inst,i} - D_{sa,i} - R_{ij,ref} - 10 \lg \frac{S_i}{S_{ref}} - 10 \lg \frac{A_{ref}}{4}, \quad (2)$$

где S_{ref} — опорное значение площади, 10 м^2 , A_{ref} — стандартная эквивалентная площадь звукопоглощения, 10 тм^2 .

На рис. 5 представлено сравнение рассчитанного приведенного УЗД в помещении кухни ($L_{n,s}$) с результатами измерений (L_p). Приведенный УЗД

в помещении кухни от вибрации смежной стены в рассматриваемом частотном диапазоне Δf_2 совпадает с результатами измерений в пределах 5дБ, что соответствует точности используемого метода [12]. Расчет подтверждает сделанные ранее выводы, что шум в помещении кухни определяется работой двух источников.

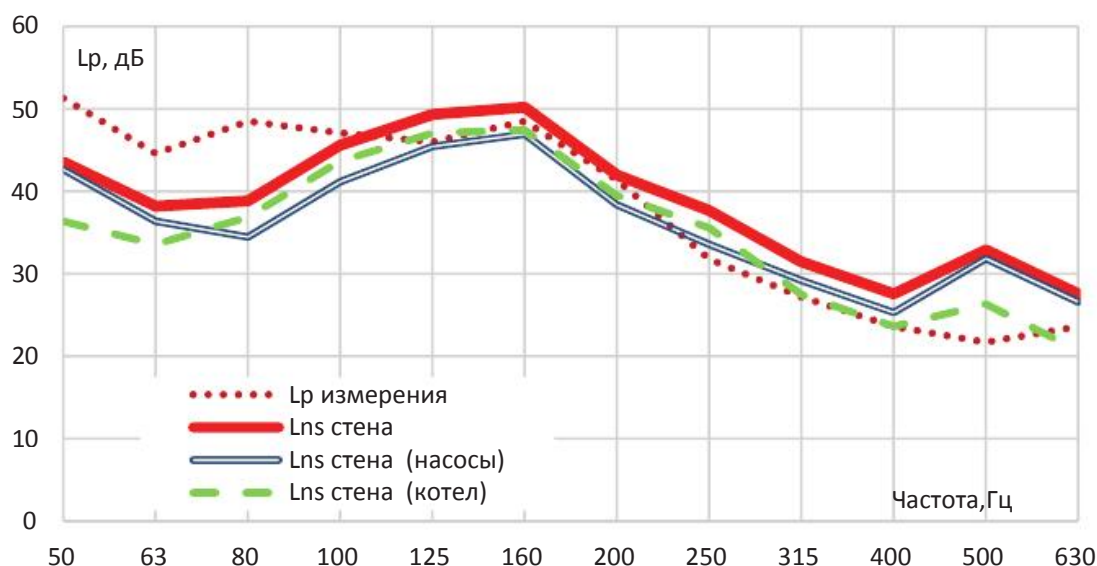


Рис. 5. Сравнение приведенного УЗД (L_{ns}) с результатами измерений (L_p)

Обсуждение. По результатам анализа можно сделать вывод, что повышенные уровни шума в помещении кухни обусловлены работой насосного оборудования и котла, расположенных в помещении крышной котельной. При этом влияние работы лифтового оборудования и близкое расположение трубопровода было не существенно и исключено из последующей разработки виброзащитных мероприятий.

В качестве средств снижения шума в рассматриваемом помещении предлагается заменить резиновые элементы, расположенные в основании насосов на более «мягкие» для увеличения эффективности виброизоляции в частотном диапазоне Δf_2 , а также установить амортизаторы под лапы водогрейного котла. Снижение вибрации «в источнике» снизит уровни структурного шума ограждающих конструкций помещения кухни, что закономерно приведет к снижению уровней звукового давления до психологически комфортных.

Заключение. Выполнен анализ вклада составляющих шума инженерного оборудования в помещении кухни. Показано, как для нескольких единиц оборудования, установленного в смежных и близлежащих помещениях, выделено преобладание структурной составляющей в частотном диапазоне 63...250 Гц при работе насосного оборудования и котла, передаваемой через несущие элементы ограждений здания. Предложена замена резиновых элементов под насосами, выполняющие функции виброизоляторов, а также установка виброизоляторов под водогрейный котел.

Список источников

- [1] СП 54.13330.2022. Здания жилые многоквартирные. Свод правил: актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. Москва, ФАУ «ФЦС», 2022.
- [2] СанПиН 2.1.3684–21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Москва, 2021.
- [3] СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Москва, 2021.
- [4] СП 51.13330.2011. Защита от шума. Свод правил: актуализированная редакция СНиП 23-03-2003: (с изменениями № 1, № 2, № 3). Москва, Минрегион России, 2011.
- [5] Болдина С.В. Влияние шума на организм человека. *Международный научный журнал «Инновационная наука»*, 2021, № 5, с. 138–140.
- [6] Плотников А.С. Снижение вибрационных нагрузок при эксплуатации крышных котельных. *Вестник ИШ ДВФУ*, 2018, № 1 (34), с. 77–82.
- [7] Даниелян А.С. Практические методы снижения шума в помещениях жилых домов от инженерного оборудования индивидуальных тепловых пунктов. *Вестник МГСУ*, 2011, № 3–1, с. 73–76.
- [8] Noda S., Kamijo Y., Mizuno S., Matsushita M. Experimental Study of Vibration and Noise of Elevators. *Acoustics*, 2025, vol. 7, iss. 2, pp. 154–172. <https://doi.org/10.3390/acoustics7020012>
- [9] Кузнецова А.Д. Идентификация источников шума и вибрации в офисном помещении для разработки средств снижения. *Акустика среды обитания. X Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 221–231.
- [10] ГОСТ ISO 5348–2024. Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров. Москва, Институт стандартизации, 2024.
- [11] СП 275.1325800.2016. Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции. Москва, Минстрой России, 2016.
- [12] ГОСТ Р ЕН 12354-1–2012. Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Москва, Стандартинформ, 2014.