

УДК: 62-752  
OECD: 1.03 AA

## Выявление и устранение причин низкочастотных колебаний плиты плавающего пола машинного отделения

Пименов И.К.<sup>1\*</sup>, Кузнецова А.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Заведующий кафедрой «Гидрофизических средств поиска»

<sup>2</sup> Старший преподаватель кафедры «Гидрофизических средств поиска»

<sup>1,2</sup> Государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы выявления причины низкочастотных колебаний плиты плавающего пола машинного отделения жилого здания при работе лифтовых лебедок. Такая оценка весьма важна для технологической целостности и работоспособности лифтового оборудования, а также для дальнейшей оценки распространения звуковых колебаний по элементам конструкций здания в жилые помещения.

Авторами проведены измерения вибраций на плите плавающего пола машинного отделения при работе отдельно грузопассажирских и пассажирских лебедок при двух режимах работы. Выполнены замеры шума в машинном отделении и в лифтовом холле последнего жилого этажа. Представлен анализ результатов измерений вибрации, и установлена форма колебаний плиты плавающего пола.

На основании проведенного анализа предложены и внедрены мероприятия, направленные на снижение высоких уровней вибрации плиты плавающего пола в пусковом (монтажном) режиме работы лифтовой лебедки, в качестве которых выступают упоры-ограничители, а также выполнены повторные замеры шума в лифтовом холле последнего жилого этажа.

**Ключевые слова:** лифтовое оборудование, колебания плиты, вибрация, виброзащитные мероприятия, упоры-ограничители, структурный шум.

## *Identification and elimination of the causes of low-frequency vibrations of the floating floor plate of the engine room*

*Pimenov I.K.<sup>1\*</sup>, Kuznetsova A.D.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Head of the Department of Hydrophysical Search Tools*

<sup>2</sup> *Senior lecturer of the Department of Hydrophysical Search Tools*

<sup>1,2</sup> *State marine technical University, St. Petersburg, Russia*

### **Abstract**

*The article discusses the issues of identifying the causes of low-frequency vibrations of the floating floor plate of the engine room of a residential building during the operation of elevator winches. Such an assessment is very important for the technological integrity and operability of elevator equipment, as well as for further evaluation of the propagation of sound vibrations through the structural elements of the building into residential premises.*

*The authors measured vibrations on the floating floor plate of the engine room when working separately with cargo and passenger winches in two modes of operation. Noise measurements were made in the engine room and in the elevator lobby of the last residential floor. The analysis of the vibration measurement results is presented and the shape of the floating floor plate vibrations is established.*

*Based on the analysis, measures aimed at reducing the high vibration levels of the floating floor plate in the starting mode of operation of the elevator winch, which are stops-limiters, are proposed and implemented, and an experimental evaluation of their effectiveness is performed.*

**Keywords:** *elevator equipment, fluctuations plate, vibration, vibration protection measures, stops-limiters, structural noise.*

## Введение

На этапах проектирования вопросы структурной составляющей шума от работы оборудования зачастую остаются не рассмотренными, что обусловлено в первую очередь возникающими трудностями достоверной оценки данного вида звукопередачи ввиду отсутствия утвержденных методов расчета [1].

Отсутствие количественной оценки распространения звуковых колебаний по элементам конструкций зданий, которые порой вносят существенный вклад в общую акустическую обстановку в помещении, приводит к «неожиданным» превышениям нормативных значений.

Без учета данной составляющей, проблемы с повышенными уровнями шума могут наблюдаться как на рабочих местах в производственных цехах, так и на границах санитарно-защитных зон [2]. Для инженерного общедомового оборудования основными источниками структурного шума, на работу которых приходится большая часть жалоб жильцов, являются котельные, вентиляционное оборудование и лифтовые лебедки [3].

При этом иногда причину повышенных уровней шума в помещениях жилых домов от работы лифтового оборудования можно определить визуально, как в рассматриваемом случае с низкочастотными колебаниями плиты плавающего пола машинного отделения, возникающими при работе лифтовых лебедок.

Задачами инструментальных исследований является определение и последующее устранение выявленного источника, частота колебаний которого лежит в диапазоне от 1 Гц до 250 Гц.

## 1. Измерения шума и вибрации от работы лифтовых лебедок в машинном отделении

При инструментальных замерах вибрации обследовано машинное отделение (МО) в корпусе жилого комплекса при сложной конфигурации машинного отделения (см. рисунок 1), в котором расположено три лебедки: две грузоподъемностью 630кг (пассажирская) и одна грузоподъемностью 1000кг (грузопассажирская).

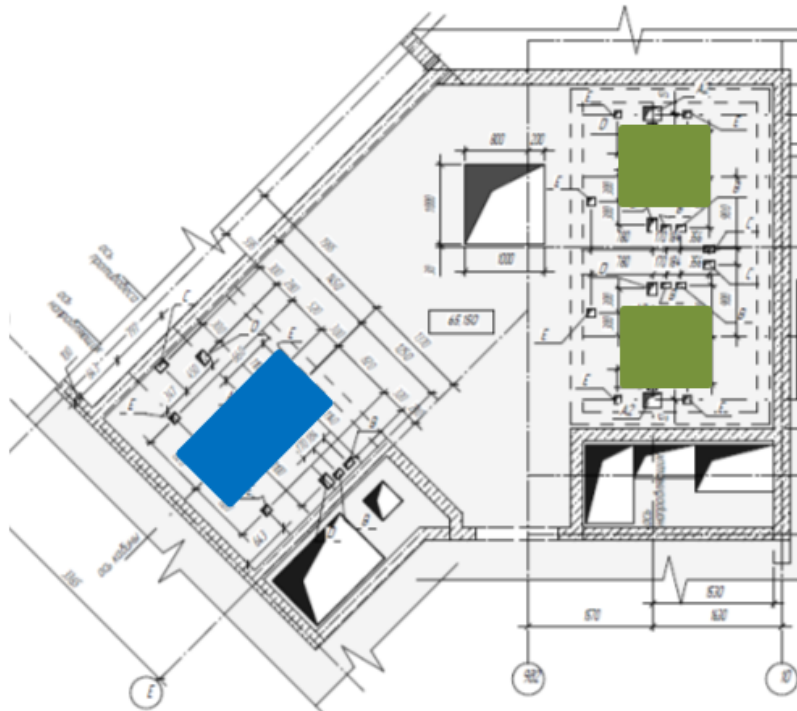


Рис. 1. Машинное отделение. Зеленый цвет – расположение лебедок грузоподъемностью 630 кг, синий – лебедка грузоподъемностью 1000 кг.

В машинном отделении выполнен плавающий пол, который состоит из установочной железобетонной плиты толщиной 130мм, отделенной от основной железобетонной плиты перекрытия (ЖБ 200мм) слоем минеральной ваты толщиной 150мм. По периметру МО реализован акустический шов, заполненный минватой толщиной 50мм, который отделяет плиту пола от соприкосновения с несущими стенами. Разрез плавающего пола и фрагмент конструктива представлен на рисунке 2.

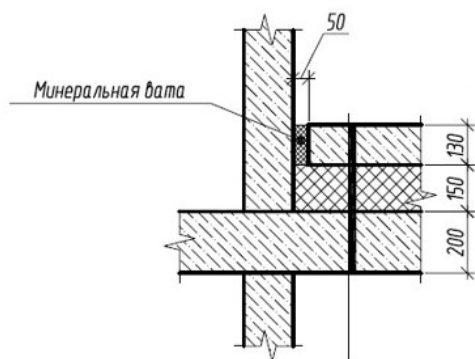


Рис. 2. Разрез плавающего пола в машинном отделении.

В соответствии с МУК 4.3.3722–21 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях» [4] измерения шума от лифтового оборудования следует проводить в периоды максимальной эксплуатации или при непрерывном движении лифтов (не менее 10 минут), в том числе с остановками и открыванием-закрыванием дверей кабины лифта. Однако второй режим работы лифтового оборудования связан с относительно длительным простоем лебедки и не характеризует проблемные вопросы, связанные с эксплуатацией.

По указанной причине были выбраны следующие режимы работы лифтового оборудования: монтажный (с резкой остановкой) и штатный. Для указанных режимов исследовались вибрационные параметры плиты плавающего пола, определяющие прочность и надежность плиты, и контролировался шум в лифтовом холле.

Вибрация пола машинного отделения не нормируется, но при проведении измерений визуально наблюдались «качания» плавающего пола, что может привести к выходу из строя лифтовой лебедки, которая должна жестко крепиться к полу [5], либо к разрушению плавающего пола.

На рисунке 3 приведены результаты серии измерений уровней вибрации пола МО в третьоктавных полосах частот в различных точках, от работы лебедок разной грузоподъемности (630 кг и 1000 кг) для монтажного режима работы. Уровни вибрации представлены относительно порогового значения  $a_0 = 10^{-6} \text{ м/с}^2$ .

Частотный диапазон измерений ограничен 3 кГц, что обусловлено способами крепления вибродатчиков к измерительным поверхностям. Как видно из рисунка, указанный частотный диапазон измерений полностью охватывает основные вибрационные особенности, т.к. основной «пик» вибрации приходится на частоту 20 Гц (собственная частота колебаний плиты пола как твердого тела на упругом основании). При этом уровни вибрации на частоте 20 Гц превышают вибрацию в широкой полосе 40 Гц - 3 кГц более чем на 12 дБ - 20 дБ.

При измерениях вибрации пола у лебедок с разной грузоподъемностью, с учетом дополнительной нагрузки (900 кг) и без нее, наблюдаются схожие спектральные особенности. При общей статической нагрузке на упругий слой около 4000 кг, смещение собственной частоты колебаний плиты плавающего пола будет в пределах одной третьоктавной полосы анализа, что подтвердилось результатами измерений.

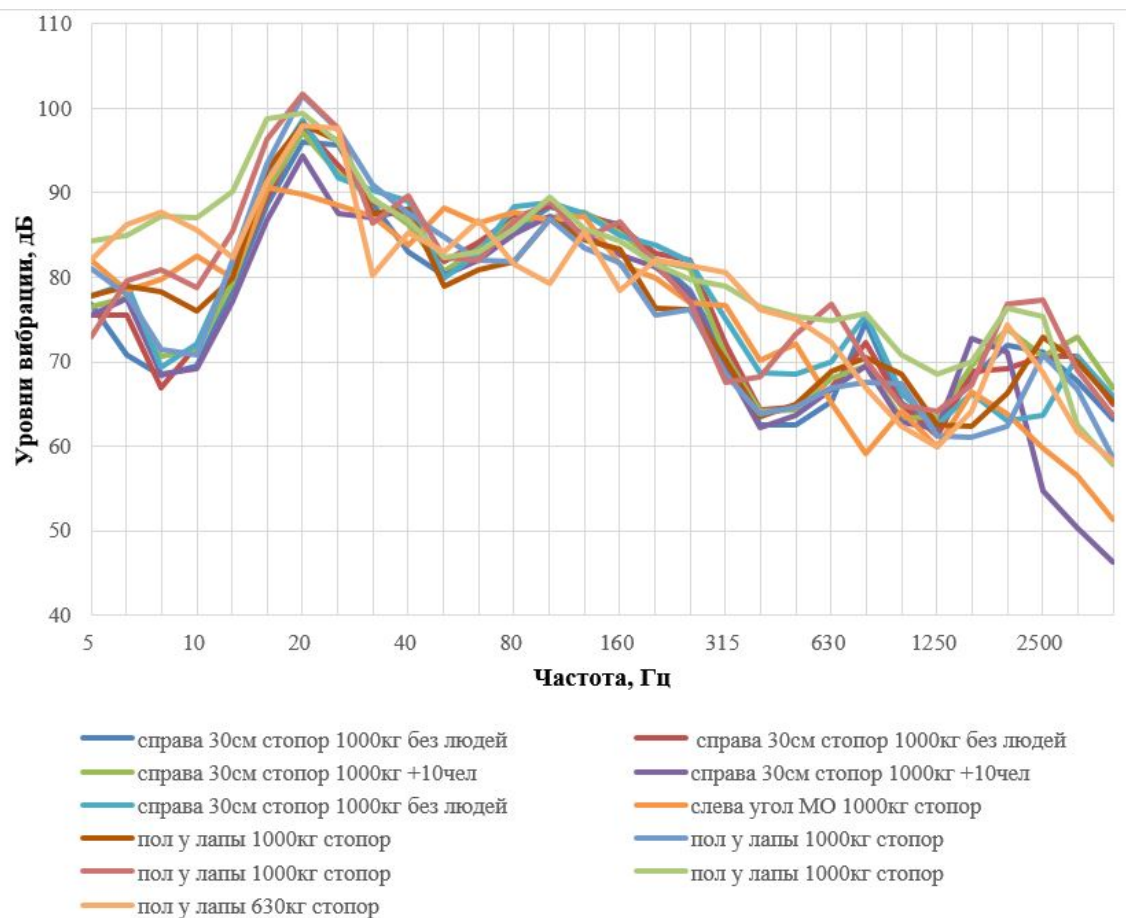


Рис. 3. Уровни вибрации пола МО при монтажном режиме работы лебедок.

Для оценки влияния шума от работы лебедок, выполнены замеры эквивалентных уровней звука в лифтовом холле последнего жилого этажа для штатного и монтажного режимов работы. Эквивалентные уровни звука в лифтовом холле составили 39дБА и 52дБА, соответственно.

Для разработки мероприятий, направленных на снижение высоких уровней вибрации плиты плавающего пола, которые могут привести к преждевременной поломке лифтового оборудования, необходимо установить форму колебаний плиты плавающего пола. В области низких частот плита может совершать следующие виды колебаний:

- Вертикальные колебания как единое целое
- Поворотные колебания плиты
- Изгибные колебания плиты

Для выявления формы колебаний плиты плавающего пола проведены синхронные измерения вибрации двух противоположных краев плиты МО в районе размещения грузопассажирской лебедки.

На рисунке 4 представлена передаточная функция («К») между двумя указанными точками измерения вибрации. Видно, что начиная с частоты 5 Гц и приблизительно до частоты 200 Гц, передаточная функция «К» равна единице ( $20\log(K) = 0$  дБ), что свидетельствует о практически равных уровнях колебаний, характерных для колебаний плиты как единого целого.

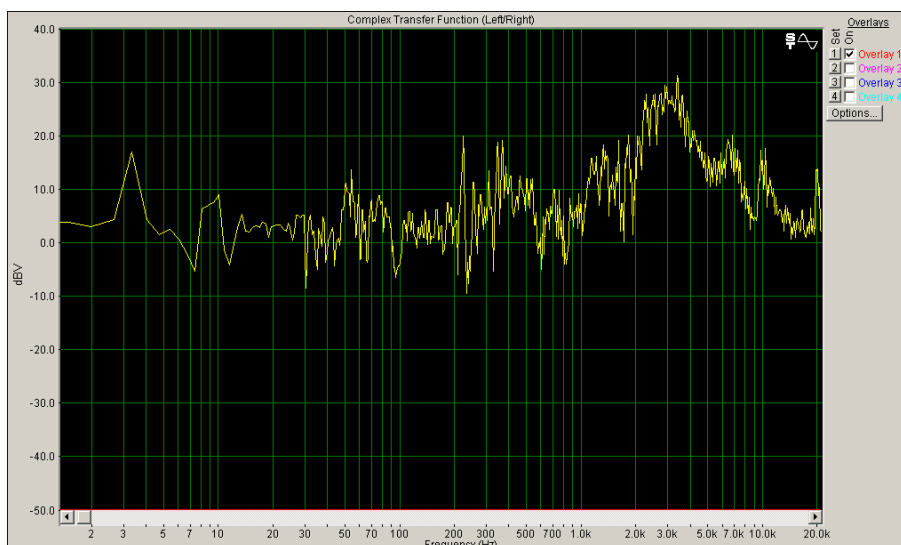


Рис. 4. Передаточная функция «К».

Однако, при этом плита могла совершать поворотные колебания. Для проверки данного положения были измерены фазовые сдвиги амплитудных колебаний противоположных краев плиты, показанные на рисунке 5. Сдвиг фаз между колебаниями противоположных краев плиты в районе расположения грузопассажирской лебедки до частоты 70 Гц равен нулю. Это свидетельствует о том, что вибрации противоположных краев плавающего пола синфазны, и поворотные колебания плиты в указанном частотном диапазоне отсутствуют.

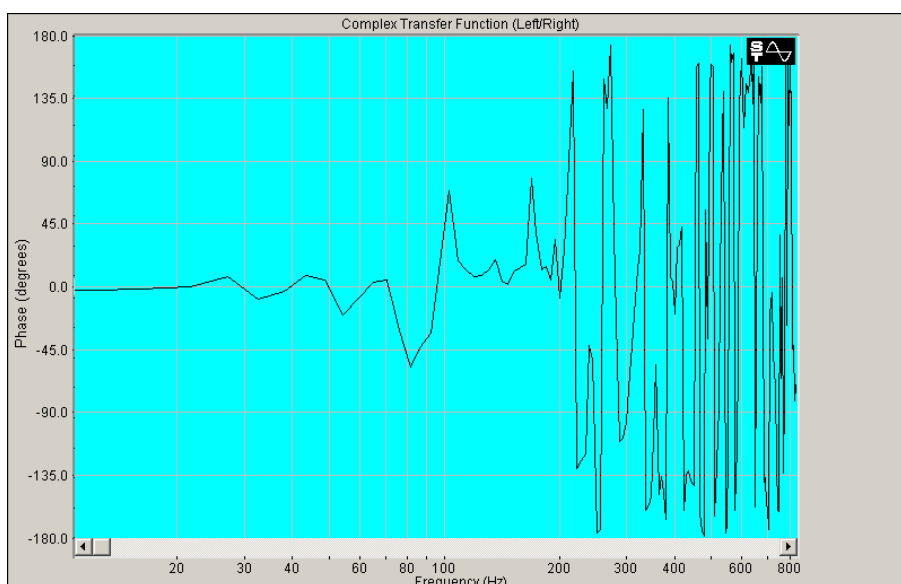


Рис. 5. Сдвиг фаз между колебаниями противоположных краев плиты в районе расположения лебедки 1000 кг.

## 2. Разработка и реализация шумозащитных мероприятий

В качестве мероприятия по снижению вибрации от работы лифтовых лебедок была предложена установка двух упоров-ограничителей. Зонай усиления плавающего пола машинного отделения будет являться только часть МО, в которой установлена лебедка грузового лифта, рядом с которой зафиксированы наибольший уровни вибрации. На рисунке 6 приведено месторасположение упоров-ограничителей.

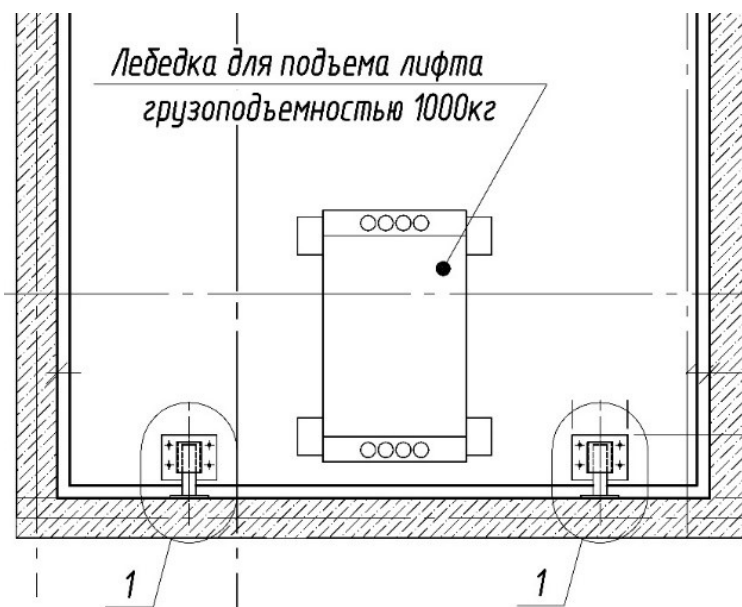


Рис. 6. Месторасположение упоров-ограничителей.

Упоры выполнены из двух деталей - железного двутавра (деталь Д1), жестко прикрепленного к стене машинного отделения и железной полый трубы (деталь Д2), жестко прикрепленной к плавающему полу машинного отделения. Между деталями по всей зоне контакта двутавра с трубой проложена резиновая пластина, для снижения передаваемой вибрации.

Крепление упоров-ограничителей и расположение резиновой пластины представлены на рисунке 7.

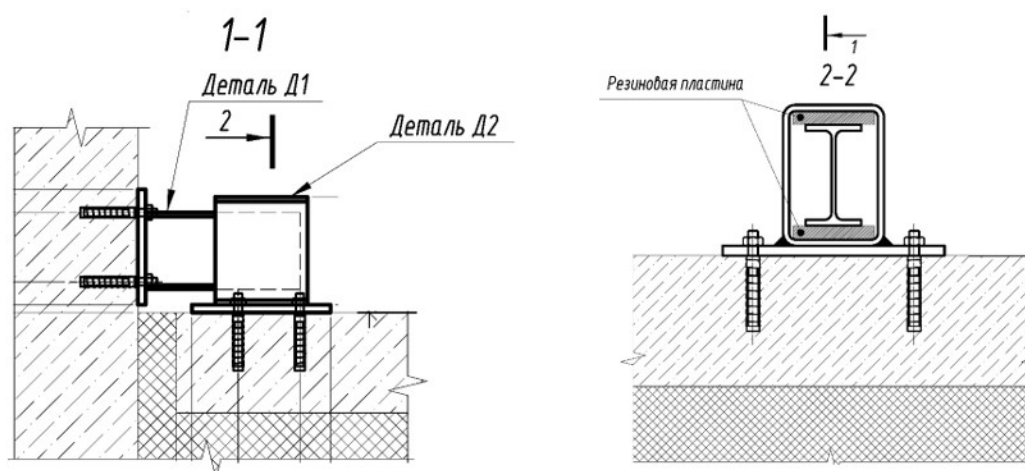


Рис. 7. Крепление упоров-ограничителей и расположение резиновой пластины.

При реализации предложенной конструкции упора-ограничителя увеличивается жесткость соединения плиты плавающего пола со строительной конструкцией здания (стеной), что может сопровождаться увеличением структурного (ударного) шума при штатной работе лифтового оборудования. Это в свою очередь может привести к превышению нормативных значений по шуму в жилых помещениях.

Жесткость изолирующего слоя минваты плавающего пола и жесткость упоров (с учетом технических параметров выбранной резины [6]) были определены по выражению:

$K = E \cdot S/h$ , где  $E$  - модуль упругости материала,  $S$  - площадь элемента  $m^2$ ,  $h$  - толщина элемента, м. Суммарная жесткость определялась как  $K_{сумм} = K_{мв} + K_{упора}$  [7].

Результаты расчета, представленные в таблице 1, показали, что в предложенной конструкции жесткость двух упоров-ограничителей в 6 раз ниже жесткости плавающего пола машинного отделения.

Таблица 1

Сопоставление жесткости плавающего пола МО и упоров-ограничителей

Результаты расчета	До установки упоров-ограничителей	После установки упоров-ограничителей
Модуль упругости материала, Па	5,8E+06	3,7E+07
Толщина элемента ( $h$ ), м	0,016	0,014
длина элемента ( $L$ ), м	1,15	0,09
Ширина элемента ( $B$ ), м	0,065	0,12
Площадь элемента ( $S$ ), $m^2$	0,07475	0,0108
Количество элементов, шт	2	2
Сумм. площадь упруг. слоя ( $S_y$ )	0,1495	0,0216
Жесткость упругого слоя ( $K$ ), Н/м	3,1E+07	5,1E+06

Внешний вид упоров-ограничителей и их месторасположение относительно грузопассажирской лебедки представлено на рисунке 8.



Рис. 8. Внешний вид и месторасположение упоров-ограничителей.

С учетом изменения жесткости соединения плиты плавающего пола с общестроительными конструкциями жилого дома в результате установки упоров-ограничителей, повторно были выполнены измерения шума в лифтовом холле последнего этажа (до и после реализации предложенной конструкции упора-ограничителя). Разработанные упоры-ограничители являются вспомогательным устройством, предназначенным для снижения структурной составляющей шума в помещениях жилого этажа, поэтому эффективность по снижению вибрации МО не оценивалась.

В таблице 2 представлены эквивалентные уровни звука в лифтовом холле последнего этажа до и после проведения мероприятий.

При штатной работе лифтового оборудования эквивалентные уровни звука после установки упоров-ограничителей изменились незначительно (в пределах погрешности измерений) и составляют 40дБА.



При работе лифтового оборудования в монтажном режиме после установки упоров-ограничителей эквивалентные уровни звука уменьшились с 52 дБА до 44 дБА.

Таблица 2

Эквивалентные уровни звука в лифтовом холле до и после установки упоров-ограничителей

Режим работы лебедки	$L_{\text{ЭКВ}}$ , дБА до установки упоров-ограничителей в МО	$L_{\text{ЭКВ}}$ , дБА после установки упоров-ограничителей в МО
Штатный режим	39	40
Монтажный режим	52	44

### Заключение

Выполнены измерения вибрации плавающего пола машинного отделения и уровней шума в лифтовом холле для двух режимов работы лифтового оборудования: монтажного (с резкими остановами оборудования) и штатного. По результатам натурных измерений разработано и реализовано мероприятие по снижению вибрации пола машинного отделения от работы грузопассажирской лебедки – установка упоров-ограничителей с двух сторон от лебедки.

По результатам повторных измерений шума после реализации указанного мероприятия можно сделать вывод, что установка упоров ограничителей в машинном отделении не увеличивает структурную составляющую шума в помещениях, расположенных на последнем жилом этаже.

Эквивалентные уровни звука в лифтовом холле до установки упоров-ограничителей при штатном режиме практически не изменились. Эквивалентные уровни звука в лифтовом холле после установки упоров-ограничителей при монтажном режиме снижены в среднем на 8 дБА.

### Список литературы

1. ГОСТ Р ЕН 12354-5-2012. Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Часть 5. Шум инженерного оборудования.
2. Кузнецова А.Д. Структурный шум на производстве, выявление вклада и методы снижения // Noise theory and practice т.7 вып. 2 – 2021 - с. 218-225
3. Пименов И.К., Дышкин П.Н., Кузнецова А.Д. Идентификация путей распространения шума и вибрации от лифтового оборудования и разработка рекомендаций по снижению шума в жилых квартирах // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием - 2015 - с. 410-420
4. МУК 4.3.3722-21 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях»
5. ГОСТ Р 53780-2010 (ЕН 81-1:1998, ЕН 81-2:1998) Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке
6. ГОСТ 7338-90 Пластины резиновые и резинотканевые. Технические условия

7. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов / Перевод В. Н. Федорова с 3-го америк. изд. - Москва: Физматгиз, 1960-1965.

### References

1. GOST R EN 12354-5-2012. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 5. Sound due to the service equipment
2. Kuznetsova A.D. Structural noise in production, contribution identification and mitigation methods // Noise theory and practice / vol.7 no.2 - 2021 - pp. 218-225
3. Pimenov I.K., Dyshkin P.N. Kuznetsova A.D. Identification of ways of noise and vibration propagation from elevator equipment and development of recommendations for noise reduction in residential apartments // Protection from increased noise and vibration: Collection of reports of the All-Russian Scientific and practical Conference with international participation - 2015 - pp. 410-420
4. MUK 4.3.3722-21. Noise level control in residential buildings, residential and public buildings and premises
5. GOST R 53780-2010 Lifts. General safety requirements for the construction and installation
6. GOST 7338-90 Rubber and rubber fabric plates. Technical conditions
7. Timoshenko, S. P. Resistance of materials / Translated by V. N. Fedorov from the 3rd American Edition - Moscow: Fizmatgiz, 1960-1965.