

О.М. Слабик, аспірант, Національний університет «Львівська політехніка»
 Ф. Д. Матіко, д. т.н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка»
 Л.В. Лесовой, д.т.н., професор, Національний університет «Львівська політехніка»

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕПЛОНОСІЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Виконано аналіз методик визначення властивостей теплоносія (води, водяної пари) для систем вимірювання кількості теплової енергії та удосконалено методику оцінювання невизначеності ентальпії води (водяної пари) для її застосування під час проектування вимірювальних систем.

Ключові слова: вимірювання кількості теплової енергії, ентальпія, невизначеність, автоматизоване проектування.

Налагодження точного обліку можливе тільки за наявності якісної нормативної бази та точних технічних засобів вимірювання кількості теплової енергії (ТЕ). Сучасні мікропроцесорні системи обліку теплової енергії дозволяють реалізувати вимірювання в реальному часі кількості ТЕ з урахуванням теплофізичних параметрів теплоносія. На сьогоднішній день найпоширенішим та найдоступнішим теплоносієм в системах тепlopостачання є вода (водяна пара). Тому необхідною умовою розроблення точних систем обліку ТЕ є наявність точної методики визначення властивостей води (водяної пари). Оскільки вимірювання кількості ТЕ належать до галузі законодавчо-регульованої метрології, то методика визначення властивостей води може бути застосована тільки за умови, що відомі характеристики похибки (невизначеності) кожного параметра, який характеризує властивості.

Для обчислення властивостей води (водяної пари) можуть бути застосовані рівняння IAPWS представлені в [1]. Ці рівняння дозволяють розраховувати термодинамічні параметри води та водяної пари в діапазоні тиску $p \leq 100$ МПа, $p \leq 10$ МПа та температури $0 < t < 800$ °С і $800 < t < 2000$ °С відповідно. Однак методика визначення властивостей із [1] потребує доопрацювання, зокрема:

- необхідно розробити рівняння для розрахунку показника адіабати водяної пари (параметр, який застосований у рівнянні витратомірів змінного перепаду тиску);
- необхідно розробити методику оцінювання невизначеності ентальпії води (водяної пари) із врахуванням впливу невизначеностей параметрів стану (тиску, температури).

Авторами виконано ці вдосконалення та розроблено, зокрема, методику оцінювання невизначеності ентальпії води (водяної пари).

Відносну розширену невизначеність результату обчислення величини (y), яка пов'язана функціонально залежністю з вимірюваними параметрами (y_i): $y = F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ обчислюють за відомим рівнянням [2]:

$$U'_y = \left[U'^2_{MF} + \sum_i^n F_{y_i}^2 U'^2_{y_i} \right]^{0,5}, \quad (1)$$

де U'_{MF} – відносна методична невизначеність залежності; U'_{y_i} – невизначеність результату вимірювання i -го параметра; F_{y_i} – відносний коефіцієнт чутливості величини (y) до зміни i -го вимірюваного параметра.

Застосувавши (1) до залежності ентальпії від тиску та температури пари $h = F(p, T)$ отримано рівняння відносної невизначеності ентальпії:

$$U'_h = \left[U'^2_{Mh} + (F_{hT} U'_T)^2 + (F_{hp} U'_p)^2 \right]^{0,5}, \quad (2)$$

де U'_{Mh} – методична невизначеність залежності $h = F(p, T)$; F_{hT} , F_{hp} – відносні коефіцієнти чутливості невизначеності ентальпії до невизначеностей відповідно температури та тиску води (водяної пари); U'_T – відносна розширена невизначеність результату вимірювання температури

води (водяної пари); U'_p – – відносна розширена невизначеність результату вимірювання тиску води (водяної пари).

Оскільки залежність $h=F(p, T)$ описують складними рівняннями [1], то і залежності коефіцієнтів чутливості $F_{hT}=F_1(p, T)$, $F_{hp}=F_2(p, T)$ є достатньо складними, а їх реалізація вимагає застосування масивів коефіцієнтів рівняння ентальпії із [1]. Тому доцільно отримати спрощені залежності для обчислення коефіцієнтів F_{hT} , F_{hp} .

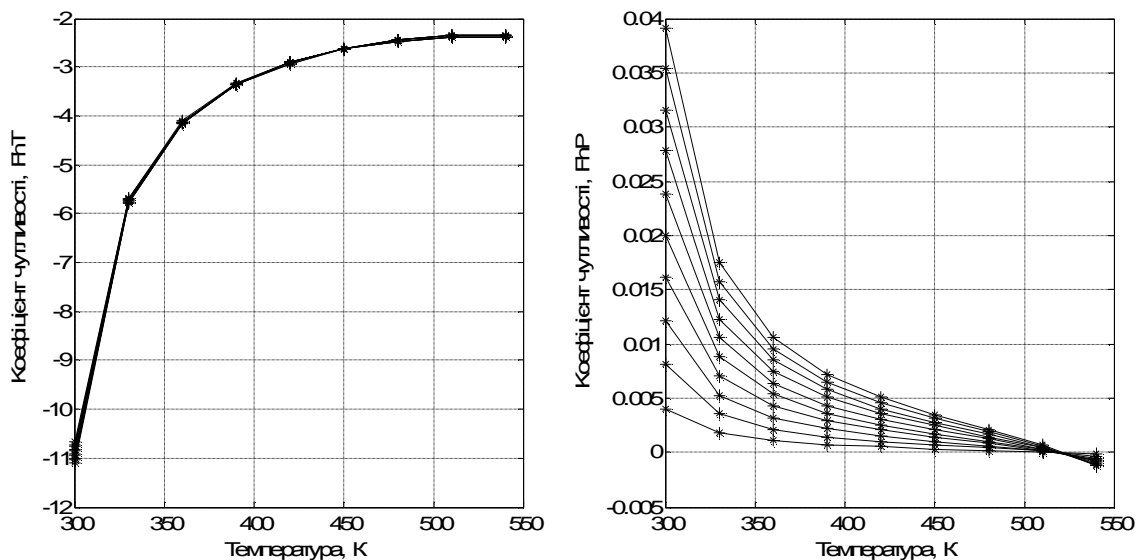


Рис.1. Графіки залежностей коефіцієнтів F_{hT} , F_{hp} від температури теплоносія для фіксованих значень тиску у діапазоні від 0,5 МПа до 5 МПа

З рис.1 видно, що залежність $F_{hT}=F_1(p, T)$ з достатньою для практичних задач точністю можна відтворити тільки залежністю від температури, а залежність $F_{hp}=F_2(p, T)$ має врахувати зміну і температури і тиску теплоносія. Спрощені залежності побудовано шляхом апроксимації значень F_{hT} , F_{hp} , обчислених на основі рівнянь із [1], кубічним поліномом та визначення його коефіцієнтів за методом найменших квадратів:

$$F_{hT} = 1,347Q^3 - 19,8754Q^2 + 96,8585Q - 158,4162, \quad (3)$$

$$F_{hp} = 0,06p \cdot (-0,0265Q^3 + 0,3695Q^2 - 1,7163Q - 2,6647), \quad Q = T/100. \quad (4)$$

Відносні відхилення значень F_{hT} , F_{hp} , отриманих за (3), (4) від значень, отриманих за [1], при зміні температури від 300 К до 550 К становлять відповідно 0,48 % і 0,56 %.

Висновки. Виконані удосконалення методики визначення властивостей води, а також розроблення методики обчислення невизначеності ентальпії дають можливість застосувати ці методики в системі автоматизованого проектування лічильників теплової енергії.

Література

1. Release on the IAPWS Industrial Formulation for the Thermodynamic Properties of Water and Steam [Text]. The International Association for the Properties of Water and Steam, IAPWS Secretariat. – 1997. – 48 p.
2. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM 100:2008, document of BIPM. First edition, September 2008. – 134 p.