

**Н. А. Швачко**, канд. техн. наук, доцент,  
**О. В. Приймак**, канд. техн. наук, доцент,  
**Ю. М. Кольчик**, канд. техн. наук, доцент,  
**О. С. Кушніров**, студент

Київський національний університет  
будівництва і архітектури  
Луцький державний технічний університет

## **МЕТОД ПОДАННЯ ДАНИХ ПО СОНЯЧНІЙ РАДІАЦІЇ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ СОНЯЧНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Розрахунок систем сонячного теплопостачання, заснований на усередненні кліматичних даних за місяць чи за добу, дає значні розходження у визначенні кінцевого результату. При використанні годинних метеорологічних значень сонячної радіації достовірність розрахунків підвищується, але значно зростає обсяг вихідної інформації при реалізації математичного моделювання сонячної системи за рік. З метою стиснення вихідного масиву інформації був використаний метод представлення кліматичних даних по сонячній радіації за допомогою репрезентативних днів базисного року — по п'ять днів у кожному місяці [3]. У якості вихідних даних для вибору базисного року приймалися середньомісячні суми приходу прямої і дифузійної сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Для виконання конкретних розрахунків прийняті дані метеостанції Кара-Даг у Криму за 11-річний період. Був розрахований середній рік і в якості базисного прийнятий 1980 рік, середньомісячні добові значення приходу сумарної сонячної радіації якого найбільш близькі до аналогічних значень розрахункового середнього року.

Базисний рік був сформований з 60 репрезентативних днів на основі середньомісячних добових значень приходу сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Для базисного року дні вибирали шляхом розбивки усього діапазону значень середньодобового годинного приходу сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню для кожного місяця на п'ять інтервалів, подальшого визначення кількості днів, що потрапили в кожен інтервал, розрахунку середнього дня в кожному інтервалі і вибору номера дійсного дня, найбільш близького за значенням сумарної середньодобової радіації до середнього розрахункового дня. Обрані таким способом п'ять репрезентативних днів у кож-

ному місяці були класифіковані (ясний сонячний, сонячний з рідкою хмарністю, з мінливою хмарністю, з густою хмарністю і похмурий), визначений порядковий номер дня, кількість днів у кожному інтервалі і значення сумарної сонячної радіації для кожного з 60 характерних днів (таблиця). Розрахунок може бути зроблений для будь-якої метеостанції.

Таблиця

Результати розрахунку даних по сонячній радіації базисного року

Тип дня	Січень			Лютий			Березень		
	№ дня	Кількість днів	$I_{\text{сум}} \cdot 10^4$ (Вт/(м <sup>2</sup> ·доб.))	№ дня	Кількість днів	$I_{\text{сум}} \cdot 10^4$ (Вт/(м <sup>2</sup> ·доб.))	№ дня	Кількість днів	$I_{\text{сум}} \cdot 10^4$ (Вт/(м <sup>2</sup> ·доб.))
Похмурий	11	11	156	49	9	235	90	9	41,6
З густою хмарністю	9	4	298	42	8	504	67	6	718
З мінливою хмарністю	24	3	528	48	3	845	85	4	1104
З рідкою хмарністю	18	9	738	60	5	1030	68	6	1416
Ясний сонячний	23	4	942	51	4	1362	76	6	1856

З 60 репрезентативних днів виписуємо дійсні годинні значення сумарної і прямої сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, і перераховуємо надходження сумарної сонячної радіації на похилу поверхню, орієнтовану на південь. У результаті одержуємо оптимальний кут нахилу сонячного колектора за максимальним значенням суми приходу сумарної сонячної радіації на похилу поверхню сонячного колектора.

Кількість сумарної сонячної радіації, що падає на похилу поверхню, за даними для горизонтальної поверхні визначаємо по формулі [2]

$$I_n = I_n R_n + I_d \rho_0 (1 + \cos \beta)/2 + (I_n + I_d) (1 + \cos \beta)/2, \text{ Вт/м}^2,$$

де  $I_n$  — інтенсивність потоку сумарної сонячної радіації, що падає на похилу поверхню;  $I_n$ ,  $I_d$  — інтенсивність потоку сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, відповідно пряма і дифузійна;  $\beta$  — кут нахилу колектора до обрію;  $R_n$  — коефіцієнт перерахування прямої сонячної радіації з горизонтальної поверхні на похилу;  $\rho_0$  — відбивна здатність землі.

По розрахунках для Криму оптимальний кут нахилу колектора сонячної енергії для геліосистем опалення збігається з географічною широтою місцевості, а для геліосистем гарячого водопостачання, що працюють протягом усього року, оптимальний кут нахилу колектора сонячної енергії  $\beta = \varphi - 15$ , де  $\varphi$  — кут нахилу колектора до обрїю;  $\varphi$  — географічна широта місцевості.

Дані розрахунків не відповідають даним наведеним у [1, 2, 5], де для геліосистем опалення рекомендується приймати кут нахилу колектора сонячної енергії  $\beta = \varphi + 15$ , а для геліосистем гарячого водопостачання цілорічного використання  $\beta = \varphi$ , тому що в запропонованій методиці здійснюється погодинне подання даних по сонячній радіації, що дозволяє враховувати з більшою точністю значення сонячної радіації, яка поглинається поверхнею колектора. Це підкреслює більш високу точність наведеної методики представлення кліматичних даних для розрахунку геліосистем теплопостачання за годинами репрезентативних днів, порівнюючи з поданням даних по сонячній радіації у вигляді суми за добу, як наведено у [1, 2, 5].

### Список літератури

*Бекман У. А., Клейн С., Даффи Дж. А.* Расчет систем солнечного теплоснабжения. — М.: Энергоиздат, 1982. — 78 с.

*Даффи Дж. А., Бекман У. А.* Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Под ред. Ю. Н. Малиновского. — М.: Мир, 1977. — 420 с.

*Michelson E.* Multivariate optimization of a solar water heating system using the simplex method // Solar Energy. — Vol. 29. — № 2. — 1982. — P. 89—99.

*Рабинович М. Д.* Сравнение различных методов представления климатологической информации при расчете производительности гелиосистем // Гелиотехника. — 1986. — № 3. — С. 76—77.

*Христов Б. В., Аvezов Р. Р.* Энергетически оптимальный угол наклона плоских коллекторов // Гелиотехника. — 1986. — № 5. — С. 52—55.

## МОДЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

Проблема защиты населения от шума остается актуальной, так как его уровень в городах имеет тенденцию к росту.

Задача структурно-параметрического синтеза средств защиты от шума была сформулирована и поставлена в работах [1, 2]. Основные трудности решения поставленной задачи связаны со следующими особенностями: большой размерностью задачи; разнообразием принципов и видов средств защиты, а также возможных значений их параметров; неоднородностью, несвязанностью и сложностью областей допустимого размещения; многокритериальностью; трудностью формализации архитектурно-композиционных и планировочных требований. Все это значительно усложняет решение задачи в общем виде как с математической, так и с вычислительной точки зрения.

С этой целью предлагается ее декомпозиция на два класса задач: структурного синтеза, который заключается в выборе принципов и видов средств или мероприятий защиты от шума; параметрического синтеза, который заключается в определении параметров для выбранного средства или мероприятия защиты от шума.

Так как эти задачи являются многокритериальными, то были обоснованы методы многокритериальной оценки и оптимизации их решений [3].

Задача структурного синтеза и методы ее решения приведены в [2]. Поэтому рассмотрим модели параметрического синтеза средств защиты от шума.

Модели параметрического синтеза могут иметь дискретные и непрерывные параметры.

Задача параметрического синтеза с дискретными параметрами состоит в следующем. Для выбранного вида средства или мероприятия защиты от шума известно несколько его вариантов  $\{X_g\}$ , где  $X_g = \{0,1\}$ .  $X_g = 1$ , если выбран  $g$ -й вариант средства защиты, 0 — в противном случае.

Вариант средства или мероприятия защиты от шума выбирается по следующим частным критериям:

– максимум снижения уровня шума для выбранного варианта средства или мероприятия защиты от шума

$$\Delta L(X'_g) = \max \sum_{g=1}^{g'} \Delta L_g X_g, \quad g = \overline{1, g'}, \quad (1)$$

где  $\Delta L_g$  — снижение уровня шума при  $g$ -м варианте выбранного средства или мероприятия защиты от шума;

– минимум приведенных затрат при реализации  $g$ -го средства или мероприятия защиты от шума

$$Z(X''_g) = \min \sum_{g=1}^{g'} Z_g X_g, \quad g = \overline{1, g'}, \quad (2)$$

где  $Z_g$  — приведенные затраты при реализации  $g$ -го средства или мероприятия защиты от шума.

При этом накладываются следующие ограничения:

– достигаемое снижение уровня шума должно быть не менее заданного  $\Delta L_{\text{зад}}$

$$\sum_{g=1}^{g'} \Delta L_g X_g \geq \Delta L_{\text{зад}}; \quad (3)$$

– приведенные затраты не должны превышать заданных  $Z_{\text{зад}}$

$$\sum_{g=1}^{g'} Z_g X_g \leq Z_{\text{зад}}; \quad (4)$$

– выбор только одного варианта средства или мероприятия защиты от шума

$$\sum_{g=1}^{g'} X_g = 1. \quad (5)$$

Модели (1)—(5) относятся к многокритериальным задачам дискретного программирования с булевыми переменными.

Для задачи параметрического синтеза с непрерывными параметрами  $P = \{P_m\}$ , ( $m = \overline{1, m'}$ ),  $P_m$  —  $m$ -й параметр частные критерии (1) и (2) примут вид:

– максимум снижения уровня шума выбранного средства или мероприятия защиты от шума

$$\Delta L(P') = \max \Delta L(P); \quad (6)$$

– минимум приведенных затрат на применение или реализацию  $m$ -го средства или мероприятия защиты

$$Z(P'') = \min Z(P). \quad (7)$$

При этом накладываются следующие ограничения:

– достигаемое снижение уровня шума должно быть не менее заданного  $\Delta L_{\text{зад}}$

$$\Delta L(P) \geq \Delta L_{\text{зад}}; \quad (8)$$

– приведенные затраты не должны превышать заданных  $Z_{\text{зад}}$

$$Z(P) \leq Z_{\text{зад}}. \quad (9)$$

Модели (6)—(9) относятся к задачам нелинейного программирования из-за нелинейных выражений (6) и (8).

Рассмотрим модели параметрического синтеза наиболее часто применяемых средств или мероприятий защиты от шума в его источнике, на пути распространения и защищаемом объекте.

Анализ математических моделей источников шума позволяет определить множество параметров, которые влияют на его снижение в источнике.

Для источника шума в виде транспортного потока такими параметрами могут быть:  $V$  — скорость движения;  $N$  — интенсивность движения;  $\nabla$  — шероховатость поверхности дороги;  $\rho$  — процентное соотношение видов транспортных средств.

В этом случае частные критерии, по которым будут определяться значения параметров транспортного потока, следующие:

– минимум уровня шума, создаваемого транспортным потоком

$$L_{\text{А.экр}}(V', N', \nabla', \rho') = \min L_{\text{А.экр}}(V, N, \nabla, \rho); \quad (10)$$

– минимум приведенных затрат

$$Z(V'', N'', \nabla'', \rho'') = \min (Z_V(V, N, \nabla, \rho) + Z_N(V, N, \nabla, \rho) + Z_L(V, N, \nabla, \rho) + Z_c(V, N, \nabla, \rho) + Z_{\text{о,р}}(V, N, \nabla, \rho)), \quad (11)$$

где  $Z_V(V, N, \nabla, \rho)$  — потери за счет снижения скорости;  $Z_N(V, N, \nabla, \rho)$  — потери за счет снижения пропускной способности дороги;  $Z_L(V, N, \nabla, \rho)$  — потери за счет увеличения длины пробега;  $Z_c(V, N, \nabla, \rho)$  — затраты на ремонт покрытия;  $Z_{o,p}(V, N, \nabla, \rho)$  — затраты на организацию регулирования и содержание дорожных знаков.

Ограничения, которые накладываются при этом:

– эквивалентный уровень шума транспортного потока не должен превосходить заданный

$$L_{A, \text{экр.}}(V, N, \nabla, \rho) \leq L_{\text{зад}}; \quad (12)$$

– приведенные затраты не должны превышать заданных  $Z_{\text{зад}}$

$$Z(V, N, \nabla, \rho) \leq Z_{\text{зад}}. \quad (13)$$

Модели (10)—(13) относятся к задачам нелинейного программирования.

Анализ математических моделей снижения уровня шума на пути его распространения показывает, что наиболее эффективны такие средства, как экраны.

Рассмотрим модель параметрического синтеза экрана.

Параметрами экрана, которые оказывают влияние на его эффективность, выбраны:  $H$  — высота экрана;  $l$  — длина экрана;  $x, y$  — координаты расположения геометрического центра.

В этом случае частные критерии, по которым будут определяться значения параметров экрана, следующие:

– минимум уровня шума за экраном

$$L_{A, \text{экр.}}(H', l', x', y') = \min L_{A, \text{экр.}}(H, l, x, y); \quad (14)$$

– приведенных затрат

$$Z(H'', l'', x'', y'') = \min(Z_{\text{соз}}(H, l, x, y) + Z_{\text{сод}}(H, l, x, y)), \quad (15)$$

где  $Z_{\text{соз}}$  — затраты на создание экрана;  $Z_{\text{сод}}$  — затраты на содержание экрана.

Ограничения, которые накладываются при этом:

– уровень снижения шума экраном должен быть не менее заданного  $\Delta L_{\text{зад}}$

$$\Delta L_{A, \text{экр.}}(H, l, x, y) \geq \Delta L_{\text{зад}}; \quad (16)$$

– затраты на создание экрана и его содержание не должны быть больше заданных  $Z_{\text{экр}}$

$$Z(Z_{\text{СОЗ}}, Z_{\text{СОД}}) \leq Z_{\text{экр}}; \quad (17)$$

– область допустимого размещения экрана должна принадлежать области распространения шума;

геометрический центр экрана должен быть расположен в области

$$x_{\text{н}} \leq x_{\text{экр}} \leq x_{\text{кон}}, \quad (18)$$

$$y_{\text{н}} \leq y_{\text{экр}} \leq y_{\text{кон}}, \quad (19)$$

где  $x_{\text{н}}, x_{\text{кон}}, y_{\text{н}}, y_{\text{кон}}$  — начальные и конечные значения параметров размещения центра экрана;

– высота и длина экрана не должны превосходить допустимых величин.

Модели (14)—(19) относятся к задачам нелинейного программирования.

На рисунке в качестве примера представлены зависимости значений частных и обобщенного критериев от таких параметров экрана, как длина и высота.

Параметрический синтез средств защиты от шума на защищаемом объекте заключается в выборе типа оконных блоков из множества стандартных по следующим частным критериям:

– максимум уровня снижения шума выбранным типом оконных блоков

$$\Delta L(X') = \max \sum_{\epsilon=1}^{\epsilon'} \Delta L_{\epsilon} X_{\epsilon}, \epsilon = \overline{1, \epsilon'}, \quad (20)$$

где  $\epsilon$  — тип оконного блока;  $X_{\epsilon}$  — переменная, которая принимает значение 1, если  $\epsilon$ -й тип оконного блока выбран и 0, если  $\epsilon$ -й тип оконного блока не выбран;

– минимальная стоимость выбранного типа оконного блока

$$Z(X'') = \min \sum_{\epsilon=1}^{\epsilon'} Z_{\epsilon} X_{\epsilon}, \epsilon = \overline{1, \epsilon'}, \quad (21)$$

где  $Z_{\epsilon}$  — стоимость  $\epsilon$ -го типа оконного блока.



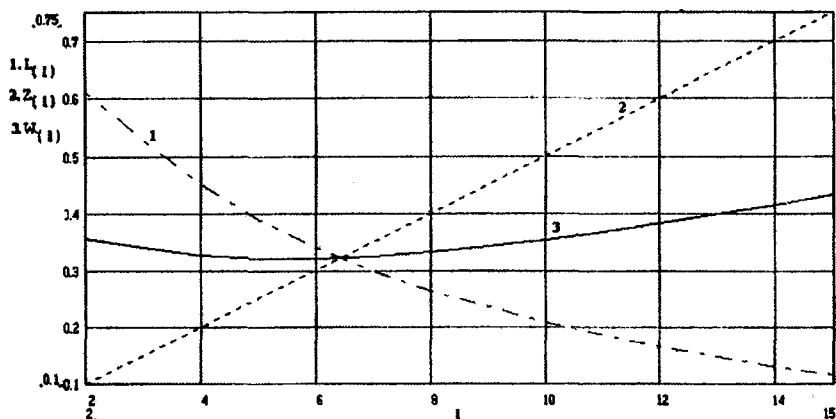


Рисунок. Зависимости значений частных и обобщенного критериев от параметров экрана:

- 1 — зависимость приведенного значения уровня шума за экраном от его длины;  
 2 — зависимость приведенного значения затрат на создание экрана от его длины;  
 3 — зависимость обобщенного критерия

Ограничения, которые при этом накладываются:

– уровень снижения шума выбранным типом оконного блока должен быть не менее заданного  $\Delta L_{\text{зад}}$

$$\sum_{\epsilon=1}^{\epsilon'} \Delta L_{\epsilon} X_{\epsilon} \geq \Delta L_{\text{зад}}, \epsilon = \overline{1, \epsilon'}; \quad (22)$$

– стоимость выбранного типа оконного блока должна быть не более заданной  $Z_{\text{зад}}$

$$\sum_{\epsilon=1}^{\epsilon'} Z_{\epsilon} X_{\epsilon} \leq Z_{\text{зад}}, \epsilon = \overline{1, \epsilon'}; \quad (23)$$

– выбирается только один тип оконных блоков

$$\sum_{\epsilon=1}^{\epsilon'} X_{\epsilon} = 1. \quad (24)$$

Модели (20)—(24) относятся к многокритериальным задачам дискретного программирования с булевыми переменными.

Для реализации приведенных выше моделей применяются следующие методы:

- метод ветвей и границ для дискретных задач;
- метод покоординатного спуска для непрерывных задач.

Предложенные в статье модели параметрического синтеза были внедрены в ТОО “Харьковпроект-1” и использовались для реконструкции конкретных объектов, в частности, был спроектирован шумозащитный экран для торгового автоцентра, что позволило увеличить площадь акустического комфорта на защищаемом объекте в 2 раза при минимальных затратах.

## Литература

*Нефедова А. Л., Петренко Ю. А.* Синтез эффективных мер защиты от шума транспортных потоков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 1998. — № 4. — С. 85—86.

*Нефедов Л. И., Петренко Ю. А., Нефедова А. Л.* Модели структурно-параметрического синтеза средств защиты от шума // Науковий вісник будівництва. — 1999. — Вип. 7. — С. 113—117.

*Нефедов Л. И., Тимошенко В. В., Пономарев Г. И.* Системный анализ социально-экологических аспектов реконструкции жилых кварталов. — Х. : Изд-во “Основа” при Харьковском ун-те, 1992. — 152 с.