

ОБРАБОТКА АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 519.95 + 517.97

МИНИМИЗАЦИЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ
АКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО
ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

© 2007 г. В. Д. Кошур, М. С. Фадеева

Красноярский государственный технический университет

660074 Красноярск, ул. Киренского, 26

E-mail: koshur@fivt.krasn.ru

Поступила в редакцию 30.10.06 г.

Представлены результаты вычислительных экспериментов по распространению и взаимодействию акустических волн с целью минимизации звукового давления в определенной зоне прямоугольной области. Минимизация звукового давления достигалась за счет активного воздействия дополнительных источников звука, расположенных внутри расчетной области. Оптимальные параметры активных источников и их местоположение были определены в результате решения задачи минимизации интегрального функционала, который выражает усредненное звуковое давление в заданной зоне прямоугольной области. При решении задачи минимизации использовался гибридный генетический алгоритм.

PACS: 43.50.Ki, 43.60.Mn

Введение. Шум является одним из неблагоприятных физических факторов окружающей среды. Существуют различные методы подавления шума [1–3], как пассивные, так и активные (системы активного гашения – САГ). Основы теории подавления шума были разработаны в 70-х годах, в частности, в работах [4–9]. Кроме традиционных САГ следует отметить работы [10–15], посвященные разработке алгоритмов с учетом адаптации САГ (алгоритм подавления гармонических составляющих; алгоритм активной компенсации с идентификацией объекта управления; различные модификации поисковых алгоритмов; алгоритмы, определяющие максимум суммарной поглощаемой мощности; адаптивные нейросетевые алгоритмы). При решении задач подавления акустического давления в ограниченной области (комнате, зале) необходимо учитывать суперпозицию волн при многократном отражении от границ области [16].

Активное подавление звука. Распространение и взаимодействие акустических волн рассматривается в двумерной постановке. При численном моделировании используется явная конечно-разностная схема С. К. Годунова [17], которая основана на выполнении в дискретной форме интегральных законов сохранения:

$$\begin{aligned} \oint \rho_0 u dx dy + p dy dt &= 0, \\ \oint \rho_0 v dx dy + p dx dt &= 0, \\ \oint p dx dy + \rho_0 c_0^2 (u dy dt + v dx dt) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

На рис. 1 схематично изображена прямоугольная расчетная область D и соответствующие зоны: источник пассивного акустического давления – E , активное управляемое и оптимизируемое акустическое воздействие – F и зона контроля акустического давления – S .

При проведении компьютерного моделирования прямоугольная область D размером $10 \text{ м} \times 2.5 \text{ м}$, представлялась расчетными ячейками Δ_{ij} , имеющими размеры: $h_x = h_y = 0.1 \text{ м}$; $i = 1, 2, \dots, 100$; $j = 1, 2, \dots, 25$. На границах области задавалось условие “жесткой стенки”. Положение пассивного источника акустических волн фиксировалось в ячейке $\Delta_{i^*j^*}$ ($i^* = 5, j^* = 5$) и задавалось в виде $p(t) = A_0 \sin(2\pi \nu_0 t)$, с амплитудой $A_0 = 10 \text{ Па}$ и частотой изменения во времени $\nu_0 = 100 \text{ Hz}$. Область контроля акустического давления определена в виде объединения ячеек $S = \bigcup \Delta_{ij}$ ($i = 90, j = 1, 2, \dots, 25$).

Известно [3, 4], что простейшим способом подавления акустической волны является активное воздействие волновым полем, которое генерируется в противофазе к исходному полю (в предположении безграничного пространства и близости

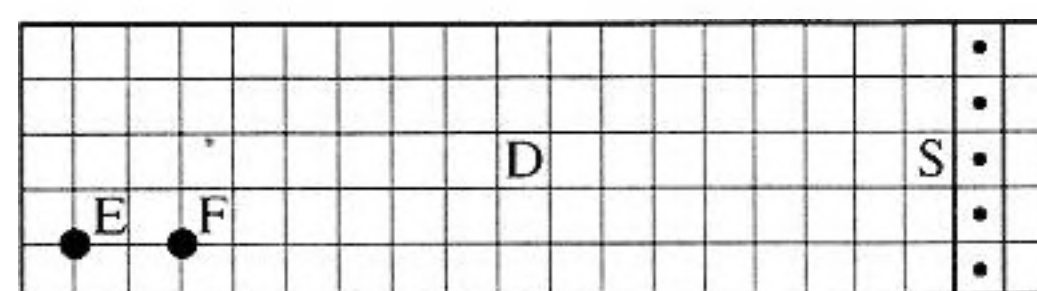


Рис. 1. Расчетная область D и зона контроля акустического давления S .

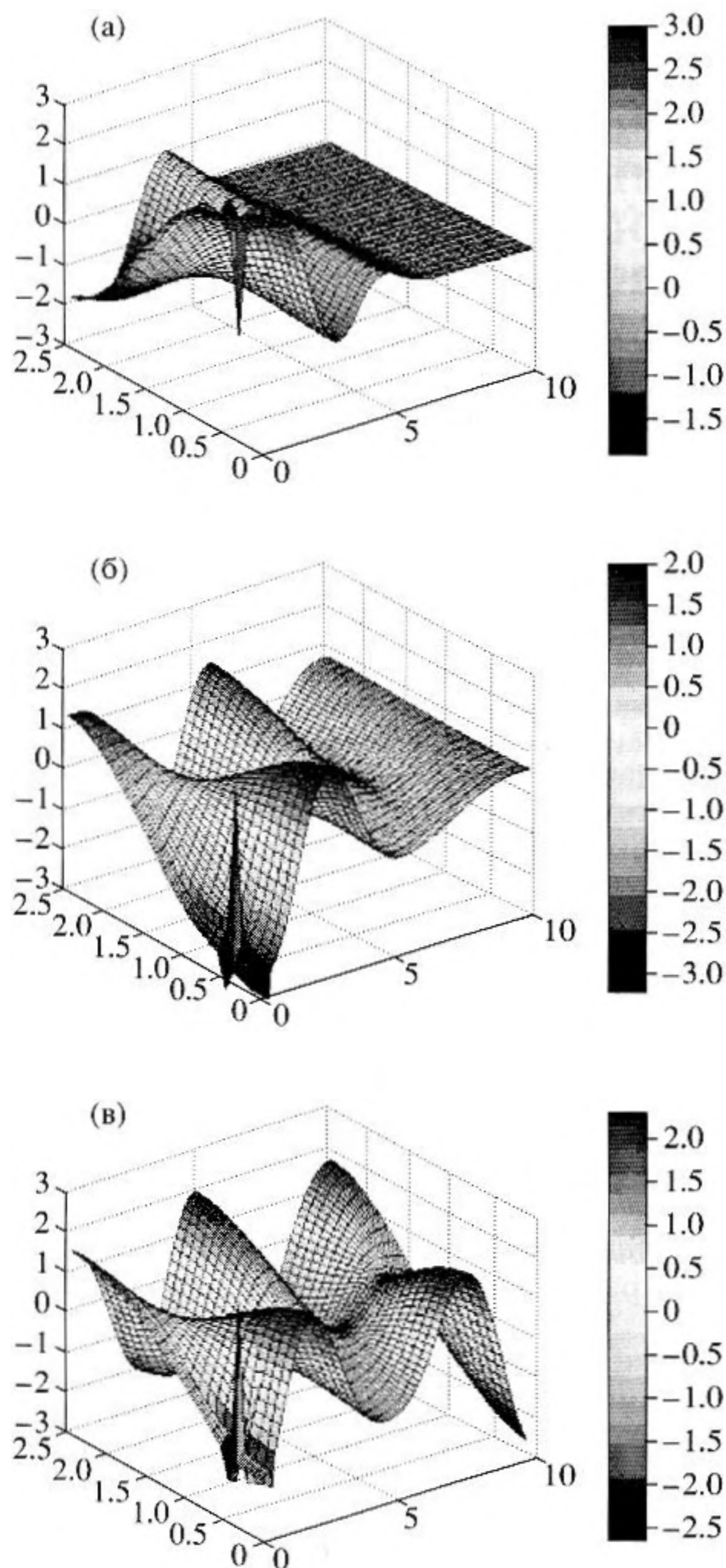


Рис. 2. Распределение давления при действии только пассивного акустического источника; моменты времени: а) $t = T/4$, б) $t = T/2$, в) $t = T$.

активного источника к излучающему основному источнику). В рассматриваемых ниже задачах для подавления акустического давления в области S были использованы один и два дополнительных источника, расположенных в области D . При минимизации звукового давления координаты положения активных источников варьировались одновременно с другими параметрами. Для активных источников звука использована форма гармонического закона:

$$p^{\text{Act}}(B, v, t) = B \sin(2\pi vt), \quad (2)$$

где параметры B , v рассматриваются как варьируемые параметры с целью максимального подавления акустических волн в области S и, чтобы не использовать фазовый сдвиг, при оптимизации параметров B , v предполагалось, что параметр B может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Для минимизации звукового давления рассматривалась целевая функция в виде интегральной квадратичной формы:

$$Q(B, v, \alpha, \beta) = \int_0^T \left(\iint_S p^2(B, v, \alpha, \beta, x, y, t) dx dy \right) dt, \quad (3)$$

здесь параметры α и β соответствуют координатам оптимального положения активного источника F в расчетной области D . Значение целевой функции при определенных параметрах вычисляется после полного решения нестационарной акустической задачи в замкнутой области D для заданного интервала времени $[0, T]$. Таким образом, целевая функция является процедурно вычисляемой.

Среднее давление в области S с учетом его изменения во времени может быть оценено величиной:

$$p^{\text{cp}} = \sqrt{\frac{Q}{T\mu(S)}}, \quad (4)$$

здесь $\mu(S)$ – площадь контрольной области S , T – время, которое для проведенных расчетов соответствует времени двукратного пробега звуковой волны вдоль расчетной области D .

При численной реализации поиска оптимальных параметров для максимального подавления акустического давления в контрольной области S был использован программный модуль [16] расчета двумерной нестационарной акустики и гибридный генетический алгоритм [18–22]. Как показали исследования [19–21], мягкие вычисления и использование различных модификаций генетического алгоритма являются перспективным направлением оптимизации и управления динамическими системами. Одно из главных преимуществ состоит в том, что целевая функция может быть задана как процедурно вычисляемая и может не обладать гладкостью и даже иметь разрывы. При этом получаемое решение соответствует глобальному минимуму.

На рис. 2–4 в виде серий кинограмм приведены распределения акустического давления в области D в соответствующие моменты времени.

На рис. 2 представлено изменение акустического давления при действии только пассивного

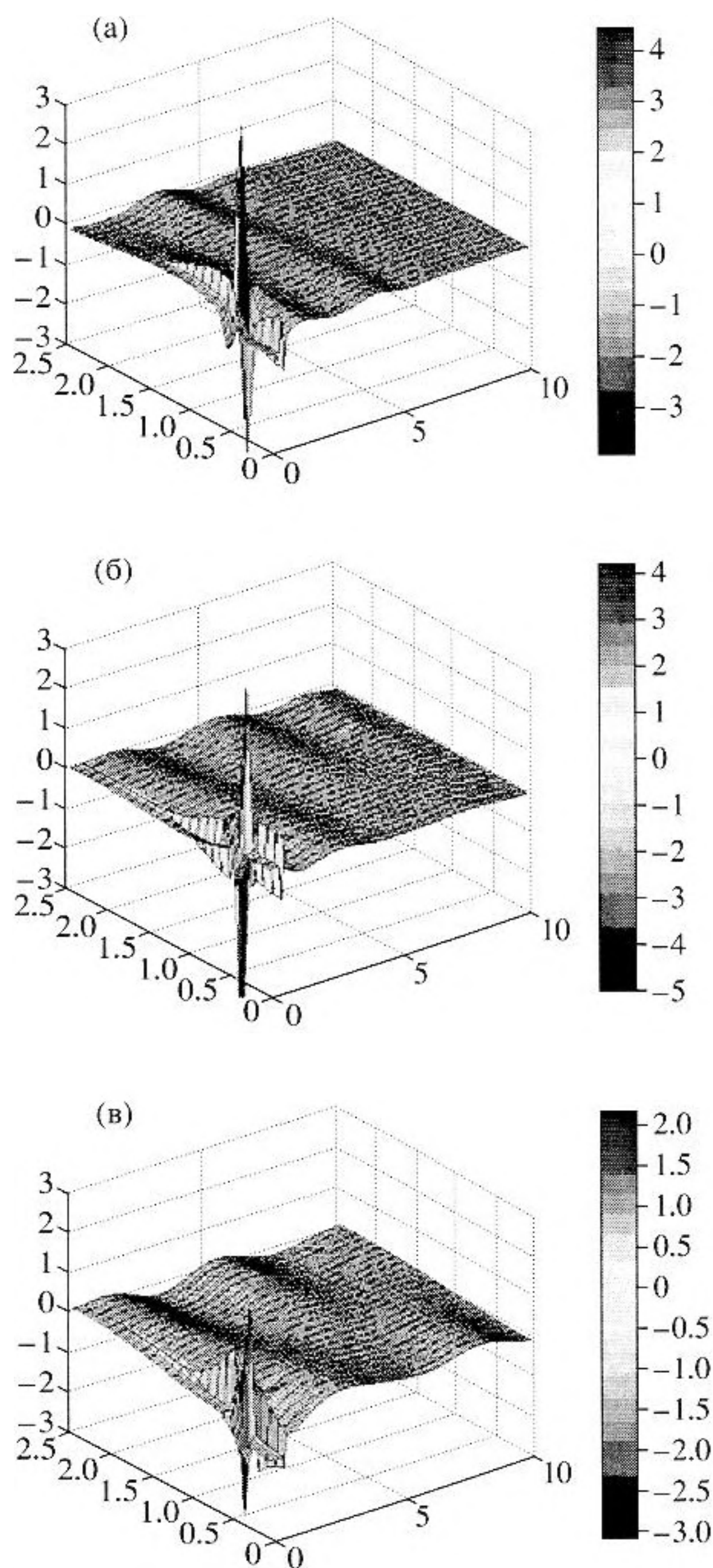


Рис. 3. Распределение давления при действии пассивного и одного активного источника; моменты времени: а) $t = T/4$, б) $t = T/2$, в) $t = T$.

источника (значение целевой функции $Q = 760.48$; $p^{cp} = 193.52$ Па).

На рис. 3 показано изменение акустического давления при воздействии на исходное звуковое поле одного активного источника F_1 с найденными оптимальными параметрами, равными $B^* = -10.88$ Па, $\nu^* = 99.49$ Hz, $\alpha^* = 6$, $\beta^* = 6$. Значение целевой функции в этом случае соответствует $Q(B^*, \nu^*, \alpha^*, \beta^*) = 4.60$; $p_{min}^{cp} = 15.05$ Па.

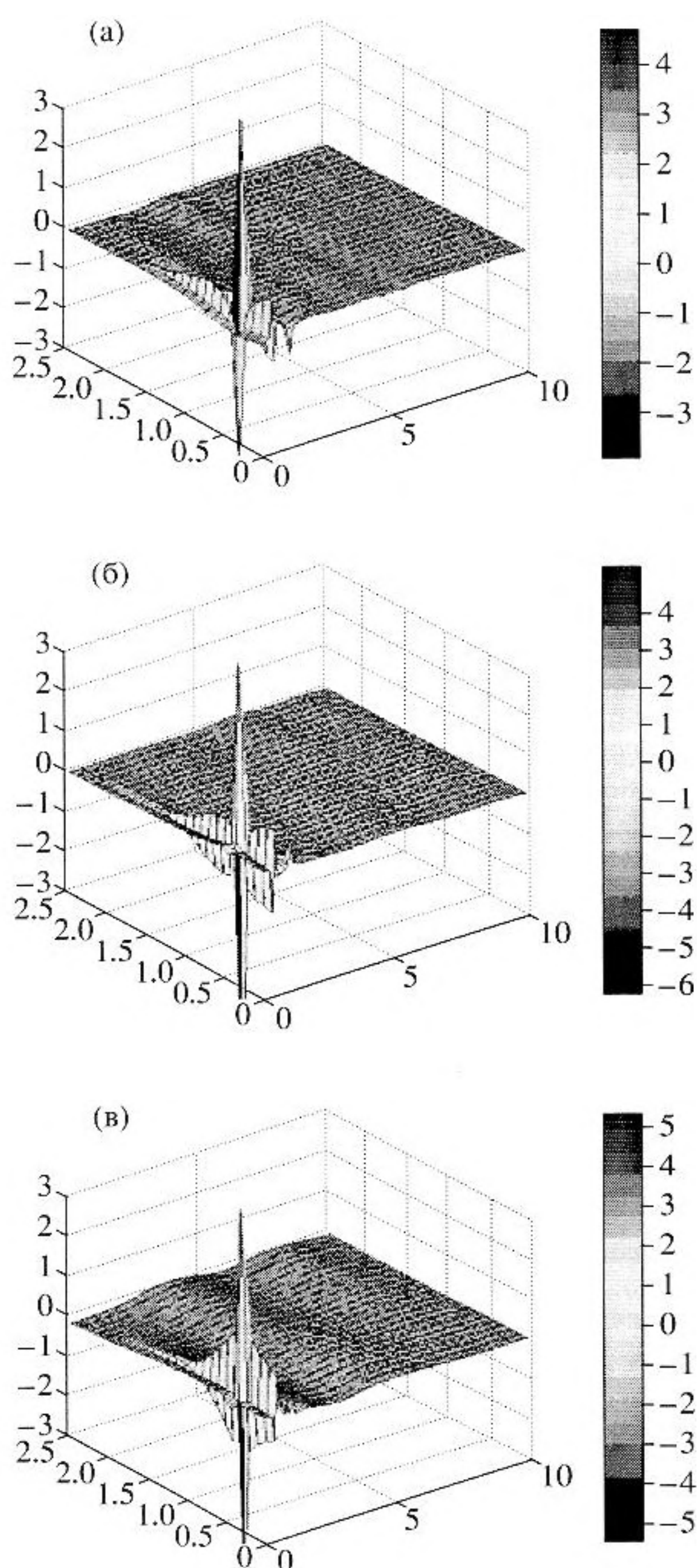


Рис. 4. Распределение давления при действии пассивного и двух активных источников; моменты времени: а) $t = T/4$, б) $t = T/2$, в) $t = T$.

Вид изменения акустического давления при действии двух активных источников F_1 и F_2 с найденными оптимальными параметрами показан на рис. 4 в соответствующие моменты времени. При этом найденные оптимальные параметры имеют следующие значения: $B_1^* = -11.76$ Па, $B_2^* = 1.69$ Па, $\nu_1^* = 100.43$ Hz, $\nu_2^* = 101.01$ Hz, $\alpha_1^* = 5$, $\alpha_2^* = 1$, $\beta_1^* = 6$, $\beta_2^* = 12$. Значение целевой функции

$Q(B_1^*, B_2^*, v_1^*, v_2^*, \alpha_1^*, \alpha_2^*, \beta_1^*, \beta_2^*) = 0.23$; $p_{\min}^{\text{cp}} = 3.37$ Па.

Заключение. Полученные результаты наглядно свидетельствуют о возможности значительно подавления звукового давления в контрольной области S за счет оптимального действия дополнительных акустических источников. Для задачи с одним дополнительным активным источником при найденных оптимальных параметрах величина целевой функции Q уменьшена на два порядка и на три порядка – при использовании двух активных источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Г.Л. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Г.Л. Орлов, Е.Я. Юдин, Г. Хюбнер. М.: Стройиздат, 1987. 558 с.
2. Борьба с шумом на производстве. Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
3. Пат. 2043416 США. Process of silencing sound oscillations, 1936.
4. Малюжинец Г.Д. Об одной теореме для аналитических функций и ее обобщение для волновых потенциалов // III Всесоюзный симпозиум по дифракции волн. М., Наука, 1964. 116 с.
5. Малюжинец Г.Д. Нестационарные задачи дифракции для волнового уравнения с финитной правой частью // Труды Акустического института. 1971. № 15. С. 124–129.
6. Jessel M.J.M. Sur les absorbeurs actifs // Proceedings 6th International Congress on Acoustics. 1968. С. 5–82.
7. Федорюк М.В. О работах Г.Д. Малюжинца по теории волновых потенциалов // Труды акустического института. 1971. № 15. С. 169–171.
8. Завадская М.П., Попов А.В., Эгельский Б.Л. Об одном приближенном решении задачи активного гашения звуковых полей по методу Малюжинца // Акуст. журн. 1979. № 5. С. 882–889.
9. Тартаковский Б.Д. Активные методы компенсации виброакустических полей // Акуст. журн. 1974. № 5. С. 808–809.
10. Мальцев А.А., Масленников Р.О., Хоряев А.В., Черепенников В.В. Адаптивные системы активного гашения шума и вибраций // Акуст. журн. 2005. № 2. С. 242–258.
11. Бойко А.И., Тютюкин В.В. Плоская активная система гашения звука, основанная на применении двумерных пространственных гармоник // Акуст. журн. 2004. № 1. С. 5–13.
12. Коротаев Е.В., Тютюкин В.В. Экспериментальное исследование активной гасящей системы плоской формы // Акуст. журн. 2000. № 1. С. 84–89.
13. Иванов В.П. Гашение поля сторонних источников за отверстием в экране // Акуст. журн. 2004. № 1. С. 68–76.
14. Мазаников А.А. Активный акустический объемный поглотитель // Акуст. журн. 2000. № 1. С. 89–93.
15. Арабаджи В.В. Поглощение длинных волн в нерезонансных параметрических микроструктурах // Известия вузов. Радиофизика. 2001. Т. 44. № 3. С. 270–284.
16. Кошур В.Д., Овсянникова М.С. Моделирование процессов активного гашения акустических волн // Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Молодежь и современные информационные технологии”, Томск, 28 февраля – 2 марта 2006. Томск, Томский политехнический университет, 2006. С. 128–129.
17. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Мир, 1976. 429 с.
18. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 452 с.
19. Кошур В.Д., Ильин В.А. Нейронная сеть Хопфилда как кроссовер генетического алгоритма // Материалы 5-той Всероссийской научно-технической конференции: Нейроинформатика-2003, Москва, МИФИ, 2003. С. 92–100.
20. Koshur V.D., Legalov A.I., Mirkes E.M., Vishnevsky M.A. Protective laminar composites design optimisation using genetic algorithm and parallel processing. Parallel Computing Technologies // Proceedings of 7-th International Conference, PaCT 2003, Nizhni Novgorod, Russia, September 2003, Ed. by Malyshkin V., Springer, 2003. P. 394–400.
21. Кошур В.Д. Вычислительные технологии на основе мягких вычислений // Вычислительные технологии, Том 10, Специальный выпуск, 2005. С. 78–83.
22. Genetic Algorithm and Direct Search, <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/gads/>

Sound Pressure Minimization by Adjusting the Active Source Parameters with the Use of a Hybrid Genetic Algorithm

V. D. Koshur and M. S. Fadeeva

Krasnoyarsk State Technical University, ul. Kirenskogo 26, Krasnoyarsk, 660074 Russia

e-mail: koshur@fvt.krasn.ru

Abstract—Results of computer experiments on the propagation and interaction of sound waves with the aim to minimize the sound pressure in a given zone of a rectangular region are presented. The sound pressure is minimized by the active action of additional sound sources positioned within the region of computation. The optimum parameters of active sources and their positions are determined by solving the minimization problem for the integral functional that expresses the average sound pressure in the given zone of the rectangular region. The problem is solved using a hybrid genetic algorithm.