

УДК: 331.451
OECD: 01.03.AA

Влияние степени детализации модели офисного помещения на результаты компьютерного моделирования распространения шума

Шабарова А.В.^{1*}, Буторина М.В.², Куклин Д.А.³

¹ Аспирант, ² К.т.н., доцент, ³ Д.т.н., профессор

^{1,2,3} Кафедра «Экология и производственная безопасность», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В статье рассматривается проблема снижения шума на рабочих местах офисных работников. Для выбора оптимальной шумозащиты в офисном помещении используется компьютерное моделирование распространения шума, которое позволяет рассмотреть разные варианты шумозащитных мероприятий. В качестве программы для моделирования распространения шума в офисном помещении и построения карт шума используется программа SoundPLAN. В целях поиска модели помещения с детализацией, достаточной для проведения расчетов, были выполнены расчеты шума на разных этапах ее построения и сделан вывод о необходимых элементах модели. В ходе проведения расчета были обнаружены превышения уровней шума на рабочих местах, которые составляют от 1,0 до 9,3 дБА. В качестве шумозащитных мероприятий в помещении рекомендовано использование шумопоглощающих материалов на стенах и потолке, а также установка перегородок, разделяющих рабочие места.

Ключевые слова: карты шума, шум на рабочих местах, шум в офисе, распространение шума в помещении, моделирование распространения шума, шумозащитные мероприятия.

Influence of the degree of detail of the office premises model on the results of computer modeling of noise propagation

Shabarova A.V.^{1}, Butorina M.V.², Kuklin D.A.³*

¹ Post-graduate student, ² PhD, assistant professor, ³ DSc, professor

^{1,2,3} The department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article deals with the problem of noise reduction at the working places of office workers. To select the optimal noise protection in an office space, computer modeling of noise propagation is used, which allows us to consider various options for noise protection measures. The SoundPLAN software is used as a program to simulate the propagation of noise in an office building and develop noise maps. To search for a model of a room with a level of detail sufficient for calculations, noise calculations were performed at different stages of its construction and a conclusion was made about the necessary elements of the model. During the calculation, excess noise levels at workplaces were found, which ranged from 1.0 to 9.3 dBA. The use of noise-absorbing materials on the walls and ceiling, as well as the installation of partitions dividing the workplaces, is recommended as noise protection measures in the room.

Keywords: noise maps, workplace noise, office noise, indoor noise propagation, noise propagation modeling, noise protection measures.

Введение

Организация рабочего пространства в формате «Open space» (офис открытого типа) становится все более популярной. Она имеет ряд преимуществ, к которым, в первую очередь, относится удобство контроля работы сотрудников и экономия площади офиса. Наибольшим же минусом такой организации рабочего пространства является шум, который неизбежно присутствует на любом рабочем месте офисного служащего. Основными источниками шума в офисных помещениях являются переговоры сотрудников между собой, телефонные разговоры, работающая офисная техника, кондиционеры и вентиляторы. При кажущемся низком уровне шума данных источников, их присутствие является достаточным для того, чтобы привести к повышенной утомляемости, ухудшению восприятия информации, снижению реакции и, как следствие, снижению производительности труда. Уровни шума в 50-60 дБА способны оказывать на человека, занимающегося умственной деятельностью, психологическое воздействие, а увеличение уровня шума на каждый 1 дБ сверх нормы приводит к снижению производительности труда на 1 % [1].

Однако на сегодняшний день в области снижения шума на рабочих местах большее внимание уделяется промышленным предприятиям, что обусловлено более высокими уровнями шума и негативным воздействием шума на здоровье рабочих. Несомненно, данная проблема требует внимания и заслуженно широко освещается как в российских научных работах [2-4], так и зарубежных [1,5]. Однако от шума следует защищать не только работников предприятий, но и офисных служащих, которые занимаются напряженным умственным трудом, результат которого зависит в том числе от акустического комфорта в помещении.

Это говорит о том, что вопросам снижения шума в офисных помещениях следует уделять особое внимание. Для выбора оптимальной шумозащиты для офисного помещения можно использовать компьютерное моделирование распространения шума, которое позволяет рассмотреть разные варианты шумозащитных мероприятий и выбрать необходимый и достаточный вариант. В данной статье рассматривается моделирование распространения шума от наиболее распространенного источника - разговора сотрудников - в офисном помещении и построение карт шума при помощи программы SoundPLAN [2,3]. Решение проблемы построения достоверной модели помещения для проведения акустических расчетов при помощи других программных средств в статье не рассматривается в [4].

1. Создание компьютерной модели офисного помещения

Оценка шума на рабочих местах проводится для помещения площадью 583 м², с высотой потолков 3 м, количество рабочих мест в помещении - 49. Для проведения расчета в программе SoundPLAN создается 3D модель рассматриваемого помещения. Данная программа позволяет учесть все особенности интерьера помещения такие как мебель, планировка, используемые материалы, наличие окон дверей или открытых проемов, однако построение детальной модели помещения занимает много времени, требует наличия подробных планов, кроме того, большое количество элементов, влияющих на распространение шума, увеличивает время программного расчета. Для того, чтобы определить необходимый уровень детализации было выполнено несколько расчетов уровней шума в расчетных точках на разных этапах построения модели. [5]

План офисного помещения представлен на рисунке 1. В помещении расположено 35 письменных столов, 21 шкаф, а также выдвижные ящики у каждого рабочего места. Кроме того, в помещении находится 6 колонн. Коэффициенты звукопоглощения материалов, принятые в соответствии с данными библиотеки материалов SoundPLAN, представлено в таблице 1.

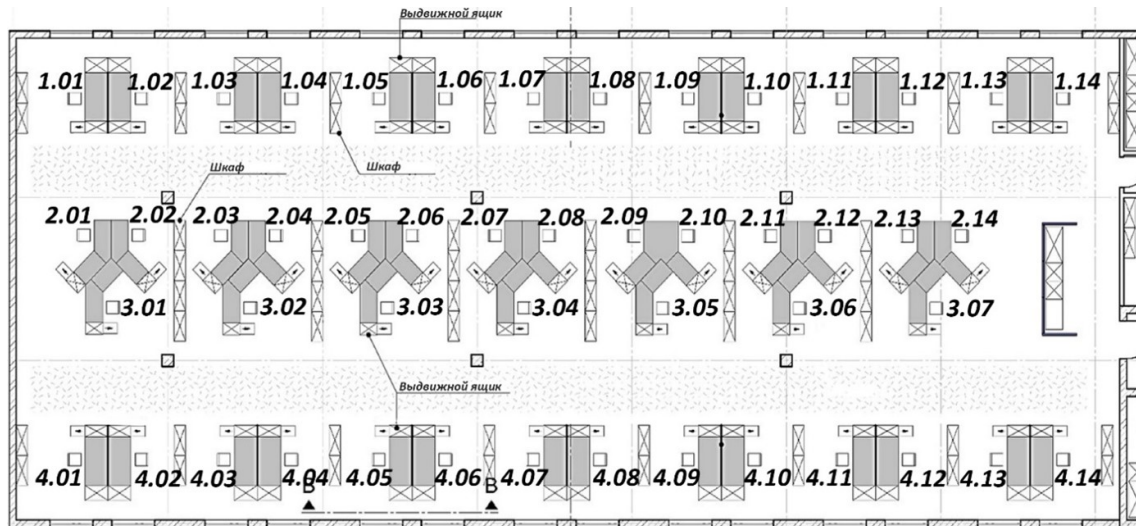


Рис. 1. План офисного помещения

Таблица 1

Коэффициент звукопоглощения используемых материалов

Элемент модели	Материал	Коэффициент звукопоглощения в октавной полосе частот, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стены	Штукатурка	0,02	0,02	0,03	0,07	0,04	0,06	0,06
Окно	Стекло	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Столешница	Дерево	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Шкаф	Дерево	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Наполнение шкафа	Бумага	0,50	0,80	0,90	0,80	0,70	0,50	0,50
Выдвижной ящик	Дерево	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Колонна	Бетон	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06

В качестве источника шума в помещении рассматривается разговор по телефону двух сотрудников офиса, находящихся на рабочих местах № 2.07 и 4.11. Данная ситуация считается характерной для рабочего процесса, так как телефонные разговоры являются неотъемлемой частью работы сотрудников. Шумовые характеристики принятых в расчет источников шума приведена в таблице 2.

Таблица 2
 Уровень звуковой мощности источника шума

Наименование источника шума	Корректированный уровень звуковой мощности, дБА	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах частот, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Говорящий № 2.07	68,4	44,8	56,7	65,8	63,0	57,0	50,8	43,4
Говорящий № 4.11	68,4	60,9	65,3	69,0	63,0	55,8	49,8	44,5

На графике, представленном на рисунке 2, показаны результаты расчета уровней шума на рабочих местах на различных этапах построения модели. В первом варианте в расчете учитывались только стены, окна и столы, во втором варианте в модель были добавлены шкафы. Как видно из таблицы 3, разница в результатах расчета в первом и втором варианте достигает 4,5 дБА, что говорит о том, что шкафы являются важным элементом модели, которым нельзя пренебрегать, так как они экранируют шум на некоторых рабочих местах, а также являются элементами шумопоглощения. В третьем варианте расчета были учтены колонны и выдвижные ящики, которыми оборудовано каждое рабочее место. По результатам расчета разница между уровнями шума во втором и третьем варианте оставила не более 1,5 дБА, из чего следует, что данные элементы модели не вносят значительного вклада в процесс распространения шума внутри помещения и ими можно пренебречь, так как они не экранируют шум на пути его распространения и не являются элементами шумопоглощения. Для наглядности результатов были построены карты шума для трех вариантов расчета, представленные на рисунках 3-5.

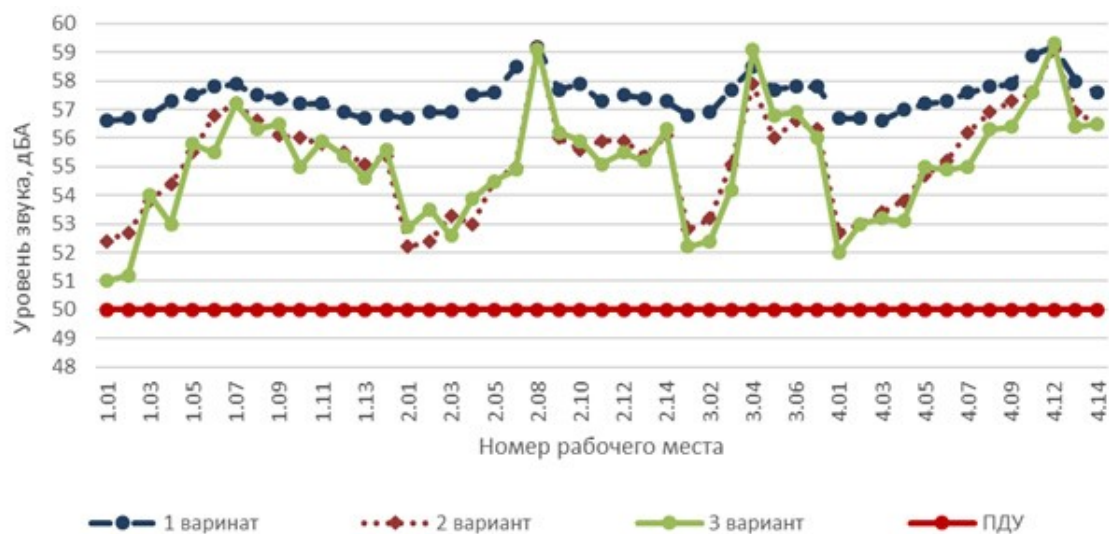


Рис. 2. Результаты расчета уровней шума на рабочих местах на различных этапах построения модели

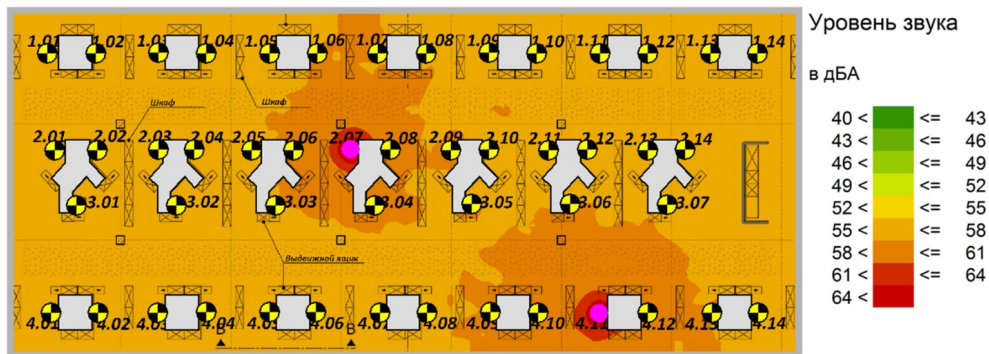


Рис. 3. Карта шума для первого варианта модели

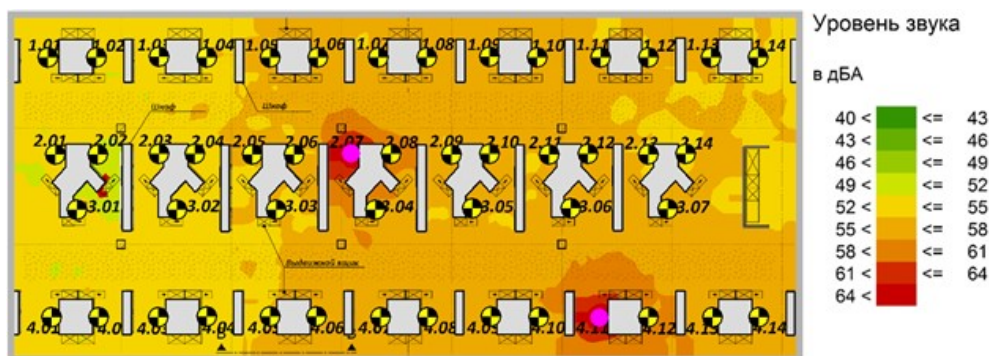


Рис. 4. Карта шума для второго варианта модели

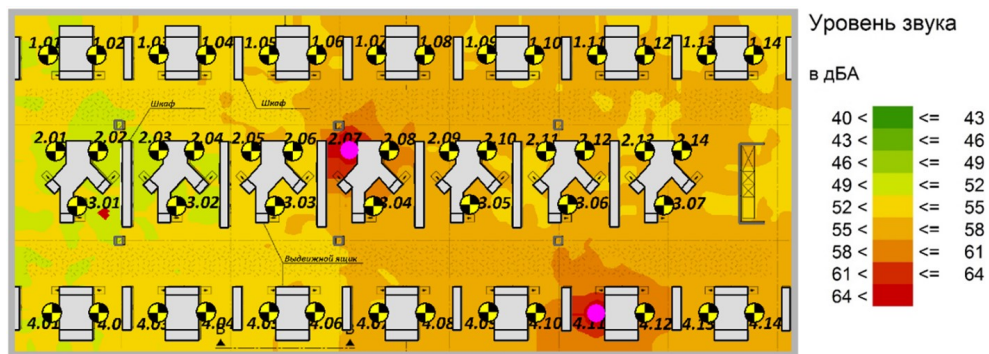


Рис. 5. Карта шума для третьего варианта модели

Помимо уровней шума на рабочих местах для каждого варианта расчета также было определено время реверберации. На рисунке 6 представлен график, на котором отображено время реверберации для каждого варианта расчета для соответствующей расчетной точки. В первом варианте расчета время реверберации примерно равно 2,8 секунды, во втором, оно уменьшается до 1,7 секунды, что обусловлено увеличением эквивалентной площади звукопоглощения в помещении. При расчете для третьего варианта модели время реверберации составило 1,5 секунды, то есть разница между временем реверберации во втором и третьем варианте оказалась незначительной, 0,2 секунды. Что подтверждает сделанный ранее вывод о том, что излишняя детализация модели помещения не приводит к значительному изменению его акустических свойств.

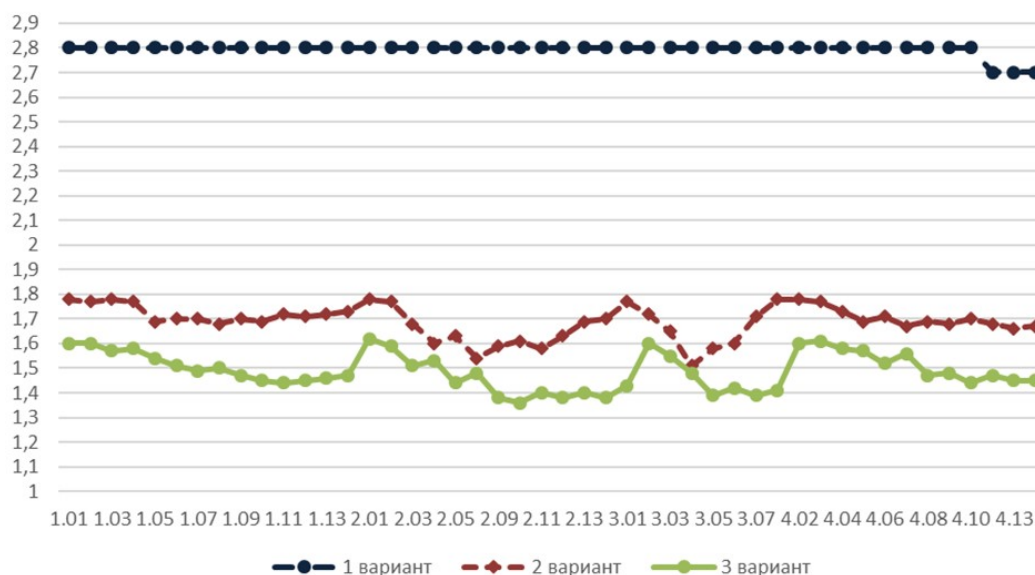


Рис. 6. Время реверберации на рабочих местах для расчетных вариантов

В соответствии с таблицей 3, превышения предельно допустимых уровней (ПДУ) шума на рабочих местах (в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах») составляют от 1,0 до 9,3 дБА, что говорит о необходимости разработки шумозащитных мероприятий.

Таблица 3

Превышения допустимых уровней шума в расчетных точках

№ рабочего места	Уровень звука, дБА	ПДУ, дБА	Превышение ПДУ, дБА
1.01	51,0	50	1,0
1.02	51,2	50	1,2
1.03	54,0	50	4,0
1.04	53,0	50	3,0
1.05	55,8	50	5,8
1.06	55,5	50	5,5
1.07	57,2	50	7,2
1.08	56,3	50	6,3
1.09	56,5	50	6,5
1.10	55,0	50	5,0
1.11	55,9	50	5,9
1.12	55,4	50	5,4
1.13	54,6	50	4,6
1.14	55,6	50	5,6
2.01	52,9	50	2,9
2.02	53,5	50	3,5
2.03	52,6	50	2,6

Таблица 3 (Продолжение)

№ рабочего места	Уровень звука, дБА	ПДУ, дБА	Превышение ПДУ, дБА
2.04	53,9	50	3,9
2.05	54,5	50	4,5
2.06	54,9	50	4,9
2.08	59,1	50	9,1
2.09	56,2	50	6,2
2.10	55,9	50	5,9
2.11	55,1	50	5,1
2.12	55,5	50	5,5
2.13	55,2	50	5,2
2.14	56,3	50	6,3
3.01	52,2	50	2,2
3.02	52,4	50	2,4
3.03	54,2	50	4,2
3.04	59,1	50	9,1
3.05	56,8	50	6,8
3.06	56,9	50	6,9
3.07	56,0	50	6,0
4.01	52,0	50	2,0
4.02	53,0	50	3,0
4.03	53,2	50	3,2
4.04	53,1	50	3,1
4.05	55,0	50	5,0
4.06	54,9	50	4,9
4.07	55,0	50	5,0
4.08	56,3	50	6,3
4.09	56,4	50	6,4
4.10	57,6	50	7,6
4.12	59,3	50	9,3
4.13	56,4	50	6,4
4.14	56,5	50	6,5

2. Разработка шумозащитных мероприятий

В качестве шумозащитных мероприятий было предложено использование звукопоглощающих покрытий на стенах и потолке, а также установка перегородок между столами сотрудников, рекомендованных в работах [6,7]. В качестве шумопоглощающего материала для отделки потолка были выбраны плиты Дюна (Dune Supreme) Армстронг, выполненные из минерального волокна, а для отделки стен - плиты K-FONIK 160, выполненные из синтетического вспененного каучука. Характеристика звукопоглощающего материала, принятая в соответствии с каталогами производителя, представлена в таблице 4.

Таблица 4
 Коэффициент звукопоглощения покрытий

Материал	Коэффициент звукопоглощения в октавной полосе частот, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звукопоглощение для потолка	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6
Звукопоглощение для стен	0,8	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2

На рисунках 7-9 представлены карты шума, построенные с учетом предложенных шумозащитных мероприятий.

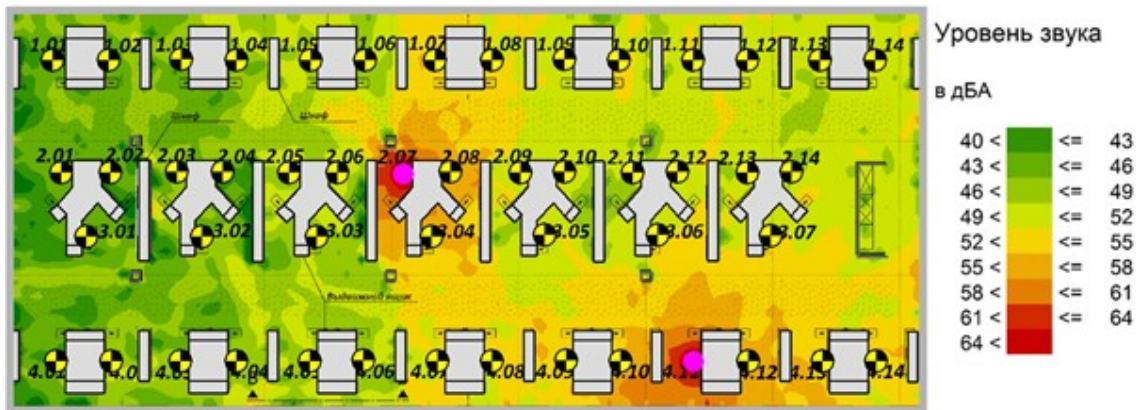


Рис. 7. Карта шума с учетом звукопоглощения

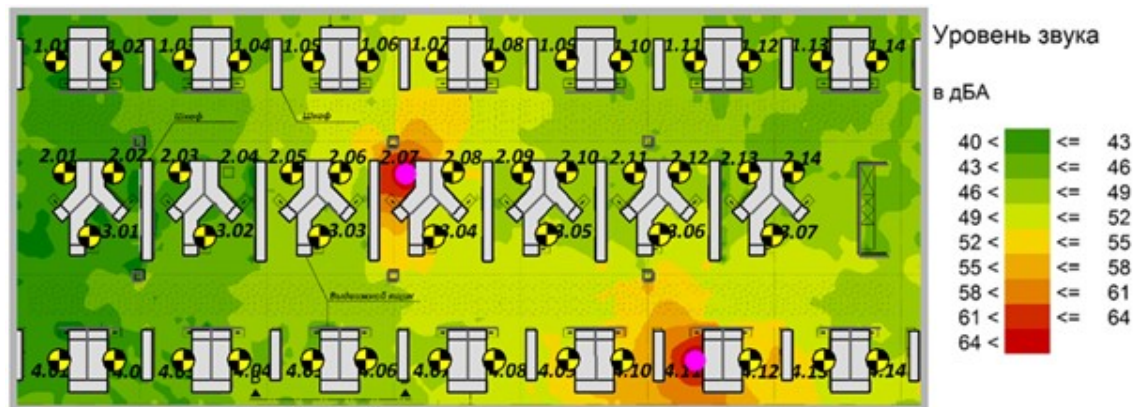


Рис. 8. Карта шума с учетом звукопоглощения и перегородок

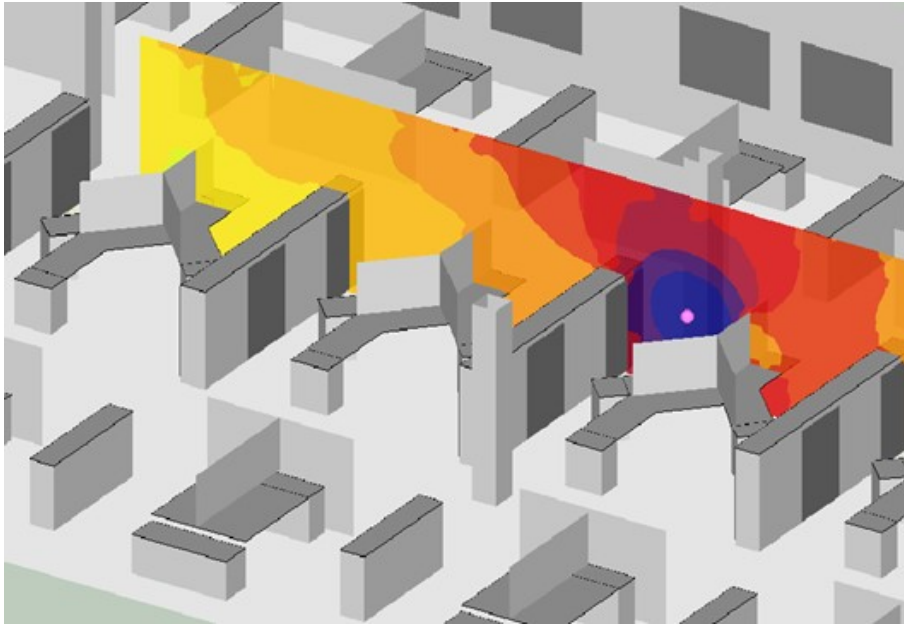


Рис. 9. Трехмерная карта шума с учетом звукопоглощения и перегородок

График, изображенный на рисунке 10, показывает превышения уровней шума над ПДУ после применения шумозащитных мероприятий. По результатам расчета видно, что после установки шумопоглощения превышения допустимых уровней шума остаются на 23 рабочих местах, а после установки перегородок число рабочих мест с превышениями уровней шума сокращается до 6. Превышения уровней шума наблюдаются на рабочих местах, расположенных в непосредственной близости от источников шума, с учетом того, что источником шума может быть любое рабочее место, снизить уровни шума на рабочих местах рядом с источником не представляется возможным. С учетом того, что источник шума является непостоянным, работники могут использовать средства индивидуальной защиты, такие как беруши или наушники, если в непосредственной близости от них происходит разговор, который может отвлекать их от работы.



Рис. 10. Уровни шума в расчетных точках с учетом шумозащитных мероприятий

Заключение

Шум в больших офисных помещениях является важной проблемой, с которой необходимо бороться. Самым оптимальным методом выбора необходимых и достаточных шумозащитных мероприятий является разработка карт шума, которые позволяют увидеть процесс распространения шума в помещении и выявить наиболее неблагоприятные зоны акустического воздействия. Для расчета карты шума необходимо разработать модель помещения с учетом особенностей его планировки, однако при создании модели необходимо также руководствоваться принципом разумной достаточности, так как слишком детально построенная модель требует больших временных затрат не только на ее создание, но и на дальнейший расчет распространения шума. Как показывает выполненный в данной работе расчет в модели следует учитывать только элементы, способные экранировать шум и элементы, выполненные из материалов с высоким коэффициентом звукопоглощения.

В качестве шумозащитных мероприятий в офисных помещениях могут применяться различные напольные и настольные перегородки, а также покрытия из звукопоглощающего материала на стенах и потолке.

По результатам расчета уровней шума в рассматриваемом помещении были выявлены превышения ПДУ на 1,0 - 9,3 дБА на двадцати трех рабочих местах, после применения шумозащитных мероприятий, в качестве которых были выбраны звукопоглощающие покрытия стен и потолка, а также установка перегородок между столами сотрудников, количество рабочих мест с превышениями ПДУ сократилось до шести, а превышения составили 1,0 - 5,9 дБА.

Список литературы

1. Seddigh, A. The effect of noise absorption variation in open-plan offices: A field study with a cross-over design / A. Seddigh, E. Berntson, F. Jönsson, C. B. Danielson, H. Westerlund // *Journal of Environmental Psychology*. - Vol. 44. - 2015. - P. 34-44.

2. Буторина М. В. Построение карт шума офисных помещений с целью улучшения условий труда работников / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, А. В. Шабарова // *Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, СПб / Под ред. Н. И. Иванова*. - Санкт-Петербург, 2019. - С. 481-485.

3. Кудаев, А. В. Оценка риска воздействия повышенных уровней шума на рабочих местах / А. В. Кудаев, М. В. Буторина, Д. А. Куклин, А. В. Шабарова // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. - 2019. - № 4 (специальный выпуск 7). - С. 422-432.

4. Ланэ, М. Компьютерное моделирование при акустическом проектировании помещения / М. Ланэ // *МегаОбучалка [сайт]*, 2015. - URL: <https://megaobuchalka.ru/5/32141.html> (дата обращения 24.01.2021).

5. Motlagh, M.S. Acoustic Problems and Their Solutions in a Typical Open-Plan Bank Office / M.S. Motlagh, R. Golmohammadi, M. Aliabadi, J. Faradmal, A. Ranjbar // *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*. - Vol. 28. - 1. - p. 24-32 - [электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <https://doi.org/10.1177/1064804618824897> (дата обращения 24.01.2021).

6. Защита от шума: справочник проектировщика / Е. Я. Юдин, И. Д. Рассадина, В. Н. Никольский. [и др.]; Под ред. Е. Я. Юдина. - Москва: Стройиздат, 1974. - 134 с.
7. Кирпичников, В. Ю. Снижение шума в помещениях / В. Ю. Кирпичников, Б. В. Титов, Л. Ф. Дроздова // Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - Санкт-Петербург, 2015. - С. 113-127.

References

1. A. Seddigh, E. Berntson, F. Jönsson, C.B. Danielson, H. Westerlund. The effect of noise absorption variation in open-plan offices: A field study with a cross-over design / // Journal of Environmental Psychology. - Vol. 44. - 2015. - p. 34-44.
2. Butorina M. V., Kuklin D. A., Shabarova A. V. Building noise maps of office premises in order to improve working conditions for workers // Noise and vibration protection: Proceedings of All-Russian scientific-practical conf. with int. participation, St. Petersburg / Ed. N. I. Ivanov. - Saint-Petersburg, 2019. - P. 481-485.
3. Kudaev A. V., Butorina M. V., Kuklin D. A., Shabarova A. V. Assessment of the risk of exposure to increased noise levels in the workplace // Gorny information and analytical bulletin. - 2019. - No. 4 (special issue 7). - P. 422-432.
4. Lane M.. Computer modeling in the acoustic design of a room. - URL: <https://megaobuchalka.ru/5/32141.html> (date of access 01.24.2021).
5. Motlagh M. S., Golmohammadi R., Aliabadi M., Faradmal J., Ranjbar A. Acoustic Problems and Their Solutions in a Typical Open-Plan Bank Office / // Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications. - Vol. 28. - 1. - p. 24-32 - [electronic resource] - Available at - URL:<https://doi.org/10.1177/1064804618824897> (date of access 24.01.2021).
6. Noise protection: designer handbook / E. Ya. Yudin, I. D. Rassadina, V. N. Nikolsky et al.; edited by E. Ya. Yudin. - Moscow: Stroyizdat, 1974. - 134 p.
7. Kirpichnikov V. Yu., Titov B. V., Drozdova L. F. Noise reduction in rooms // Protection of the population from increased noise exposure: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. - Saint-Petersburg, 2015. - P. 113-127.