

УДК 699.81:614.84:536.21

**Беликов А. С.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Соколов И. А.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Шаломов В. А.**, канд. техн. наук, доцент  
(ГВУЗ «ПГАСА»)

**Мамонтов А. В.**, магистр  
(Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники)

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ  
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ ЗА СЧЕТ  
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАСЧЕТА ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ  
ПОКРЫТИЙ**

**Беліков А. С.**, д-р техн. наук, професор,  
**Соколов І. А.**, д-р техн. наук, професор,  
**Шаломов В. А.**, канд. техн. наук, доцент  
(ДВНЗ «ПДАБА»)

**Мамонтов О. В.**, магістр  
(Харківський національний  
університет радіоелектроніки)

**ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ ПІД ЧАС  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ АГРЕГАТІВ ЗА РАХУНОК  
ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЗВУКОПОГЛИНАЛЬНИХ  
ПОКРИТТІВ**

**Belikov A. S.**, D. Sc. (Tech.), Professor,  
**Sokolov I. A.**, D. Sc. (Tech.), Professor,  
**Shalomov V. A.**, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher ,  
(SHEI "PSACEA")

**Mamontov A. V.**, M.S (Tech)  
(Kharkiv National University of Radio Electronics)

**IMPROVING SAFETY IN WORKPLACES WHEN OPERATING THE  
COMPRESSOR UNITS FOR THE ACCOUNT OF IMPROVING  
THE CALCULATION OF SOUND ABSORPTION COATINGS**

**Аннотация.** Компрессорные установки являются источниками повышенного шума как вредного производственного фактора. На протяжении нескольких лет в Украине сохраняется высокий уровень профессиональной заболеваемости, в частности болезней органов слуха. Существующий метод снижения шума за счет применения звукопоглощающего покрытия помещений как правило не дает максимального эффекта. Для снижения шума, вызванного работой компрессорных агрегатов, предлагается усовершенствованный метод расчета звукопоглощающих покрытий производственных помещений. Метод позволяет оптимизировать звукопоглощающие покрытия путем минимизации уровней шума или их стоимости с учетом спектральных характеристик шума и звукопоглощающих материалов.

Метод основан на случайном поиске Монте-Карло, характеризуется алгоритмической простотой и простотой компьютерной реализации. Результаты компьютерного моделирования свидетельствуют о возможности достижения глобального оптимума для реальных производственных условий. Внедрение предложенного метода снизит шум в зоне отраженного звука и тем самым повысит безопасность на рабочих местах.

**Ключевые слова:** шум, спектр, октавная полоса, звукопоглощающее покрытие, алгоритм, оптимизация, целевая функция.

**Постановка проблемы.** К числу наиболее распространенных производственных факторов, негативно сказывающихся на здоровье людей и производительности труда, относится повышенный уровень шума. Кроме профессиональных заболеваний человека повышенный шум может стать косвенной причиной несчастных случаев. Это объясняется снижением распознаваемости звуковых сигналов, в том числе сигналов об опасности, и повышенным напряжением нервной системы человека, что приводит к быстрой утомляемости и потере бдительности. При наличии в производственных помещениях непосредственных источников опасности (подвижных частей оборудования, острых кромок и заусенцев, технологического транспорта, высокого электрического напряжения и др.) риск несчастных случаев резко возрастает в условиях повышенных шумов.

Широко распространенными источниками повышенного шума являются компрессорные агрегаты, которые нашли широкое применение во многих производственных процессах предприятий стройиндустрии и горной промышленности. Существующие способы и средства защиты от шума в реальных производственных условиях не всегда обеспечивает максимально возможную отдачу и эффективность. Согласно данным фонда социального страхования Украины, в течение последних двух лет наблюдается рост числа профессиональных заболеваний с оформлением акта по форме П-4. В течение 2017 г. примерно 10,3% от общего числа профессиональных заболеваний пришлось на органы слуха [1]. Приведенные данные свидетельствуют о том, что проблема на сегодняшний день остается *актуальной*.

Снижение указанных рисков не возможно без повышения эффективности способов и средств защиты от повышенного шума, что в свою очередь требует дальнейших исследований по данному направлению.

**Анализ последних исследований, выделение нерешенных ранее частей общей задачи.** *Целью работы* является повышение безопасности производственных процессов на предприятиях стройиндустрии за счет снижения шума компрессорных агрегатов.

Одним из способов снижения шума в производственных помещениях является звукопоглощение. Применение звукопоглощающих покрытий (ЗПП) позволяет снижать шум в зоне отраженного звука [2, 3]. С этой целью потолок, стены, колонны, балки и другие конструкционные элементы здания покрывают специальным звукопоглощающим материалом. При необходимости в помещение вводят дополнительные (искусственные) звукопоглотители в форме куба, шара, конуса, плоской панели и др.

Существующий метод расчета звукопоглощающих покрытий основан на статистической теории звука [4], и позволяет решать, соответственно, прямую или обратную задачу. В первой задаче, выбирают звукопоглощающий материал и, исходя из требуемого снижения шума в определенной октавной полосе частот, рассчитывают требуемую площадь покрытия.

Во второй задаче выбирают один или несколько звукопоглощающих материалов так, чтобы максимумы спектральной характеристики коэффициентов звукопоглощения по частоте совпадали с максимумами спектральной характеристики шума [2, 3]. Далее задаются значениями площади материалов, рассчитывают и оценивают снижение уровней звукового давления в октавных полосах.

Недостатком метода является отсутствие оптимизации, при которой целевая функция достигает экстремального (наиболее выгодного) значения. Становится очевидной перспектива усовершенствования метода расчета звукопоглощающего покрытия путем достижения оптимальных решений.

В условиях сложных шумов наибольший интерес представляет оптимальное решение второй задачи с несколькими материалами, рассчитанными на эффективное подавление шума в разных частях спектра. Для ее решения также может быть применен ряд методов [5-7]. Очевидно, что с учетом нелинейности и дискретности задачи, на данном этапе исследования допустимо применение наиболее простого метода – метода «Монте-Карло». Данный метод основан на статистическом моделировании, и характеризуется алгоритмической простотой, а также простотой программной реализации.

Для достижения поставленной цели путем оптимизации расчетов звукопоглощающих покрытий производственных помещений необходимо провести исследование, разделив его на следующие этапы (задачи):

- выполнить постановку оптимизационной задачи расчета ЗПП с различными вариантами целевой функции и ограничений;
- разработать алгоритм и компьютерную программу расчета оптимального ЗПП;
- выполнить анализ полученных результатов.

**Изложение основного материала исследований.** В данной статье рассматривается одноцелевая оптимизация. Предлагаются два варианта целевой функции и соответствующие ограничения (табл. 1).

Целевая функция выбирается на основании анализа условий труда. Если шум превышает нормативные требования с учетом вида трудовой деятельности и соответствует вредным условиям труда, его снижение является обязательной мерой. В качестве целевой функции рекомендуется выбирать уровень шума.

Если снижение шума носит рекомендательный характер, и связано с повышением комфортности или снижением класса вредности с 3.4 до 3.1 [8], то в качестве целевой функции рекомендуется выбирать стоимость покрытия [9-11].

Таблица 1 – Варианты целевой функции и ограничений

Номер варианта	Целевая функция	Ограничения		
		Ограничение по площади покрытия	Ограничение по стоимости покрытия	Ограничение по уровням звукового давления
1	$F_1 = L \rightarrow \min$			
2	$F_2 = \sum_{j=1}^p C_j \cdot S_j \rightarrow \min$	$S = \sum_{j=1}^p S_j \leq S_{\text{доп}}$	$\sum_{j=1}^p C_j \cdot S_j \leq C_{\text{доп}}$	$L_{Pi} \leq L_{\text{доп}i}$

Примечание: обозначения величин, принятые в табл. 1:

$F$  - целевая функция;

$L$  - уровень шума, дБА;

$C_j$  и  $C_{\text{доп}}$  - удельная стоимость материала (с учетом крепежных элементов и работ по установке) и допустимая стоимость покрытия, у.е./м<sup>2</sup>, соответственно;

$j$  - номер материала звукопоглощающего покрытия;

$S$  и  $S_{\text{доп}}$  - рассчитанная и максимально допустимая площадь, отводимая под покрытие, м<sup>2</sup>, соответственно;

$L_{Pi}$  и  $L_{\text{доп}i}$  - рассчитанный и допустимый уровень звукового давления, соответственно;

$i$  - номер октавной полосы.

Ограничения задачи по уровням звукового давления  $L_{Pi}$  осуществляется на среднегеометрических частотах октавных полос (62,5; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц) [2, 4].

Исходные данные оптимизационного расчета:

- координаты расчетной точки  $x_0, y_0, z_0$ , м;

- координаты источника шума (ИШ)  $x_m, y_m, z_m$ , м;

- плотность воздуха в нормальных условиях  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;

- скорость звука в нормальных условиях  $V$ , м/сек;

- габариты помещения,  $A; B; H$ , м;

- площади дверей, окон, пола и непокрытых частей стен  $S_{\text{дв}}, S_{\text{вкн}}, S_{\text{пдл}}, S_{\text{нчс}}$ , м<sup>2</sup>, соответственно;

- количество циклов вычислений на этапе опорного решения  $K$ ;

- частотные характеристики коэффициента звукопоглощения материалов;

- значения звуковой мощности ИШ  $W_i$  в октавных полосах  $i$ ;

- значения удельной стоимости материалов (стоимости одного квадратного метра с учетом крепежных элементов и работы по установке)  $C_1 \dots C_p$ , у. е.;

- максимально допустимые уровни звукового давления в октавных полосах  $L_{\text{доп}i}$  (ПС), дБ;

- максимально допустимая стоимость составного покрытия  $F_{\text{доп}}$ , у. е.

Выходными данными расчета являются значения площади звукопоглощающих материалов  $S_j$ , при которых целевая функция достигает минимума и выполняются ограничения, см. табл. 1.

*Метод, алгоритм и программная реализация расчета оптимального звукопоглощающего покрытия*

Так как данная задача предполагает использование нескольких звукопоглощающих материалов (несколько переменных), она является многомерной. Так как уровни шума и звукового давления зависят от площади и свойств звукопоглощающих покрытий нелинейно, задача является нелинейной. Спектральные характеристики шума и звукопоглощения имеют дискретный характер, что относит данную задачу к дискретной оптимизации.

Требуемое снижение уровней звукового давления в каждой октавной полосе рассчитывается по формуле

$$\Delta L_{ТРЕБi} = L_i - L_{ДОПi}, \quad (1)$$

где  $L_{Pi}$  - рассчитанный уровень звукового давления в  $i$  - й октавной полосе, зависящий от прямого и диффузного звуков,

$$L_{Pi} = 20 \lg \frac{\sqrt{\rho V (I_{ПРi} + I'_{ДИФi})}}{P_0}, \quad (2)$$

$\rho$  - плотность воздуха (1,205 кг/м<sup>3</sup>);  $V$  - скорость звука (343 м/с);  $I_{ПРi}$  - интенсивность прямого звука, Вт/м<sup>2</sup>;  $I'_{ДИФi}$  - интенсивность диффузного звука до акустической обработки, Вт/м<sup>2</sup>;  $P_0$  - значение звукового давления порога слышимости ( $2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>) [2],

$$I_{ПРi} = \frac{1}{4\pi} \sum_1^m \frac{W_{mi}}{(x_0 - x_m)^2 + (y_0 - y_m)^2 + (z_0 - z_m)^2}, \quad (3)$$

$m$  - количество источников шума в помещении;  $W_{mi}$  - звуковая мощность источника в заданной октавной полосе, Вт;  $x_0, y_0, z_0$  - координаты расчетной точки, м;  $x_m, y_m, z_m$  - координаты источников шума внутри помещения [4, 9], м,

$$I'_{ДИФi} = \frac{4(1 - \alpha'_i) \sum_{j=1}^m W_j}{\alpha'_i S}, \quad (4)$$

$\alpha'_i$  - средний коэффициент звукопоглощения до акустической обработки;  $S$  - суммарная площадь звукопоглощающих поверхностей, м<sup>2</sup>.

Данный метод предполагает постоянство шума и отсутствие когерентности звуковых волн. Не учитывается ряд факторов: затухание звука в воздухе,

факторы направленности отражающих поверхностей и углов, пропорции помещения, наличие технологического оборудования, мебели и людей.

Выбор количества и видов звукопоглощающих материалов предлагается делать традиционным способом путем сравнения частотных характеристик требуемого снижения шума и коэффициентов звукопоглощения материалов, применяемых в качестве покрытия.

Наибольшей алгоритмической простотой и простотой программной реализации является метод случайного поиска Монте-Карло [6, 7, 12], при котором генерируются случайные значения площади звукопоглощающих материалов, с последующей проверкой результата в соответствии с ограничениями. Алгоритм приведен на рис. 1.

Блоками 1 и 2 обозначены, соответственно, организация начального цикла вычислений и оценка количества циклов.

Блоками 3-5 обозначены, соответственно, генерация значений площади звукопоглощающих материалов, расчет общей площади покрытия и ее оценка. Если выбрано несколько разных материалов, площадь первого генерируется в пределах  $0...S_{доп}$ . Площадь остальных генерируется последовательно в пределах оставшейся (не занятой) площади.

$$\begin{aligned} S_1 &\leftarrow \text{round}(\text{rnd}(S_{доп})), \\ S_2 &\leftarrow \text{round}(\text{rnd}(S_{доп} - S_1)) \\ S_3 &\leftarrow \text{round}(\text{rnd}(S_{доп} - S_1 - S_2)), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $S_1 - S_3$  - значения площади материалов 1-3, соответственно;  $\text{rnd}(S_{доп})$  - функция, генерирующая равномерно распределенные случайные значения от 0 до  $S_{доп}$ ;  $\text{round}$  - функция, округляющая полученное значение до ближайшего целого.

Компьютерная программа реализована в среде Mathcad. Генерация значений площади материалов выглядит следующим образом [13] (см. рис. 2).

Блоками 6 и 7 обозначены, соответственно, расчет и оценка стоимости покрытия

$$C = C_1 S_1 + C_2 S_2 + C_3 S_3. \quad (6)$$

Блоками 8 и 9 обозначены, соответственно, расчет и оценка уровней звукового давления в октавных полосах частот.

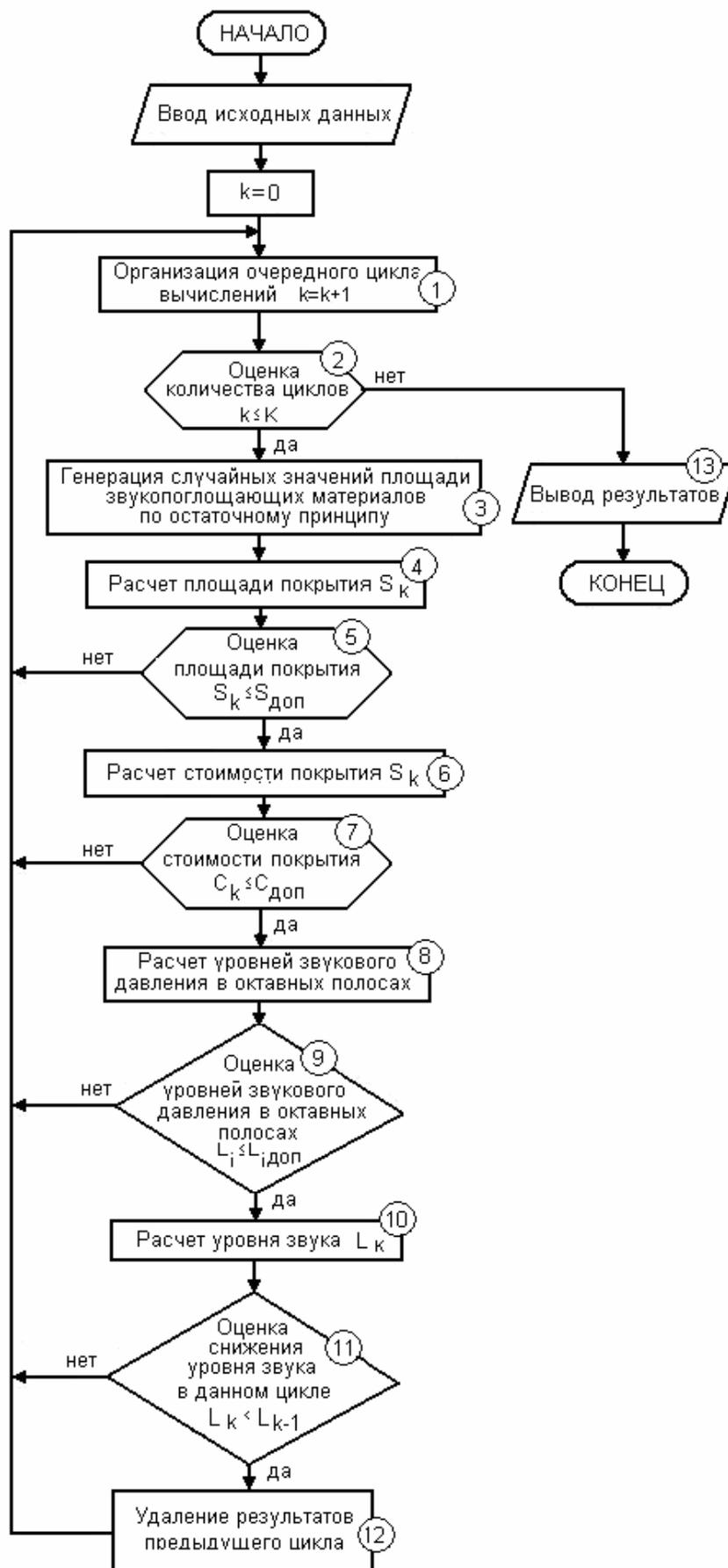


Рисунок 1 – Алгоритм расчета оптимизации звукопоглощающего покрытия

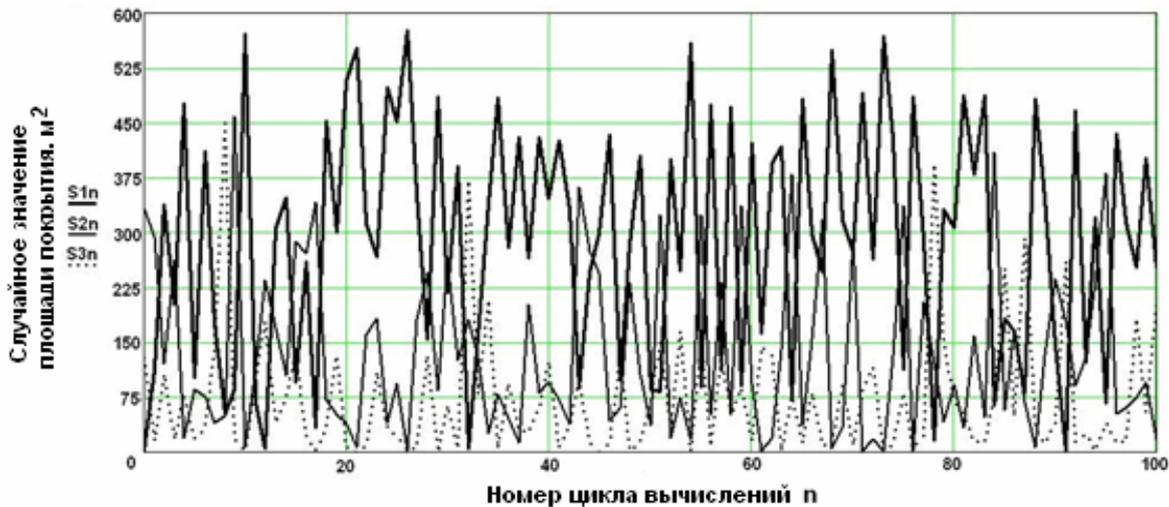


Рисунок 2 – Случайные значения площади выбранных материалов (аппроксимация линейными сплайнами, Mathcad)

В основе расчета лежат выражения (2-4), в котором диффузная составляющая рассчитывается с учетом наличия выбранных звукопоглощающих материалов по формуле

$$I_{\text{диф}} = \frac{4(1 - \alpha_i) \sum_{j=1}^m W_j}{\alpha_i S}, \quad (7)$$

где  $\alpha_i$  - средний коэффициент звукопоглощения материалов;

Блоками 10 и 11 обозначены, соответственно, расчет уровня шума и оценка его снижения в данном цикле вычислений. Уровень шума рассчитывается с учетом выражений (2-4) и поправок частотной характеристики «А» [14]

$$L = 10 \lg \frac{(\sqrt{\rho V (I_{\text{пр}} + I_{\text{диф}})} - L_A)^2}{I_0}, \quad (8)$$

где  $I_0$  - пороговое значение силы звука, ( $I_0 = 10^{-12}$ ), Вт/м<sup>2</sup>.

Блок 12 – проверка улучшения результата на данном цикле. Блок 13 – вывод оптимального результата.

*Теоретические исследования на основе усовершенствованного метода*

В качестве примера было рассмотрено производственное помещение с размерами 20x15x5 м. Расчетная точка находилась в зоне отраженного звука и имела координаты (18; 15; 1,8) м. Источник шума (компрессорный агрегат) имел координаты (2; 2; 1) м. Спектральная характеристика шума представлена кривой 1 на рис. 3а. Кривая 2 на рис. 3а – предельный спектр (ПС-55). Для поглощения шума были выбраны следующие материалы: 1 – «Винипор» эластичный; 2 – ПА минераловатные самонесущие; 3 – минераловатная плита-стеклоткань-гипс [3]. Коэффициенты звукопоглощения материалов

представлены, соответственно, кривыми 1-3 на рис. 3б. В качестве целевой функции был выбран общий уровень шума.

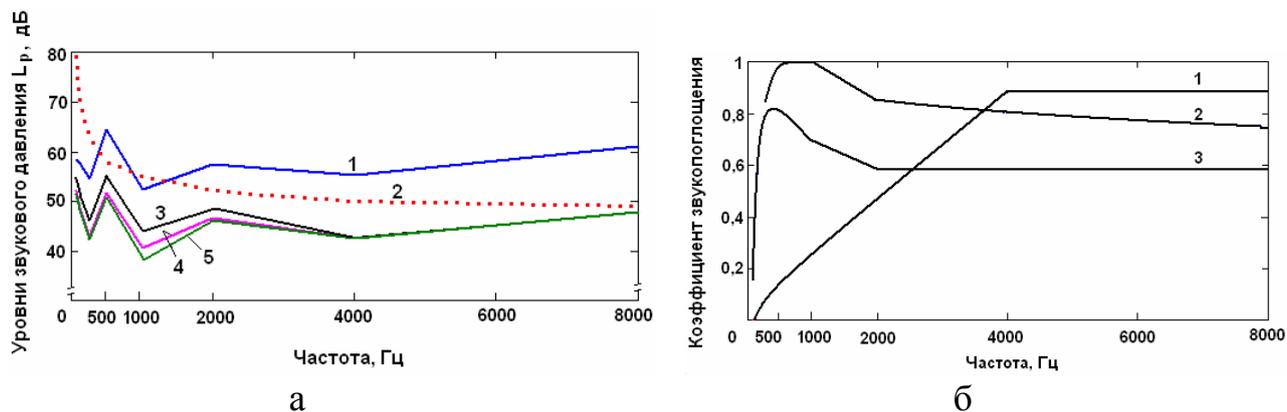


Рисунок 3 – Частотные характеристики (а): а – уровней звукового давления в октавных полосах; б – коэффициента звукопоглощения выбранных материалов

Для оценки результатов оптимизации были выполнены контрольные расчеты с разным количеством циклов расчета  $k$  ( $10^2; 10^3; 10^4; 10^5$ ) в каждом. Каждый из этих расчетов был повторен по сто раз. В результате был получен набор статистических данных, по которым были рассчитаны зависимости значений математического ожидания и дисперсии уровня шума от количества циклов расчета (см. рис. 4). Анализ полученных данных свидетельствует о том, что с увеличением количества циклов расчета результат оптимизации сходится (по вероятности) к глобальному оптимуму.

На рис. 3.а (кривые 3-5) приведены примеры спектральных характеристик шума, соответствующих приближенным решениям.

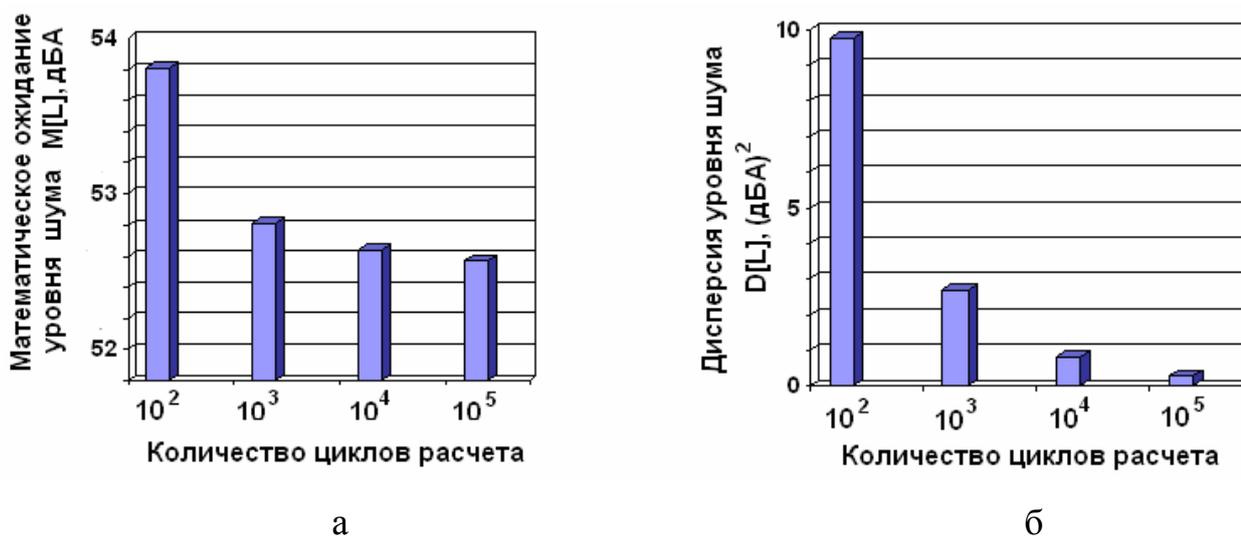


Рисунок 4 - Значения математического ожидания (а) и дисперсии (б) уровня шума

Очевидно, что дальнейшая оптимизация может осуществляться путем минимизации стоимости или многоцелевой оптимизации на основе разработанного алгоритма (в данной работе не рассматривается).

**Выводы.** В ходе исследования возникла необходимость усовершенствования метода расчета звукопоглощающих покрытий с целью повышения безопасности производственных процессов на предприятиях стройиндустрии за счет снижения шума компрессорных агрегатов.

*Научная новизна* заключается в постановке оптимизационной задачи и алгоритме ее решения на основе метода случайного поиска (метода Монте-Карло). При постановке задачи предложено два варианта целевой функции, а также даны рекомендации по их использованию в конкретных производственных условиях.

*Практическая значимость* работы заключается в подтверждении сходимости (по вероятности) результата оптимизации к глобальному оптимуму с увеличением количества циклов расчета.

Это свидетельствует о возможности внедрения данного метода на предприятиях стройиндустрии при проведении мероприятий охраны труда по снижению шума от работы компрессорного агрегата.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань за 2017 рік. – [Електронний ресурс]: Фонд соціального страхування України. Режим доступу: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/publish/article/951811> – (дата звернення 14.02.2018) – Назва з екрану.
2. Юдин, Е. Я. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е. Я. Юдин, Л. А. Борисов, И.В.-Горенштейн [под общ. ред. Е. Я. Юдина]. – Москва : «Машиностроение», 1985. – 400 с.
3. Никифоров, А. С. Звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы / А. С. Никифоров – Москва : Связь, 2006. – 322 с.
4. Иофе, В. К. Справочник по акустике / В. К. Иофе, В. Г. Корольков, М. А. Сапожков. – Москва : Связь, 1979. – 312 с.
5. Наконечний, О. Г. Методи прийняття рішень / О. Г. Наконечний, І. В. Гребеннік, Т. Є. Романова, А. Д. Тевяшев. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – 132 с.
6. Стоян, Ю. Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. – Киев : Наукова думка, 1986. – 266 с.
7. Дендобренко, Б. Н. Автоматизация конструирования РЭА: Учебник для вузов/ Б.Н. Дендобренко, А. С. Малика. – Москва : Высшая школа, 1980. – 384 с.
8. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу". Наказ МОЗ України № 248 від 08.04.2014 [Електронний ресурс]: [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Київ: Нац. парлам. б-ка України, 2002-2017]. – Режим доступу: [zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14) - (дата звернення 04.11.2017) - Назва з екрану.
9. Мамонтов, А. В. Расчет оптимального звукопоглощающего покрытия помещения при многотональном шуме / А. В. Мамонтов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/5 (64). – С. 7–11.
10. Мамонтов, А. В. Снижение акустического шума при производстве и эксплуатации РЭС / А. В. Мамонтов, Т. Е. Стыценко // Радиотехника. – 2004. – № 139. – С. 163–166.
11. Мамонтов, А. В. Методика расчета оптимальных звукопоглощающих покрытий помещений / А. В. Мамонтов // АСУ и приборы автоматики. – 2010. – № 150. – С. 82–88.
12. Methods of modular type rotors optimal complexing in the process of the composition / I. Kliuchnik, A. Mamontov, R. Umiarov, and V. Shalayeva // Метрологія та прилади. – 2018. – №1. – С. 55–60.
13. Толстых, В. К. Программирование в среде Mathcad / Толстых В. К. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 128 с.
14. Охрана труда в строительстве : учебник / [Беликов А. С., Сафонов В. В., Шаломов В. А. и др.] ; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.

## REFERENCES

1. Profilaktika virobничого travmatizmu ta profesійnih zahvoryuvan za 2017 rik. (Prevention of occupational injuries and occupational diseases for 2017.) : *Fond sotsialnogo strahuvannya Ukrayini – Social Insurance Fund of Ukraine*. Available at: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/publish/article/951811> (Accessed 14 February 2018).
2. Yudin, E. Ya., Borisov, L. A. and Gorenshtejn, I. V. (1985), *Borba s shumom na proizvodstve* [Combating noise in production], Mashinostroenie, Moscow, SU.
3. Nikiforov, A. S. (2006), *Zvukopogloshchayushchie i zvukoizolyacionnye materialy* [Sound-absorbing and sound-proof materials], Svyaz, Moscow, RU.
4. Iofe, V. K., Korolkov, V. G. and Sapozhkov, M. A. (1979), *Spravochnik po akustike* [Handbook of Acoustics], Svyaz, Moscow, SU.
5. Nakonechnij, O. G., Grebennik I. V., Romanova T. E., Tevyashev A. D. *Metodi priinyattya rishen'* [Methods of decision making] – Harkiv: HNURE, 2016. – 132 p. (in Ukrainian).
6. Stoyan Yu. G. and Yakovlev S. V. *Matematicheskie modeli i optimizacionnye metody geometricheskogo proektirovaniya* [Mathematical models and optimization methods of geometric design] – Kiev : Naukova dumka, 1986. – 266 p.
7. Dendobrenko B N. and Malika A. S. *Avtomatizaciya konstruirovaniya REHA* [Automation of the design of REA] – Moskva : Vysshaya shkola, 1980. – 384 p. (in Russian).
8. Pro zatverdzhennya Derzhavnih sanItarnih norm ta pravil "GIgIEnIchna klasifikatsiya pratsI za pokaznikami shkIdlivostI ta nebezpechnostI faktorIv virobничого seredovischa, vazhkostI ta napruzhenostI trudovogo protsesu". (On Approval of State Sanitary Norms and Rules "Hygienic Classification of Labor on the Indicators of Hazard and Danger of the Factors of the Production Environment, the Severity and Stress of the Labor Process"). Available at: <zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> - (Accessed 04 November 2017).
9. Mamontov, A. V. (2013), «Calculation of the optimum sound-absorbing coating of a room with multi-tone noise», *Eastern European Journal of Advanced Technology*, no. 4/5 (64), pp. 7–11.
10. Mamontov, A. V. and Stycenko, T. E. (2004), «Reduction of acoustic noise during production and operation of RES», *Radiotekhnika*, no. 139, pp. 163–166.
11. Mamontov, A. V. (2010), «The procedure for calculating the optimal sound-absorbing coatings of rooms», *ASU i pribory avtomatiki*, no. 150, pp. 82–88.
12. Kliuchnik I., Mamontov A., Umiarov R. and Shalayeva V. (2018), «Methods of modular type rotors optimal complexing in the process of the composition», *Metrologiya ta priladi*, no. 1, pp. 55–60.
13. Tolstykh, V. K. (2010), *Programmirovaniye v srede Mathcad* [Programming in the environment Mathcad], DonNU, Donetsk, UA.
14. Belikov A. S., Safonov V. V., Nazha P. N., Chalyiy V. G., Shlyikov N. Yu., Shalomov V. A. and Ragimov S. Yu. (2014), *Okhrana truda v stroitelstve* [A labour protection is in building], Osnova, Kiev, UA.

## Об авторах

**Беликов Анатолий Серафимович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГВУЗ «ПГАСА»), Днепр, Украина, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Соколов Игорь Анатольевич**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГВУЗ «ПГАСА»), Днепр, Украина, [pgs@mail.pgasa.dp.ua](mailto:pgs@mail.pgasa.dp.ua).

**Шаломов Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГВУЗ «ПГАСА»), Днепр, Украина, [shalomov1709@gmail.com](mailto:shalomov1709@gmail.com)

**Мамонтов Александр Викторович**, старший преподаватель кафедры охраны труда, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина, [aleksandr.mamontov@nure.ua](mailto:aleksandr.mamontov@nure.ua)

### About the authors

**Belikov Anatoliy Serafimovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor in State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), Head of department Life Safety, Dnipro, Ukraine, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Sokolov Igor' Anatol'evich**, Doctor of Technical Sciences, Professor in State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), Professor of the Chair of Building Technology, Dnipro, Ukraine, [pgs@mail.pgasa.dp.ua](mailto:pgs@mail.pgasa.dp.ua).

**Shalomov Vladimir Anatolijovich**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), associate professor of department Life Safety, Dnipro, Ukraine, [shalomov1709@gmail.com](mailto:shalomov1709@gmail.com)

**Mamontov Aleksandr Viktorovich**, senior lecturer of the labor safety department, Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Анотація.** Компресорні установки є джерелами підвищеного шуму як шкідливого виробничого фактора. Протягом декількох років в Україні зберігається високий рівень професійної захворюваності, зокрема хвороб органів слуху. Існуючий метод зниження шуму за рахунок застосування звукопоглинального покриття приміщень як правило не дає максимального ефекту. Для зниження шуму, спричиненого роботою компресорних агрегатів, пропонується вдосконалений метод розрахунку звукопоглинальних покриттів виробничих приміщень. Метод дозволяє оптимізувати звукопоглинальні покриття шляхом мінімізації рівнів шуму або їх вартості з урахуванням спектральних характеристик шуму і звукопоглинальних матеріалів. Метод заснований на випадковому пошуку Монте-Карло, характеризується алгоритмічною простотою та простотою комп'ютерної реалізації. Результати комп'ютерного моделювання свідчать про можливість досягнення глобального оптимуму для реальних виробничих умов. Впровадження запропонованого методу дозволить знизити шум в зоні відбитого звуку і тим самим підвищити безпеку на робочих місцях.

**Ключові слова:** шум, спектр, октавна смуга, звукопоглинальне покриття, алгоритм, оптимізація, цільова функція

**Abstract.** Compressor plants are sources of increased noise as a harmful production factor. For several years Ukraine has maintained a high level of occupational morbidity, in particular diseases of the hearing organs. The existing method of noise reduction due to the use of sound-absorbing coating of premises as a rule does not give the maximum effect. To reduce the noise caused by the operation of compressor units, an improved method for calculating sound-absorbing coatings of industrial premises is proposed. The method allows optimizing sound-absorbing coatings by minimizing noise levels or their cost taking into account the spectral characteristics of noise and sound-absorbing materials. The method is based on the Monte Carlo random search characterized by algorithmic simplicity and that of computer implementation. The results of computer simulation indicate the possibility of achieving a global optimum in real production conditions. The introduction of the proposed method will reduce noise in the area of a reflected sound and thereby increase safety in the workplaces.

**Keywords.** noise, spectrum, octave band, sound-absorbing coating, algorithm, optimization, objective function

*Стаття поступила в редакцію 4.09.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько*