

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ У ПАКЕТІ MATHCAD

М.М.Масліков, М.О.Масліков, О.М.Масліков  
Національний університет харчових технологій

Пакет символічної математики, розроблений фірмою MathSoft поширений в усьому світі як зручний інструмент для технічних розрахунків. Він надає можливість автоматично розв'язувати рівняння та системи рівнянь, має вбудовану систему одиниць фізичних величин, широкий спектр засобів для візуалізації даних, значну кількість довідкових матеріалів у Resource Center та багато інших можливостей. У середовищі Mathcad порівняно просто можна оформлювати математичні, фізичні та технічні розрахунки [1]. Але традиційні методики розв'язання технічних задач розроблялися для розрахунку вручну (без використання ЕОМ), тому реалізація їх у Mathcad має ряд суттєвих ускладнень. Усунення їх дозволило авторам створити розрахункові файли для різних видів теплообмінного обладнання, схем теплопостачання та теплоспоживання підприємств різних галузей харчової промисловості, криогенних установок, промислових холодильників і їх теплоізоляції.

Пропоноване у багатьох нормативних методиках використання метода послідовних наближень спричинене складністю розв'язання систем нелінійних рівнянь матеріальних і теплових балансів елементів теплотехнологічної системи. Використання цього метода вимагає багаторазового уточнення вихідних даних, тобто постійного втручання у роботу розрахункової схеми. Можливості Mathcad дозволяють замінити метод послідовних наближень на розв'язання систем рівнянь матеріальних та теплових балансів (оператори *Given – Find*) зі знаходженням перших наближень результатів за допомогою функції *Minerr*. Наприклад, для проведення теплового розрахунку ТЕЦ промислового підприємства авторами складено та розв'язано систему з 34 нелінійних рівнянь з 34 невідомими. Такий підхід дозволив уникнути додаткового втручання оператора у процес розрахунку та підвищив точність останнього.

Графоаналітичні способи розрахунку (використання номограм, навантажувальних характеристик тощо) за відсутності комп'ютерної техніки прискорювали та спрощували розрахунок, але зменшували його точність. У середовищі Mathcad вони незастосовні. Необхідно складати та розв'язувати рівняння та системи рівнянь. Наприклад, для розрахунку густини теплового потоку у випарному апараті  $q$ , від якої залежить коефіцієнт теплопередачі  $k(q)$ , необхідно розв'язати нелінійне рівняння виду

$$q = k(q)\Delta t, \quad (1)$$

де  $\Delta t$  – температурний напір,  $K$ .

Під час розв'язання технічних задач часто доводиться обирати одну з декількох розрахункових формул залежно від значення певного параметра. Наприклад, значення коефіцієнта гідравлічного опору визначають за різними залежностями для ламінарного, турбулентного та перехідного режимів руху рідини, що характеризуються різними значеннями чисел Рейнольдса,  $Re$  [2]. У таких випадках доцільно використовувати можливості програмування версій Mathcad Professional. Такий розрахунок легко організувати за допомогою оператора *if*.

Вбудована система одиниць Mathcad вимагає ретельного перегляду коефіцієнтів, що використовуються у рівняннях. Перевідні коефіцієнти фізичних одиниць мають бути вилучені, бо перерахунок здійснюється системою. Емпіричні коефіцієнти, що враховують властивості матеріалів, у багатьох випадках повинні мати відповідну розмірність. Наприклад, потужність, споживану насосом, (у кВт) рекомендується визначати за формулою [2]:

$$N = \frac{GH}{1000\eta}, \quad (2)$$

де  $G$  – подача насоса, кг/с;  $H$  – напір, що розвиває насос, Дж/кг,  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії насоса. Тут коефіцієнт 1000 призначений для переведення Вт у кВт. Для використання цієї формули у Mathcad його слід вилучити.

З іншого боку, коефіцієнт теплопровідності замороженого м'яса (у Вт/(м·К)) рекомендується визначати за формулою [3]:

$$\lambda = \lambda_0 + 0,9\omega, \quad (3)$$

де  $\lambda_0$  – коефіцієнт теплопровідності охолодженого м'яса, Вт/(м·К);  $\omega$  – частка вимороженої вологи. У цій формулі емпіричний коефіцієнт 0,9 для розрахунків у Mathcad слід домножити на розмірність теплопровідності Вт/(м·К).

Щоб уникнути зупинки автоматичного розрахунку для визначення теплофізичних характеристик (ТФХ) матеріалів доцільно застосовувати не табличні чи графічні залежності, а інтерполяційні чи апроксимаційні функції, наприклад сплайнову інтерполяцію даних за допомогою функції *cspline*.

Різними авторами створено програмне забезпечення для розрахунку ТФХ найбільш вживаних речовин. Так для ТФХ води та водяної пари успішно може бути використана програма WaterSteamPro, створена у Московському енергетичному інституті [4]. Бібліотека *wspmcad.dll* може бути підключена до Mathcad, що дає змогу використати переваги автоматичного режиму розрахунку значної кількості параметрів води та водяної пари у вигляді функцій. Ці функції можуть входити до складу рівнянь. Так для визначення ентальпії пари після адіабатного розширення в залежності від тиску  $p_0$  та температури  $t_0$  до тиску  $p_k$  (поширена задача для розрахунку електростанцій та ТЕЦ) потрібно за допомогою функції *root* чи пари операторів *Given – Find* розв'язати рівняння виду

$$s(p_0, t_0) = s(p_k, t_k), \quad (4)$$

звідки знайти температуру  $t_k$ . Для цієї температури та тиску  $p_k$  далі знайдемо ентальпію пари.

Під час розв'язання оптимізаційних задач параметр оптимізації задається у вигляді змінної-діапазону (*Range*). Після чого ведеться розрахунок цільової функції, як функції від параметра оптимізації, та знаходиться її екстремум. Крок діапазону потрібно вибирати таким чином, щоб забезпечити достатню точність розрахунку.

Змінні-діапазони також доцільно використовувати, коли потрібно побудувати графіки, наприклад графіки розподілу температур і парціальних тисків водяної пари у шарі теплоізоляції. Це потрібно для збільшення наочності розв'язку, зокрема під час перевірки теплоізоляційної конструкції промислового холодильника на випадання вологи [3, 5].

Для локалізації зони конденсації вологи слід згладити графік тиску насичення водяної пари за опором паропроникненню огороження  $p_s(H)$ , побудувати дотичні до нього та знайти координати точок дотику. У Mathcad це можна зробити, розв'язавши за допомогою операторів *Given – Find* рівняння

$$\frac{p_s(H) - p_{зов}}{H} = \frac{dp_s(H)}{dH}, \quad (5)$$

$$\frac{p_s(H) - p_{кам}}{H} = \frac{dp_s(H)}{dH},$$

де  $H$  – опір паропроникненню у точці з координатою  $x$ , м/с;  $p_{зов}$  – парціальний тиск водяної пари у навколишньому повітрі, Па. Одержані значення опорів паропроникненню відповідатимуть координатам лівої та правої меж зони конденсації.

Раціональна організація розрахунків у Mathcad дозволяє підвищити їх точність, значно скоротити час розрахунку, зменшити потребу у втручанні оператора на проміжних стадіях.

### Література

1. Очков В.Ф., Утенков В.Ф., Орлов К.А. Теплотехнические расчеты в среде Mathcad. – “Теплоэнергетика”. – 2000, №2. – с. 73-78.
2. Теплотехнический справочник. В 2-х тт. Под ред Юренева В.Д. и Лебедева П.Д. М: “Энергия”, 1975.
3. Курылев Е.С., Герасимов Н.А. Примеры, расчеты и лабораторные работы по холодильным установкам. Л.: Машиностроение, 1971. – 256 с
4. Теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. Т.1. Общие вопросы. М.: Издательство МЭИ, 1999 – 528 с.
5. Курылёв Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д. Холодильные установки. Учебник для студентов вузов, специальности «Техника и физика низких температур», «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование» .– СПб.: Политехника, 1999.– 576 с.