

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ»

Юрій Рубінський, Ігор Крошний*

¹ НЛТУ України, Львів, Україна, ORCID: 0009-0004-3111-7989,
yuriy.rubinskyu@nltu.edu.ua

² НЛТУ України, Львів, Україна. ORCID: 0000-0003-0018-7998,
kroshny.igor@nltu.edu.ua

Інтегрована система автоматизованого проєктування та теплового моделювання у конвективній сушильній камері засобами SolidWorks

***Анотація.** У роботі представлено інтегровану систему автоматизованого проєктування та теплового моделювання конвективних сушильних камер у середовищі SolidWorks. Розроблене рішення забезпечує створення 3D моделей камери та штабелів деревини на основі заданих параметрів матеріалу й геометрії, що суттєво скорочує час підготовки до аналізу. Система реалізована мовою C# з використанням Windows Forms, що дозволяє користувачеві зручно задавати вихідні дані та запускати побудову моделі через макроси SolidWorks. Проведене моделювання теплових процесів у SolidWorks Simulation дало змогу визначити розподіл температури та ефективність теплообміну в робочому об'ємі камери.*

***Ключові слова** – автоматизоване проєктування; C#; Windows Forms; теплообмін.*

Вступ. Проєктування сушильних камер традиційно здійснюється вручну у CAD-середовищах, таких як SolidWorks чи AutoCAD, що є складним і трудомістким процесом. Необхідність побудови численних елементів, зокрема дощок у штабелі, підвищує ризик похибок і ускладнює подальший теплотехнічний аналіз.

Актуальною проблемою є відсутність інтегрованих рішень, які поєднують автоматизоване створення геометричних моделей із подальшим числовим моделюванням фізичних процесів у сушильних камерах. Існуючі програмні комплекси для CFD-аналізу, як правило, працюють із уже готовими моделями, що обмежує швидкість проєктування та можливості оптимізації. Тому доцільним є розроблення інтегрованої системи, здатної автоматично формувати 3D-моделі

сушильних камер і штабелів деревини на основі заданих параметрів та забезпечувати їх подальше дослідження в середовищі SolidWorks Simulation. Такий підхід дозволяє підвищити точність, скоротити час підготовки та створити передумови для ефективної оптимізації процесів сушіння.

Автоматизоване проектування 3D-моделей. Автоматизація побудови тривимірних моделей є ключовим етапом у створенні інтегрованої системи дослідження фізичних процесів у конвективних сушильних камерах. Ручне моделювання в CAD-середовищі потребує значних трудових і часових витрат та часто супроводжується помилками при розташуванні численних елементів, зокрема дощок у штабелі. Запропоноване програмне забезпечення автоматизує цей процес, формуючи модель камери й штабеля на основі параметрів, заданих користувачем через графічний інтерфейс (рис. 1). Система реалізована мовою C# із використанням бібліотеки Windows Forms, що забезпечує зручне введення вихідних даних і автоматичну побудову тривимірної моделі у SolidWorks. Архітектура інформаційної системи має модульну структуру, що складається з інтерфейсного рівня, модуля обробки даних, генератора макросів та інтеграційного рівня SolidWorks API (рис.2).

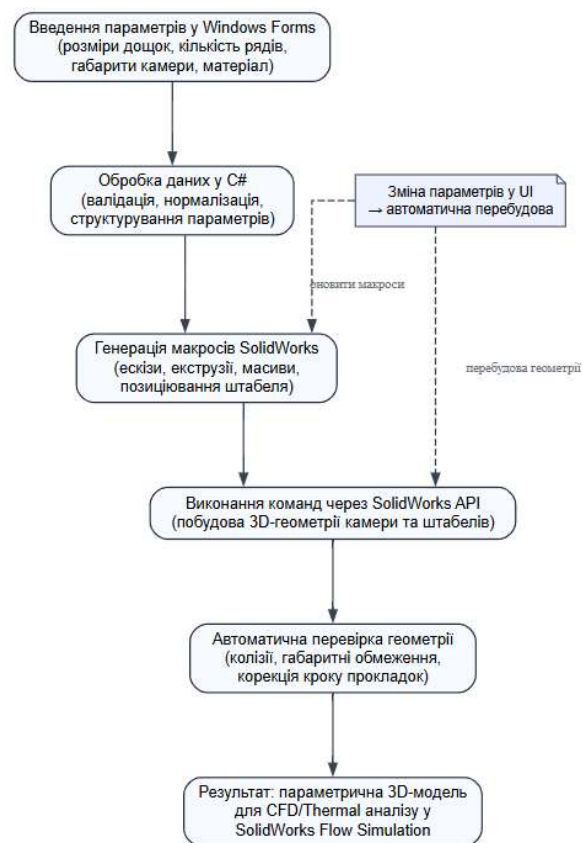


Рисунок 1. Блок-схема алгоритму автоматизованого проектування 3D моделей

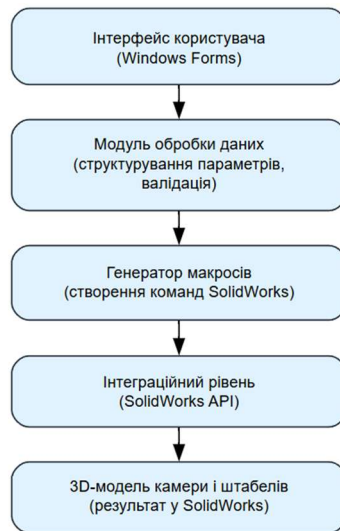


Рисунок 2. Модульна структура ПЗ

Інтеграція з SolidWorks Simulation. Однією з головних цілей створеної системи є використання автоматично згенерованих 3D-моделей для аналізу фізичних процесів у конвективних сушильних камерах. Теплові та гідродинамічні явища, що виникають у таких об'ємах, мають складний просторово-часовий характер, тому для їхнього вивчення застосовано методи комп'ютерної гідродинаміки (CFD) у середовищі SolidWorks Simulation. Зокрема для теплового аналізу створено дослідження типу Thermal Study, у якому задано теплову потужність нагрівачів, коефіцієнти конвекції, температуру навколишнього повітря та контактні поверхні [1]. Розподілений тепловий опір між поверхнями визначено за формулою (1):

$$R = \delta / (\lambda \cdot A), \quad (1)$$

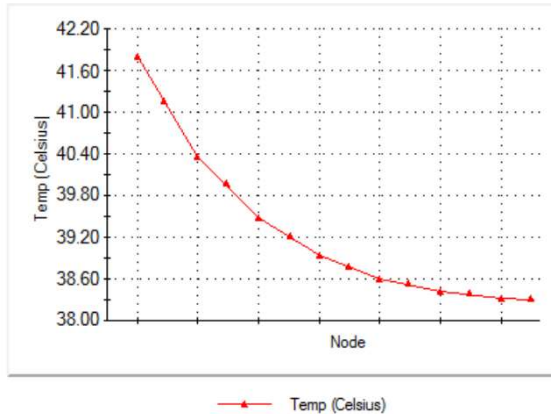
де: δ – товщина стінки, λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, A – площа теплообмінної поверхні.

Для стелі завтовшки 0,2 м, площею 4,6 м² і $\lambda = 0,07$ Вт/(м·°C) тепловий опір становить 0,62 (м²·°C)/Вт. Оцінка теплових втрат через стінки, виконана за спрощеною моделлю теплопередачі, дала результат $\approx 58,9$ Вт, що відповідає умовам реальної сушильної камери. Сумарне теплове навантаження системи прийнято на рівні 400 Вт, з урахуванням нерівномірності прогріву штабеля [2], а коефіцієнт конвекції для зовнішнього теплообміну розраховано за рівнянням:

$$h = Q / (A \cdot \Delta T), \quad (2)$$

де: Q - теплова потужність, A - площа теплообміну, ΔT - різниця температур.

На основі отриманих експериментальних даних побудовано графік зміни температури вздовж висоти штабеля (рис. 3), який відображає динаміку температурного розподілу в процесі сушіння. У свою чергу динаміка нагрівання, відображає поступовий вихід системи на усталений тепловий режим (рис. 4).



The paper presents an integrated system for automated design and thermal simulation of convective drying chambers in the SolidWorks environment. The developed solution enables the creation of 3D models of the chamber and wood stacks based on the specified material and geometric parameters, which significantly reduces the preparation time for analysis. The system is implemented in C# using Windows Forms, providing the user with a convenient interface for entering input data and generating the model through SolidWorks macros. The conducted thermal simulation in SolidWorks Simulation made it possible to determine the temperature distribution and evaluate the heat exchange efficiency within the working volume of the chamber.