

## ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ТА ПРОГРІВУ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ЇХ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

*Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури*

*В роботі представлено варіанти підбору цільових функцій, аналіз яких дозволяє оптимізувати процеси тепломасообміну при сушінні та прогріванні будівельних капілярнопористих виробів.*

**Постановка проблеми.** Користуючись математичними моделями фізичних процесів сушіння або прогріву вологих матеріалів, можна спрогнозувати динаміку їх перебігу та визначити оптимальні параметри діючих чинників, що сприятиме покращенню необхідних властивостей матеріалу або прискорюватиме власне процес виробництва.

Очевидно, що оптимізаційна проблема є визначальною при побудові та реалізації відповідних математичних моделей.

**Аналіз основних досліджень.** Створенню геометричної моделі процесів прогріву та сушіння капілярнопористих колоїдних тіл (якими є більшість будівельних матеріалів та виробів) присвячено ряд робіт [1;2;3], у яких було висвітлено суть та послідовність методики розрахунку дискретно представлених фізичних полів, що виникають під час тепломасообміну між досліджуванним матеріалом, прогрівачами та зовнішнім середовищем. Зокрема, у роботі [3] було показано основні принципи моделювання процесу сушіння бетонної плити за допомогою електричного струму. Моделі даного процесу є особливо складними, оскільки вимагають комплексного розрахунку суперпозиції одразу кількох видів фізичних полів: поля переміщень вологи, температурного поля рідини, що рухається, поля напруженості електричного струму та власне поля вологості досліджуваного матеріалу.

**Основна частина.** Очевидно, що оптимізація процесів тепломасообміну вимагає індивідуального підходу при виборі цільової функції, в залежності від призначення самого процесу та його технологічних особливостей. Наприклад, якщо необхідно контролювати швидкість підйому температури матеріалу в процесі примусового прогрівання, доцільно в якості цільової функції приймати *середнє значення приросту температури* ( $\Delta\theta$ ) досліджуваного тіла за прийнятий проміжок часу  $\Delta\tau$ :

$$\Delta\theta_{mid} = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i^p - \theta_i^{p-1})}{n} \xrightarrow{\Delta\tau} opt \quad (1)$$

де  $\theta_i^{p-1}$  – температура  $i$ -ї точки дискретної моделі поля на попередньому етапі розрахунку;  $\theta_i^p$  – температура  $i$ -ї точки поля на даному етапі розрахунку (через період часу  $\Delta\tau$ ).

Якщо процес вимагає досягнення певної інтенсивності руху вологи у порах матеріалу, в якості цільової функції можна прийняти параметр, який відобразить ступінь деформації геометричної картини поля вологи відносно

його початкового положення (параметром може слугувати середнє значення переміщень у точках дискретної моделі рідини у порах, або *сумарне середнє значення середніх кривизн  $\kappa$  поверхонь*, що проходять через ці точки [2]):

$$\Delta\kappa = \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i^p \Big|_{xOy}}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i^p \Big|_{xOz}}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i^p \Big|_{yOz}}{n} \xrightarrow{\Delta\tau} opt \quad (2)$$

Якщо бажаним ефектом є максимальні втрати вологи за деякий період часу, як при сушінні, то в якості цільової функції слід використовувати *різницю маси вологи* у всьому тілі між початковим та результуючим станами:

$$\Delta m_W = \sum_{i=1}^n (m_{W_i}^p - m_{W_i}^{p-1}) \xrightarrow{\Delta\tau} max . \quad (3)$$

Значення мас вологи  $m_W$ , можуть бути визначені з формули для розрахунку вологості матеріалу  $u$ :

$$u_i^p = \frac{m_{W_i}^p}{m_{M_i}^p + m_{W_i}^p} \cdot 100\% , \quad (4)$$

де  $m_M$  – маса сухого пористого тіла, що містить вологу масою  $m_W$ .

З виразу (4) одержимо:

$$m_{W_i}^p = \frac{u_i^p \cdot m_{M_i}^p}{100\% - u_i^p} . \quad (5)$$

Однак, якщо необхідно уникнути пересушування матеріалу, то більш доцільним є прийняття цільовою функцією зміну середнього показника вологості  $u_{mid}$  по об'єму даного тіла:

$$\Delta u_{mid} = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i^p - u_i^{p-1})}{n} \xrightarrow{\Delta\tau} opt . \quad (6)$$

Обрана цільова функція залежатиме від багатьох параметрів, наприклад:

- 1) форми досліджуваного капілярнопористого тіла;
- 2) форми прогрівачів (за їх наявності);
- 3) положення прогрівачів;
- 4) фізичних показників досліджуваного тіла (початкові температура та вологість, густина, пористість, коефіцієнт теплопровідності, показник питомої теплоємності тощо);
- 5) фізичних показників прогрівачів (аналогічно);
- 6) фізичних показників оточуючого середовища (температура, вологість повітря, атмосферний тиск тощо);
- 7) додаткових параметрів (наприклад, таких, як напрямок проходження електричного струму при електропрогріванні).

У процесах сушіння та прогрівання найчастіше розглядається вплив на цільову функцію лише окремих із вище зазначених параметрів. Інші приймаються сталими у відповідності із технологічними вимогами.

Розглядаючи оптимізацію цих двох процесів, особливу увагу слід приділити дослідженню впливу параметрів форми та положення прогрівачів на

цільову функцію. Відтак, для  $m$  прогрівачів загальна кількість параметрів становитиме:

$$N = \sum_{i=1}^m (F_i + P_i), \quad (7)$$

де  $F_i$  та  $P_i$  – це відповідно кількість параметрів форми та положення  $i$ -го прогрівача.

Геометричним відображенням залежності прийнятої цільової функції від  $N$  параметрів буде деяка гіперповерхня у просторі розмірністю  $N+1$ .

Так для прикладу сушіння бетонної плити у електричному полі постійного струму протягом  $10$  хв, розглянутого у [3], були досліджені залежності різних цільових функцій ( $\Delta\theta_{mid}$ ,  $\Delta\kappa$ ,  $\Delta m_W$ ,  $\Delta u_{mid}$ ) від параметрів положення двох рухомих електродів із одним ступенем вільності кожен (кожен електрод має можливість прямолінійного руху вздовж заданої осі у заданій площині). Відтак геометричними відображеннями цих процесів є поверхні у тривимірному просторі, зображені на рисунку 1.

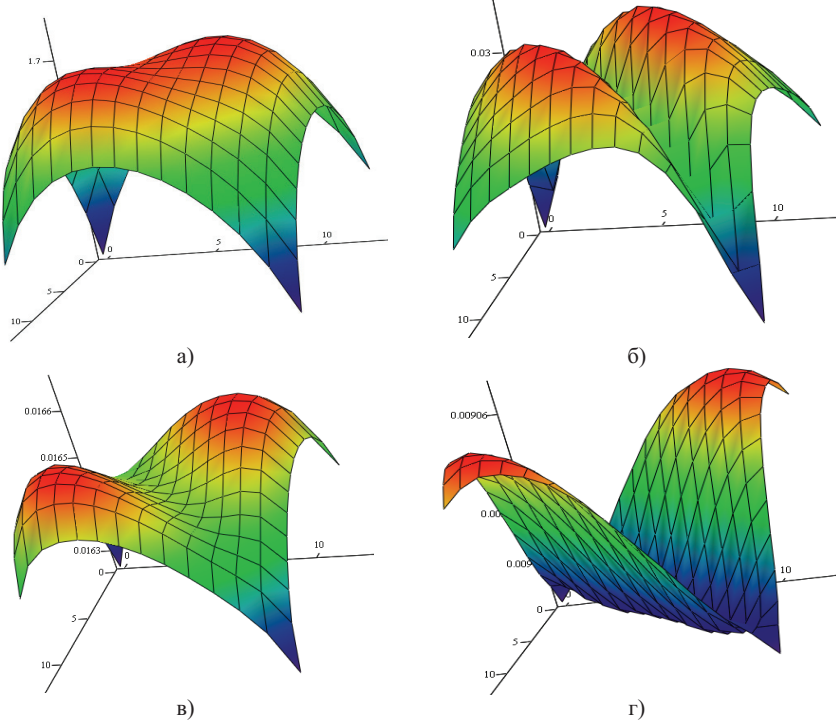


Рис.1.

Вплив параметрів положення електродів на цільову функцію в якості якої виступає:

- а) середнє значення приросту температури  $\Delta\theta_{mid}$ ;
- б) ступінь деформації геометричної моделі поля вологи  $\Delta\kappa$ ;
- в) різниця маси вологи у тілі між початковим та результируючим станами  $\Delta m_W$ ;
- г) зміна середнього показника вологості по об'єму тіла  $\Delta u_{mid}$ .

Аналізуючи зміну геометричної картини на кожному етапі розрахунку, можна підбрати оптимальне взаємне розташування електродів у відповідності до технологічних вимог.

**Висновки.** Запропонований підхід до оптимізації процесів прогрівання та сушіння будівельних капілярнопористих матеріалів дає змогу корегувати дані процеси під час їх перебігу, підбираючи їх оптимальні геометричні та фізичні параметри, та аналізувати динаміку їх розвитку з метою досягнення максимального технологічного та економічного ефектів. Такий підхід може дати змогу як зменшити швидкість перебігу процесу, так і прискорити його. З іншого боку виникає можливість уникнення небажаних фізичних явищ, таких як надмірне перегрівання та пересушування будівельних матеріалів.

### Література

1. *Скочко В. І.* Деякі аспекти геометричного моделювання НДС середовища із заданими властивостями. «Прикладна геометрія та інженерна графіка»: Наук.-техн. збірник. Вип. 87. К.: КНУБА, 2011р. – 486 с., с 347-356.

2. *Скочко В. І.* Підвищення енергоефективності процесу сушіння будівельних виробів на основі його геометричних моделей. «Енергозбереження в будівництві та архітектурі». Міжвідомчий н. т. збірник. Вип. 1. К.: КНУБА, 2011 р. 179 с., с 126-131.

3. *Плоский В. О., Скочко В. І.* Геометричне моделювання деяких процесів тепломасообміну. «Прикладна геометрія та інженерна графіка»: Наук.-техн. збірник. Вип. 89. К.: КНУБА, 2012р. – 408 с., с 285-295.

### ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ И ПРОГРЕВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

*В.И. Скочко*

В работе представлены варианты подбора целевых функций, анализ которых позволяет оптимизировать процессы тепломассообмена, возникающие при сушке и прогреве строительных капиллярнопористых материалов и изделий. Построение целевых функций осуществляется на основе геометрической модели рассматриваемого процесса.

### THE WAYS OF DRYING AND WARMING-UP PROCESSES OPTIMIZATION OF BUILDING MANUFACTURE BASED ON THEIR GEOMETRICAL MODELS

*Volodimir I. Skochko*

This article describes the variants of the criterion functions selection. The analysis of these functions allows optimizing heat-mass exchange which originate from drying and warming-up processes of the capillary-porous building materials and manufacture. The formation of the criterion functions must be accomplished on basis of geometrical model of considered process.