

УДК: 534.21
OECD: 1.03.AA

Оценка прямых и косвенных путей звукопередачи от работы роллетных ворот подземной автостоянки

Пименов И.К.¹, Кузнецова А.Д.^{2*}

¹ К.т.н., с.н.с., заведующий кафедрой ГСП

² Старший преподаватель кафедры ГСП

^{1,2} Государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В статье приведена идентификация путей распространения шума в помещение жилой квартиры от ворот подземной автостоянки роллетного типа, работа которых является причиной повышенного шума в нормируемом помещении. Авторами выполнены спектральные измерения шума и вибрации в квартире, расположенной на втором этаже, над воротами, а также измерения вибрации опорной рамы ворот и воздушного шума при открывании и закрывании роллет. Приводится расчетная оценка вклада разных путей звукопередачи, в частности вклада проникающего воздушного шума и вклада структурной составляющей в помещении.

Сопоставление результатов расчета и измерений уровня звукового давления в нормируемом помещении подтвердило корректность разработанной виброакустической модели распространения шума. На основе верифицированной модели предложены рекомендации по снижению шума в квартире, подтвержденные впоследствии инструментальными замерами.

Ключевые слова: звукопередача, шумозащитные мероприятия, распространение вибрации, структурный шум, ворота роллетного типа, опорная рама.

Evaluation of direct and indirect sound transmission paths from the operation of roller gates of an underground parking lot

Pimenov I.K.¹, Kuznetsova A.D.²

¹ *PhD, Head of the Department of GSP*

² *Senior lecturer of the Department of GSP*

^{1,2} *State marine technical University, St. Petersburg, Russia*

Abstract

The article presents the identification of ways of noise propagation into the premises of a residential apartment from the gates of an underground parking lot of roller type, the operation of which is the cause of increased noise in a normalized room. The authors performed spectral measurements of noise and vibration in an apartment located on the second floor above the gate, as well as measurements of vibration of the gate support frame and air noise when opening and closing the shutters. A calculated assessment of the contribution of different sound transmission paths, in particular the contribution of penetrating air noise and the contribution of the structural component in the room, is given.

Comparison of the results of calculation and measurement of the sound pressure level in the normalized room confirmed the correctness of the developed vibroacoustic model of noise propagation. Based on the verified model, recommendations for noise reduction in the apartment are proposed, subsequently confirmed by instrumental measurements.

Keywords: *sound transmission, noise protection measures, vibration, structural noise, roller-type gates, support frame.*

*E-mail: ad-kuz@mail.ru (Кузнецова А.Д.)

Введение

Изменение №2 к СП 51.13330.2011 «Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» [1] в 2022 г добавило требование к оценке звукоизоляции ударного шума, которое необходимо оценивать с учетом структурной звукопередачи по ГОСТ РЕН 12354-2 [2]. До принятия указанного изменения для оценки структурного шума при проектировании зданий выполнялся только расчет индексов ударного шума на соответствие нормативным требованиям. На практике это часто приводило к жалобам жильцов на шум от работы инженерно-технологического оборудования (лифтов, крышных котельных, автоматических ворот подземных автопарковок).

Измерения шума и вибрации в квартире многоэтажного жилого дома, расположенной на втором этаже, были выполнены для определения причин повышенного шума при открытии/закрытии ворот подземной автостоянки роллетного типа.

Створ ворот расположен непосредственно под помещением квартиры. Окна квартиры, выполненные из двухкамерного стеклопакета, выходят на фасад жилого дома. Несущие стены квартиры выполнены из монолитного железобетона (ЖБ) толщиной 200 мм, отделка стен и потолка отсутствует. На несущем перекрытии (ЖБ-200 мм) выполнена стяжка толщиной 70 мм по изолирующему слою из звукоизоляционного материала «Стенофон» толщиной 10 мм. Взаимное расположение ворот и помещения квартиры приведено на рисунке 1.

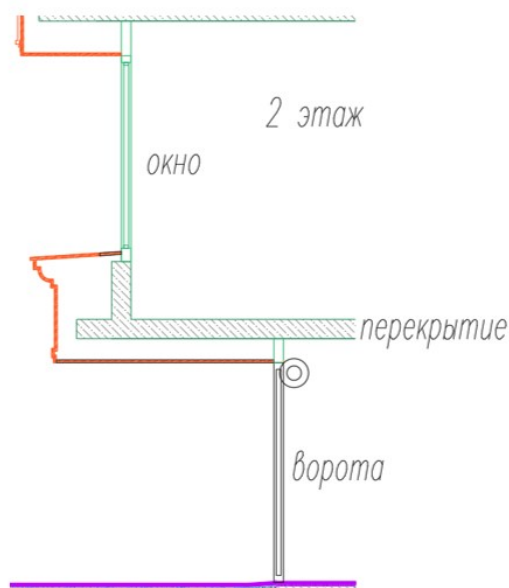


Рис. 1. Взаимное расположение ворот и квартиры на 2-м этаже

Ранее выполненные измерения шума в этой квартире показали превышения нормативных значений для ночного времени суток. Согласно протоколу натурных измерений эквивалентный уровень звука (УЗ) в квартире при закрытых окнах составил 32 дБА, при нормативных значениях 25 дБА (с учетом поправки «-5 дБА» на работу инженерного оборудования [3]).

Источником шума в жилой квартире являются роллетные ворота, состоящие из приводного электродвигателя и кассеты с роллетами, закрепленными на несущей стальной раме П-образной формы (сечение рамы – квадрат со стороной 80 мм). Вертикальные стойки рамы опираются на фундамент дома и по всей своей длине отделены от несущих конструкций дома. Поперечная перекладина рамы соединена с несущим перекрытием 2-го этажа посредством двух амортизаторов АКСС-120. Общая масса несущей рамы,

электродвигателя и кассеты с роллетами составляет 240 кг, что свидетельствует об ослаблении передачи вибрации через амортизаторы начиная с частоты около 60 Гц.

Для выявления путей распространения шума измерения были выполнены в треть-октавных полосах частот в частотном диапазоне 10 Гц-8 кГц для шума и от 10 Гц до 630 Гц-2 кГц для вибрации в зависимости от способа установки вибродатчика.

1. Оценка шума, проникающего через окна

Результаты измерения уровней звука (УЗ) внутри квартиры при закрытом окне составили 32 дБА, при открытом окне – 42 дБА [4] (оба значения превышают нормативные уровни для ночного времени суток для жилых помещений [3]).

На рисунке 2 приведены скорректированные по шкале «А» уровни звукового давления (УЗД) снаружи и внутри дома. Из рисунка видно, что при закрытом окне (режим соответствует штатной эксплуатации жилого помещения, оснащенного системой механической вентиляции) УЗД превышают фоновые уровни шума в частотном диапазоне от 40 Гц до 800 Гц включительно, а также в спектре преобладают шумы с частотами 80 Гц, 160 Гц, 315 Гц и 630 Гц.

Для выявления преобладающего частотного вклада в суммарное значение УЗ на рисунке 2 также приведены скорректированные по шкале «А» УЗД непосредственно у ворот, у фасада жилого дома на высоте 2,3 м и внутри жилой квартиры на различном расстоянии от закрытого окна.

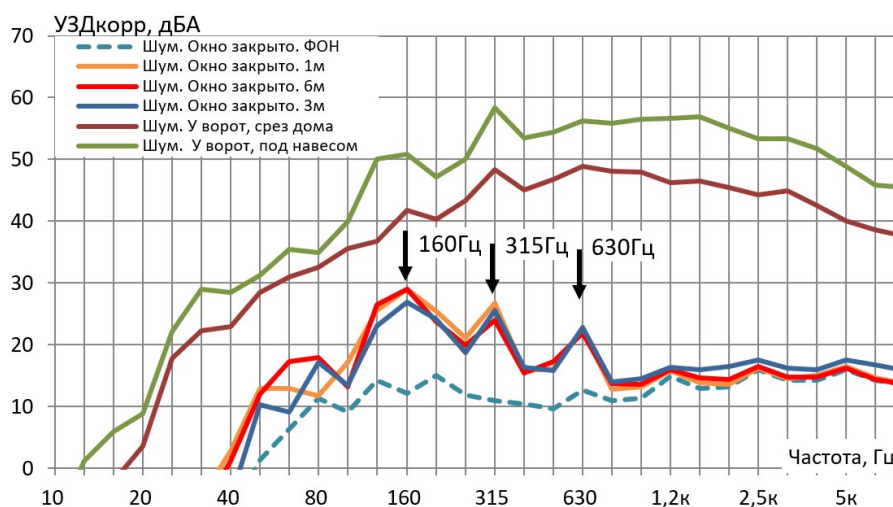


Рис. 2. Корректированные УЗД снаружи и внутри дома при закрытом окне

Анализ треть-октавных спектров шума показывает, что суммарные УЗ в квартире полностью определяются шумом на частотах 160 Гц, 315 Гц и 630 Гц. При измерении шума внутри квартиры по мере удаления от окна (на 1 м, 3 м и 6 м) УЗД практически не изменяются во всем частотном диапазоне. В случае проникновения шума от ворот через окна, УЗД в квартире должны были бы уменьшаться по мере удаления от окон, по крайней мере, на средних и высоких частотах.

Для подтверждения отсутствия существенного вклада шума, проникающего через окна жилого помещения, была разработана акустическая модель фрагмента здания с воротами в сертифицированной программе «АРМ Акустика-3D» [5]. Результаты расчета показали, что уровни шума в квартире, проникающие через закрытые окна, составляют 21 дБА, что существенно ниже измеренных 32 дБА.

Следует отметить, что шум, проникающий через перекрытие 2-го этажа, очевидно, не является определяющим путем распространения, т. к. индекс изоляции воздушного

шума для ЖБ-200 равен $R_w = 57$ дБ [6]. Шум, измеренный под перекрытием при работе роллетных ворот, составил 69 дБА, что позволяет оценить уровень проникающего звука в квартире $УЗ=69-57+10\lg S-5=20$ дБА (где S – площадь ограждающего элемента помещения квартиры) [1].

2. Оценка структурного шума в квартире

Отсутствие проникающего через окна шума косвенно свидетельствует о наличии структурного шума в помещении.

2.1. Анализ результатов измерений вибрации

Структурный шум – это шум, создаваемый конструкциями (пол, стены и потолок), ограждающими помещение. Поэтому были выполнены измерения вибрации пола квартиры, представленные на рисунке 3. Измерения уровней вибрации представлены в уровнях виброускорения относительно стандартного порога 10^{-6} м/с².

Из анализа представленных графиков видно, что вибрация пола в момент открывания/закрывания ворот превышает фоновые уровни в диапазоне частот от 31,5 Гц до 630 Гц, включительно. В этот диапазон попадают 4 частотных пика на 63 Гц, 160 Гц, 315 Гц и 630 Гц, причем частоты трех последних пиков соответствуют определяющим пикам в УЗД (в шуме). Отдельно, следует отметить, что вибрация пола в центре помещения, где расположено крепление опорной рамы ворот, превышает вибрацию пола на краю помещения вблизи несущей стены.

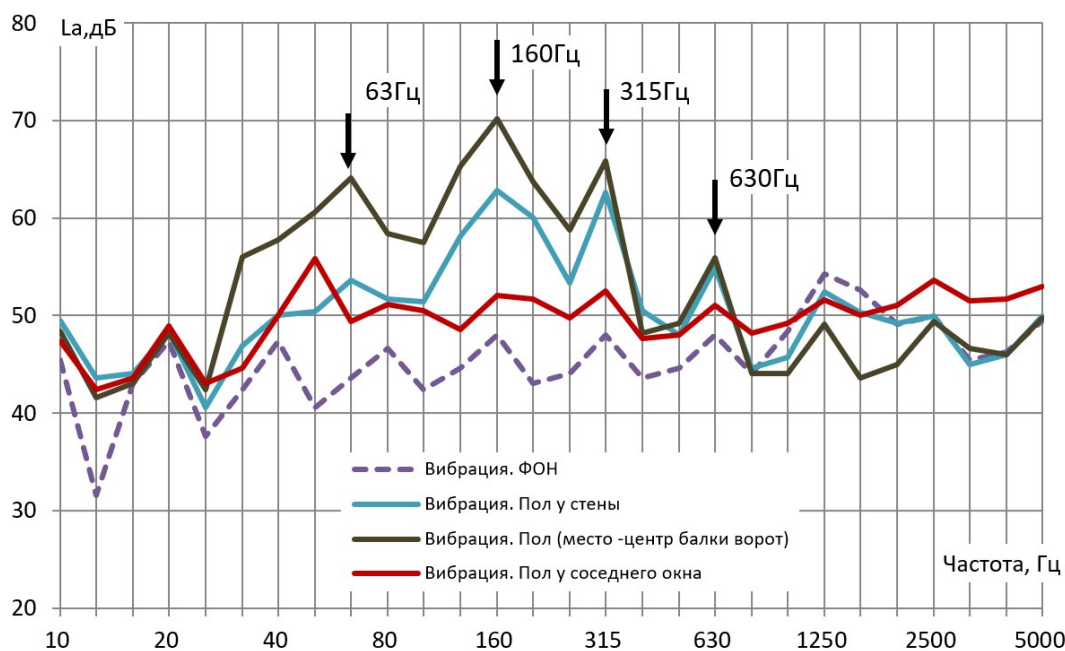


Рис. 3. Вибрация пола квартиры при работающих и неработающих (ФОН) воротах

Сопоставление вибрации пола и выполненных одновременно уровней шума в квартире представлено на рисунке 4. Измерения шума приведены для наглядности в виде скорректированных УЗД. Частоты 160 Гц, 315 Гц и 630 Гц присутствуют одновременно в результатах измерения шума и вибрации, что подтверждает определяющую роль структурного шума, обусловленного вибрацией пола.

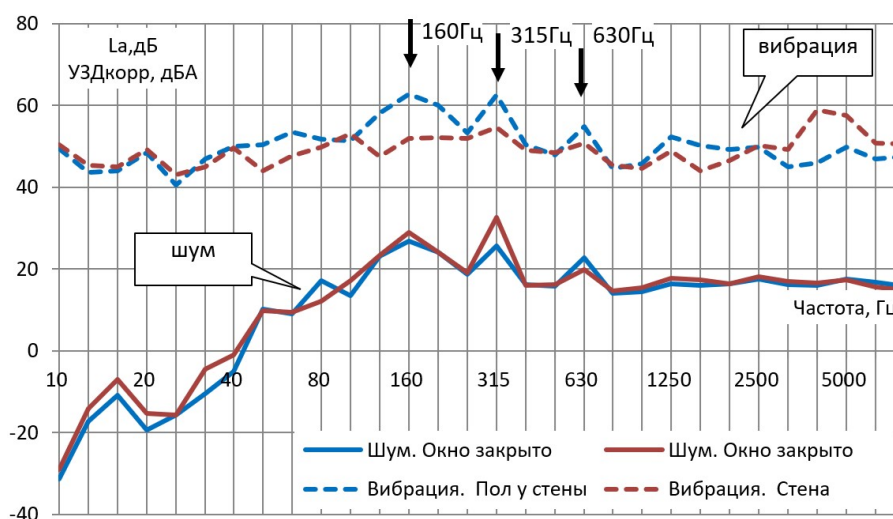


Рис. 4. Сопоставление вибрации пола и скорректированного УЗД в помещении

2.2. Расчет структурной составляющей шума

Для количественной оценки вклада структурной составляющей шума в суммарный шум помещения был выполнен расчет шума по ГОСТ 12354 [2;7].

Согласно методике [2], для расчета необходимо определить все возможные пути звукопередачи (прямые и косвенные), в предположении, что звукопередача по каждому из путей считается независимой. Таким образом, минимальное количество путей распространения шума в помещении: один прямой путь и 4 косвенных пути через стены [8].

На рисунке 5 показан план квартиры с проекцией расположения опорной рамы ворот. Согласно анализу результатов измерения вибрации, основной путь распространения вибрации от роллетных ворот – прямой. Вибрация, распространяющаяся по внешнему фасаду (косвенный путь передачи), не вносит значимого вклада в шум в квартире. Измеренная вибрация стен существенно ниже вибрации пола (более чем на 15 дБ в рассматриваемом частотном диапазоне), что позволяет исключить данный путь звукопередачи из дальнейшего рассмотрения. Проведенный выше анализ результатов измерений шума и вибрации позволяет существенно сократить большой массив расчетов, регламентируемый рассматриваемой методикой.

Приведенный уровень звукового давления ударного шума при прямой звукопередаче равен:

$$L_{n,d} = L_{n,situ} - \Delta L_{situ} - \Delta L_{d,situ}, \quad (1)$$

где $L_{n,situ}$ – приведенный уровень звукового давления ударного шума в натуральных условиях, дБ; ΔL_{situ} – снижение уровня звукового давления ударного шума напольным покрытием (плавающим полом), дБ; $\Delta L_{d,situ'}$ – снижение уровня звукового давления ударного шума (улучшение звукоизоляции ударного шума) дополнительным слоем на разделительном элементе со стороны приемного помещения в натуральных условиях, дБ. В рассматриваемом случае $\Delta L_{d,situ'} = 0$ дБ.

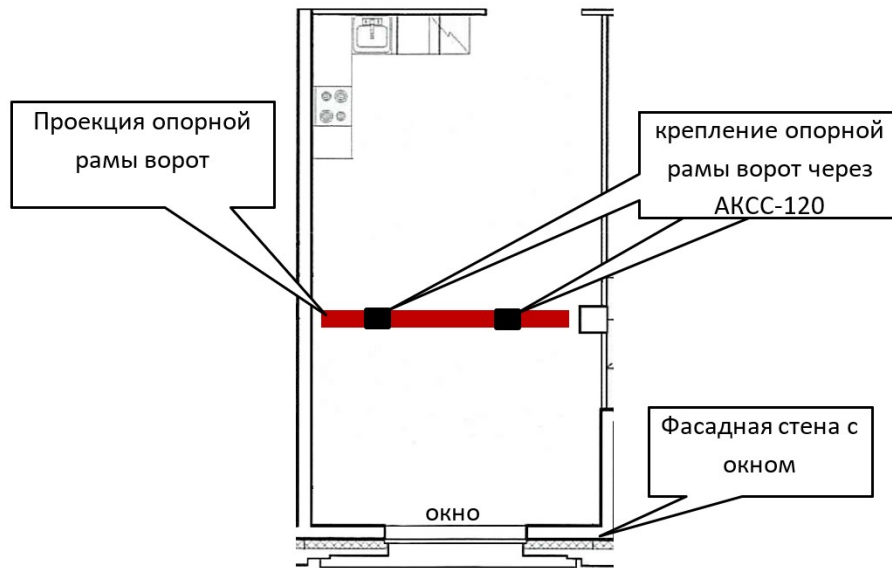


Рис. 5. Помещение квартиры с проекцией расположения опорной рамы ворот

Приведенный уровень звукового давления ударного шума для обследуемого помещения был рассчитан согласно ГОСТ 12354-2 [2] для монолитных полов:

$$L_{n,situ} = L_F + 10lg \frac{Re(Y)\sigma}{m'} + 10lg T_c + 10.6, \quad (2)$$

где L_F – уровень силы, передаваемый с опорной рамы ворот на перекрытие 2 этажа, дБ (относительно 10^{-6} Н);

m' – поверхностная плотность перекрытия, кг/м²;

$Re(Y)$ – действительная часть податливости перекрытия, с·м²/кг²;

σ – коэффициент излучения изгибных волн (принят равным единице на частотах выше критической $f_{кр} = 92$ Гц. На частотах выше первой резонансной частоты перекрытия $f_{11} = 32$ Гц и ниже $f_{кр}$ коэффициент излучения увеличивается пропорционально корню из частоты [2]).

T_c – время структурной реверберации пола, с (было определено через суммарный коэффициент потерь [2]).

Величина силы, передаваемая на перекрытие через амортизаторы опорной рамы ворот, была определена по второму закону Ньютона по вибрации, измеренной на опорной раме ворот. В рассматриваемом случае внешнее воздействие представляет собой сосредоточенную силу, в месте крепления амортизаторов опорной рамы к ограждающей конструкции здания, которую можно записать в виде [9]:

$$F_0(x_F, y_F, z_F) = \int F_0(x_F - x)\delta(y_F - y)\delta(z_F - z)dx dy dz, \quad (3)$$

где $\delta(x)$ – функция Дирака.

Согласно [9] отношение среднего квадрата скорости к квадрату скорости в точке наблюдения (q_v), если колебательная система возбуждается в центре или с краю, равна:

$$q_v = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{при одномерных колебаниях} \\ \frac{1}{4} & \text{при двумерных колебаниях} \end{cases}$$

Для опорной рамы ворот, которая в первом приближении может рассматриваться как изгибно-колеблющаяся балка можно принять $q_v = 0,5$ на частотах выше первой собственной частоты [10]:

$$f_i = \alpha_i \sqrt{\frac{B_{ст}}{m_{ст} l^4}} = 7 \text{ Гц} \quad (4)$$

где коэффициент для первой формы колебаний $\alpha_i = 3,57$; $B_{ст}$ – изгибная жесткость, Нм^2 ; $m_{ст}$ – погонная масса, кг/м ; l – длина, м.

Снижение уровня звукового давления ударного шума плавающим полом (ΔL_{situ}) в рассматриваемом жилом помещении было определено согласно [2], как для песчано-цементной смеси:

$$\Delta L = 30 \lg \frac{f}{f_0}, \quad (5)$$

где f – среднегеометрическая частота треть-октавной полосы, Гц; f_0 – резонансная частота системы, Гц.

Действительная часть податливости пола – величина обратная механическому характеристическому импедансу перекрытия $Re(Y) = \frac{1}{Re(Z)}$, который определен как $Z = 8\sqrt{Bm'}$.

Результаты сравнения расчета приведенного уровня звукового давления ударного шума при прямой звукопередаче (структурной составляющей шума) с измеренным уровнем звукового давления в помещении представлены на рисунке 6. Из сопоставления видно, что в частотном диапазоне 160 Гц-630 Гц расчет прямого пути звукопередачи и натурных измерений совпадают, что подтверждает вывод о преобладающем вкладе структурного шума в акустическую обстановку помещения.

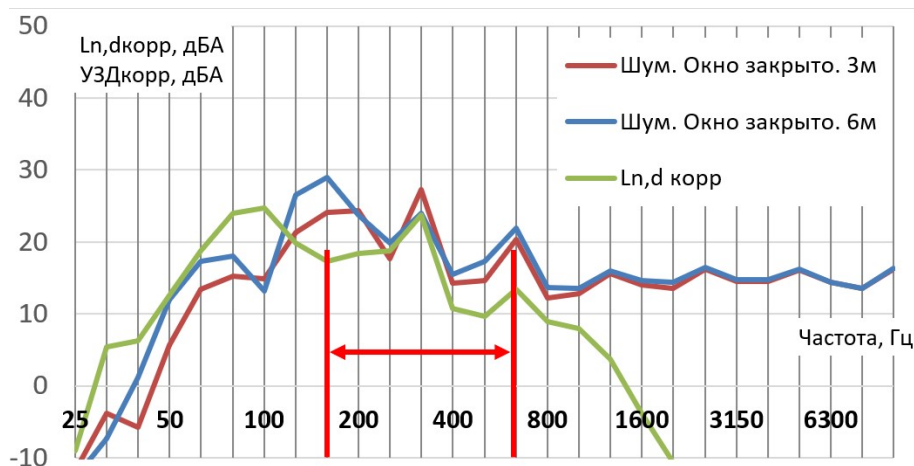


Рис. 6. Сопоставление скорректированного структурного шума (расчет) и скорректированного УЗД в помещении (измерение)

3. Рекомендации по снижению шума в квартире

Проведенный анализ результатов измерений и расчетов шума в обследуемом помещении позволил разработать мероприятия по снижению структурного шума и оценить их эффективность. Для снижения шума в квартире, было предложено увеличить толщину звукоизоляционного слоя без изменения общей толщины слоев пола. Расчеты различных вариантов конструкции изолирующего слоя были выполнены на основе ориентировочной оценки улучшения индекса приведенного ударного шума ΔL_{nw} по [6] и на основе оценки уровня приведенного ударного шума по [2].

Наилучшие результаты по снижению шума показало использование изолирующего материала «Шумостоп С-2» толщиной 20 мм, которое позволило снизить структурный шум в квартире на 6 дБ. Таким образом, основываясь на результатах измерений, шум в помещении после реализации предложенных мероприятий составит $L = 32 - 6 = 26$ дБА. С учетом положения ГОСТ 23337–2014 [4], что при проведении измерений в необорудованных жилых помещениях следует применять поправку «-2 дБА» на звукопоглощение, шум в квартире не будет превышать 25 дБА.

После внедрения предложенного варианта снижения шума, сторонней аккредитованной лабораторией были проведены повторные акустические измерения шума в обследованном помещении при работе роллетных ворот, которые зафиксировали значение уровня звука равное 24 дБА при неопределенности измерений 1 дБА, что хорошо соответствует расчетным значениям.

Заключение

1. Предварительный анализ результатов измерений вибрации ограждающих конструкций и шума в помещении, расположенном над роллетными воротами въезда на подземную автостоянку, позволяет на начальном этапе работы исключить пути звукопередачи с наименьшим вкладом, сократив процедуру расчета по ГОСТ 12354–2 [2] в несколько раз.

2. Учет всех путей распространения шума по [2] на самом деле не повышает точность прогнозных оценок, т. к. в большинстве случаев все исходные данные, необходимые для проведения полного расчета, недоступны. В рассматриваемом случае расчет был существенно сокращен, т. к. динамическое воздействие от привода ворот передавалось через крепление амортизаторов, что позволило упрощенно оценить величину возбуждающей силы. При жестком креплении опорной рамы к конструкциям здания оценка передаваемых динамических усилий сильно затрудняется. На практике проведение измерений динамических воздействий как аппаратурно, так и организационно крайне затруднено, т. к. требуется либо размещение датчиков между механизмом и опорной конструкцией, либо изменение узлов крепления.

3. На основании анализа измерений и расчетов шума в жилом помещении от расположенных под ним роллетных ворот было установлено, что определяющим шумом является структурный шум, связанный с вибрацией пола в помещении. При этом шум, проникающий через окна и перекрытие не влияет на суммарные УЗ. Результаты расчета структурной составляющей УЗД удовлетворительно совпали с результатами измерений шума, что позволило обосновано разработать мероприятия по снижению шума в виде замены изолирующего слоя на материал «Шумостоп-С2» и оценить эффективность его применения, которая составила 6 дБА, что впоследствии было подтверждено результатами натуральных измерений.

Список литературы

1. СП51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением №1,2,3).
2. ГОСТ Р ЕН 12354–2 Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Часть 2. Звукоизоляция ударного шума между помещениями.
3. СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

4. ГОСТ 23337–2014 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012612812 АРМ «Акустика» версия 3.
6. СП 275.1325800.2016 «Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции»
7. ГОСТ Р ЕН 12354–1 Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Часть 1. Звукоизоляция воздушного шума между помещениями
8. Кузнецова А.Д, Пименов И.К. Сопоставление двух методик учета косвенных путей распространения шума при оценке звукоизоляции ограждающих конструкций, Сборник докладов Всероссийского фестиваля науки «Наука 0+», 2022.
9. Простые и сложные колебательные системы: Пер. с англ. / Е. Скучик ; Под ред. Л. М. Лямшева. - Москва: Мир, 1971. - 557 с.
10. Акустическое проектирование судовых конструкций: Справочник /А. С. Никифоров. - Ленинград: Судостроение, 1990. – 198 с.

References

1. SP51.13330.2011 Noise protection. Updated version of SNiP 23-03-2003 (with change No. 1,2,3).
2. GOST R EN 12354–2 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2. Impact sound insulation between rooms.
3. SanPiN 1.2.3685–21 «"Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans»
4. GOST 23337–2014 Noise. Methods of noise measurement in residential areas and in the rooms of residential, public and community buildings.
5. Certificate of state registration of the computer program No. 2012612812 ARM "Acoustics" version 3.
6. SP 275.1325800.2016 «Structures enclosing residential and public buildings. Rules of sound insulation design»
7. GOST R EN 12354–1 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms
8. Kuznetsova A.D, Pimenov I.K. Comparison of two methods of accounting for indirect ways of noise propagation in the evaluation of sound insulation of enclosing structures, Collection of reports of the All-Russian Science Festival «Наука 0+», 2022.
9. Simple and complex oscillatory systems: Translated from English / E. Skushik; Edited by L. M. Lyamshev. - Moscow: Mir, 1971. - 557 p.
10. Acoustic design of ship structures: Handbook / A. S. Nikiforov. - Leningrad: Shipbuilding, 1990. – 198 p.