

УДК 631.316

П.І. Ванкевич

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

РОЗРАХУНОК МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ ОБЕРТОВИХ КОНТАКТНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ (ТП) ПРИ ВИМІРЮВАННІ ТЕМПЕРАТУРИ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Запропоновано методику математичного розрахунку методичної похибки механічних контактних термометрів, що дозволяє прогнозувати поведінку показів даного типу термометрів в процесі як постійної, так і циклічної дії теплового навантаження. Отримані математичні залежності спроможні враховувати різноманітні конфігурації термоперетворювачів та їх фізико-механічні характеристики. Результати розрахунків показують, що отримане для конкретного випадку вимірювального приладу значення методичної похибки складає доли відсотка від реальної температури поверхні.

Ключові слова: методична похибка, механічні контактні термометри, теплове навантаження.

Постановка проблеми. Існує велика група рухомих інженерних конструкцій, теплове діагностування яких не може бути здійснено засобами температурних вимірювань із контактними ТП, стаціонарно розташованими зовні рухомого дослідного об'єкта, або засобами, ТП яких нерухомо закріплені на їх поверхні чи вмонтовані в товщі об'єкту [13]. До таких об'єктів відносяться рухомі ланки технічних систем, що не мають фіксованої траєкторії руху, знаходяться під впливом випадкових вібраційних, ударних і деформуючих навантажень, поверхні яких мають нерівності у вигляді вм'ятин, зварних швів та дефекти у вигляді тріщин, корозійних каверн, та зазнають впливу зовнішнього агресивного середовища. Вимірювання температури таких рухомих об'єктів може бути здійснене при допомозі технічних пристроїв із вмонтованими ТП, які протягом певного проміжку часу частково чи повністю відтворюють траєкторію руху поверхні дослідних об'єктів або пристроїв, що в процесі вимірювань здійснюють обертальний рух [7].

Пристрої, які в процесі вимірювань здійснюють обертальний рух, є окремою різновидністю рухомих контактних ТП [1]. Вони перебувають у постійному контакті з поверхнею дослідного об'єкта, однак площа їх контакту є рухомою. Розрахунок теплових процесів у такій системі пов'язаний із знаходженням контактних умов та розмірів площадки контакту, що обумовлено деформуванням твердотілого проміжного агента під дією прикладеного механічного навантаження.

Аналіз досліджень і публікацій. Пристрої, що входять до даного різновиду контактної термометрії, здебільшого мають однотипну конструкцію і являють собою циліндричне тіло (диск, валик), яке обертається, контактуючи з

дослідною поверхнею, і містить термочутливі елементи (ТЧЕ), або виконано із матеріалу, що володіє термочутливими властивостями [5–7]. Слід зауважити, що ТЧЕ можуть бути розміщені як всередині, так і на поверхні циліндричного тіла, і ця особливість є основою для поділу рухомих ТП на дві групи – ТП з внутрішніми ТЧЕ та ТП із зовнішніми ТЧЕ.

Жоден із контактних ТП, до якої групи він би не відносився, при високих швидкостях руху дослідної поверхні не вимірює реальну її температуру [1; 5–7]. Зареєстроване значення так чи інакше різниться від реального, ця різниця залежить як від конструкції ТП, так і від матеріалу та швидкості переміщення дослідної поверхні [2]. В деяких випадках вдається внести поправку в результати вимірювання, з тим щоб перерахувати виміряне значення температури до реального зниження інерційності ТП шляхом вибору конструктивного рішення та регулювання або уніфікації поправок до результатів вимірювання шляхом керування параметрами моделі ТП [2–4].

Мета роботи. Дані дослідження спрямовані на вирішення низки теоретичних задач і узагальнення наявного матеріалу з питань, пов'язаних із підвищенням точності засобів термометрії, ТП яких в процесі вимірювань здійснюють переміщення.

Виклад основного матеріалу досліджень. Із аналізу конструктивної моделі системи (рис. 1) слідує, що основні проблеми при формулюванні контактних умов виникають на границі розподілу дослідний об'єкт – проміжний агент. На границі розподілу проміжний агент – ТП приймає умови ідеального теплового контакту – рівність потоків тепла і температур по обидва боки границі розподілу.

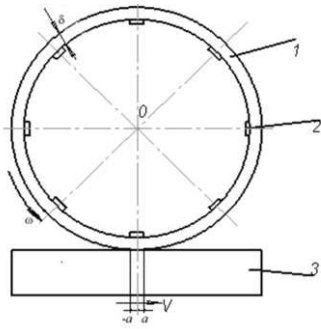


Рис. 1. Конструктивна схема ТП:

- 1 – валік; 2 – ТЧЕ; 3 – рухома дослідна поверхня;
 δ – товщина валіка (м), $[-a; a]$ – зона контакту (м);
 V – лінійна швидкість дослідної поверхні (м/с);
 ω – кутова швидкість обертання валіка (рад/с)

При розробці обертового контактного ТП для контролю температури рухомої поверхні першим наближенням значення температури поверхні було миттєве значення температури ТЧЕ в момент контакту. При розміщенні ТЧЕ в масиві вальця це припущення є дуже наближеним. При цьому похибка вимірювання зростає із збільшенням швидкості обертання носія ТЧЕ [8].

Для компенсації методичної похибки, що виникає внаслідок різниці в показниках температури поверхні та ТЧЕ, що лише короткий час контактує з нею, використано розв'язок нестационарної задачі теплопровідності для півпростору, що нагрівається рухомих вздовж поверхні джерелом тепла [14-15]. Використовуючи результати, отримані в [6], та приймаючи матеріал, з якого виготовлена стінка валіка, однорідним з коефіцієнтом теплопровідності λ_1 , густиною ρ , питомою теплоємністю c та коефіцієнтом температуропровідності $\kappa = \frac{\lambda_1}{\rho c}$,

можна записати отриману з розрахунку методичну похибку, яку слід додавати до реального значення вимірної температури

$$\Delta_{мет} = \frac{H}{4 \cdot \rho \cdot c \cdot (\pi \cdot \kappa \cdot t)^{\frac{3}{2}}} \cdot \exp\left[\frac{-(R)^2}{4 \cdot \kappa \cdot t}\right], \quad (1)$$

$t = \frac{R^2}{6 \cdot \kappa}$ – безрозмірний параметр, за який валік робить повний оберт; R – радіус валіка; H – сумарний потік тепла, при ідеальному контакті визначається рівністю

$$H = 4 \cdot \lambda_1 \cdot a \cdot (T_1 - T_c) = 4 \cdot \lambda_2 \cdot a \cdot (T_c - T_2) = 4 \cdot \lambda \cdot a \cdot (T_1 - T_2), \quad (2)$$

де $\lambda = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$ – коефіцієнт теплопровідності

контакту двох тіл з коефіцієнтами теплопровідності λ_1 та λ_2 ; T_1, T_2, T_c – відповідно температура 1, 2-го тіла та середнє їх значення.

Тут враховано можливість розміщення ТЧЕ як на поверхні валіка, так і на деякій віддалі від поверхні. Такий підхід до знаходження реального

значення методичної похибки та її безпосереднього врахування у вигляді поправки можна вважати другим наближенням у встановленні реальної температури рухомого тіла.

Проте, поправка для компенсації методичної похибки є залежною від координати x зони контакту.

$$T(x) = T_0 + \frac{ha}{\lambda} \left\{ \frac{2}{\pi} \left(\frac{1}{Pe} \right) (1+x) \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

де $-a \leq x \leq a$, $Pe = Va/2\kappa$ – параметр Пекле.

Як правило, при термопружному контакті зона контакту є співвимірною з розміром ТЧЕ, тому зафіксувати реальне значення температури в довільній точці з координатою x неможливо. Натомість фіксується певне середнє значення температури по площадці контакту. З цією метою використовується розв'язок [6] для термопружного контакту двох тіл

$$T_{mean} = T_0 + \frac{4ha}{3\lambda} (\pi Pe)^{-\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Отже, використовуючи точне значення розрахункової температури та середнє вимірне значення, можна отримати оцінку методичної похибки методу в залежності від моменту зняття показів з ТЧЕ [9-12]. Алгоритм підрахунку методичної похибки в середовищі пакета MathCAD відображено залежностями (5)

$$\Delta(x) := \begin{cases} Pe \leftarrow \frac{V \cdot a}{2 \cdot \kappa} \\ T_m \leftarrow \frac{4 \cdot h \cdot a}{3 \cdot \kappa} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot Pe}} \\ T \leftarrow \frac{h \cdot a}{\kappa} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left(\frac{1}{Pe} \right) \cdot (1+x) \\ \Delta \leftarrow \left| \frac{T_m - T}{T} \right| \cdot 100 \end{cases} \quad (5)$$

Методична похибка обрхована у відсотках значення поправки, яку можна реально виміряти і врахувати, до реального значення поправки на прогрів ТЧЕ, отриманої з розв'язку задачі теплопровідності. На рис. 2 показано величину зміни методичної похибки в залежності від точності зняття показів при обертанні ТЧЕ. Зліва на графіку – абсиси «-1» – початок зони контакту, де починається нагрів, справа – кінець зони контакту.

Як видно з графіка, найбільша методична похибка отримується при вимірюванні температури безпосередньо на початку контактування поверхонь дослідного тіла і ТП. Надалі їх температури зрівнюються, хоча методична похибка не дорівнює нулю, а при виході із зони контакту похибка знову наростає, проте не так стрімко.

На рис. 3 зображено збільшення попереднього графіка у зоні досягнення мінімуму методичної похибки. Як видно, підбором моменту зняття показів можна мінімізувати методичну похибку, але звести її до нуля не вдається.

Висновки

Оптимальним добором геометричних та кінематичних параметрів ТП покази ТЧЕ можна максимально наблизити до реальної температури рухомого об'єкта шляхом врахування методичної похибки. Отримане для конкретного випадку вимірювального приладу значення методичної похибки в обчисленні температури рухомої

поверхні об'єкта навіть при коректуванні за розробленою раніше методикою склало 2% від величини поправки на рух ТЧЕ, що становить доли відсотка від реальної температури поверхні. Із зменшенням швидкості руху поверхні дослідного об'єкта методична похибка має тенденцію до спадання.

Метод. похибка, %

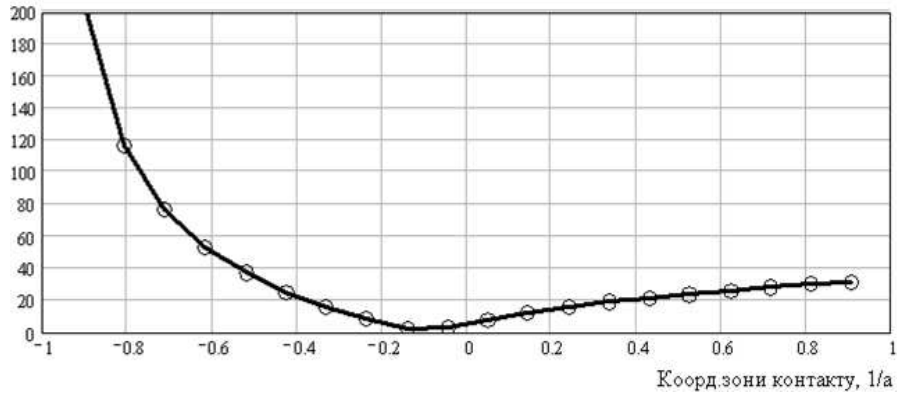


Рис. 2. Значення методичної похибки (%) від координат зони контакту

Метод. похибка, %

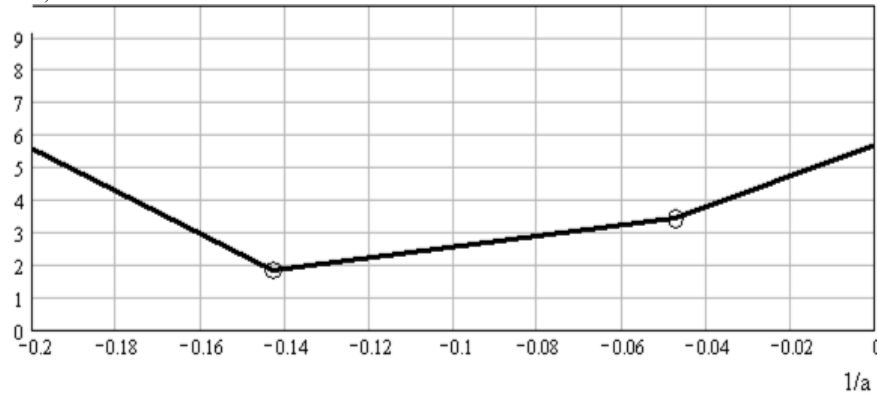


Рис. 3. Зона досягнення мінімуму методичної похибки

Список літератури

1. Ванкевич П.І. Дослідження процесів теплообміну при контактному вимірюванні температури рухомої поверхні [Текст] / П.І. Ванкевич // *Systems and means of motor transport. Selected problems. Monografia nr 2. Seria : TRANSPORT, RZESOW.* – 2011. – Р. 113-120.
2. Ванкевич П.І. Математичний опис процедури вимірювання температури рухомих об'єктів [Текст]: матеріали науково-практичної конференції «Молоді вчені у вирішенні проблем аграрної науки і практики» / П.І. Ванкевич, В.І. Асташкін, Є.Г. Іваник. – Львів: ЛНУВМ та БТ ім. Гжицького. – 2009. – С. 43.
3. Ванкевич П.І. Математичний опис процедури вимірювання температури рухомих об'єктів [Текст] / П.І. Ванкевич, В.І. Асташкін, Є.Г. Іваник // *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького.* – 2009. – Т. 11. – № 2(41), частина 5. – С. 15-19.
4. Ванкевич П.І. Моделювання умов теплообміну між контактними термоперетворювачами та дослідними поверхнями [Текст] / П.І. Ванкевич // *Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту : Агроінженерні дослідження.* – 2006. – № 10. – С. 369-373.

5. Ванкевич П.І. Напрями розвитку контактної термометрії рухомих об'єктів [Текст] / П.І. Ванкевич // *Вимірювальна техніка та метрологія.* – 2000. – Вип. 57. – С. 67-69.
6. Ванкевич П.І. Оптимізація параметрів рухомих контактних термоелектричних перетворювачів [Текст] / П.І. Ванкевич, О.М. Бурнаєв // *Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження.* – 2005. – № 9. – С. 377-385.
7. Ванкевич П.І. Прилади для контактного вимірювання температури рухомих об'єктів [Текст]: *Вчені ЛДАУ виробництва. Каталог наукових розробок за заг. ред. В.В. Снітинського.* – Вип. VII – ЛДАУ, 2007. – С. 53-55.
8. Ванкевич П.І. Принципи побудови контактних засобів вимірювань температури рухомих об'єктів [Текст] / П.І. Ванкевич, В.І. Асташкін, Є.Г. Іваник. *Восьмий міжнар. симп. укр. інженерів-механіків у Львові: 23-25 травня.* – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2007. – С. 113.
9. Ванкевич П.І. Теоретичні дослідження умов теплообміну при контактному вимірюванні температури

поверхні [Текст]: тези доповіді до міжнародної конференції «Моделювання і дослідження стійкості систем» / П.І. Ванкевич, Л.Д. Величко, В.О. Фединець. – К., 1997. – С. 22.

10. Ванкевич П.І. Теплообмін між контактними термоперетворювачами та дослідною поверхнею [Текст]: тези доповідей до міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика АПК», 19–20 вересня, ЛДАУ, 2006. – Том 2. – С. 322-324.

11. Ванкевич П.І. Теплові величини – джерело інформації про стан технічних об'єктів [Текст]: тези доп. П'ятого міжнар. симп. укр. інженерів-механіків у Львові: 16-18 травня. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2001. – С. 81.

12. Ванкевич П.І. Шляхи підвищення точності рухомих контактних термоперетворювачів [Текст] /

П.І. Ванкевич, О.М. Бурнаєв // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – Вип. 58. – С. 83-90.

13. Измерения в промышленности. Справ. изд. в 3-х кн. – Кн. 2. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. [Под ред. П. Профоса]. – М.: Металлургия, 1990. – 384 с.

14. Карслоу Г. Теплопроводность твёрдых тел [Текст] / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 487 с.

15. Хантер Н. Контактная задача качения жесткого цилиндра по вязко-упругому полупространству [Текст] / Н. Хантер // Прикладная механика. – М.: Мир, 1961. – Т. 28, № 4. – С. 146-153.

Рецензент: А.Ф. Обшта, д.т.н., проф., Навчально-консультаційний центр, Національний транспортний університет, Львів.

РАСЧЕТ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ КОНТАКТНЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (ТП) ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

П.И. Ванкевич

Предложена методика математического расчета методической погрешности механических контактных термометров, что позволяет прогнозировать поведение показателей данного типа термометров в процессе как постоянного, так и циклического действия тепловой нагрузки. Полученные математические зависимости способны учитывать различные конфигурации термопреобразователей и их физико-механические характеристики. Результаты расчетов показывают, что полученное для конкретного случая измерительного прибора значение методической погрешности составляет доли процента от реальной температуры поверхности.

Ключевые слова: методическая погрешность, механические контактные термометры, тепловая нагрузка.

CALCULATION OF METHOD ERROR OF CONTACT-COUPLE THERMAL CONVERTERS WHEN MEASURING TEMPERATURES OF MOVING OBJECTS

P. Vankevych

The technique of method errors mathematical calculation of mechanical contact thermometers, which allows to predict the behavior of this type of thermometer hits in the process as a constant and cyclic thermal loading steps is offered. Obtained mathematical dependences are able to consider various configurations of thermocouples and their physical and mechanical properties. The calculation results show that obtained for case gauge the value of methodological error is fraction of a percent of actual surface temperature.

Keywords: method error, mechanical contact thermometers, heat load.

УДК 621.396

С.В. Герасимов¹, Е.С. Рошупкин¹, Г.А. Федак², Я.В. Бабий²

¹Научный центр Харьковського університета Воздушних Сил, г. Харьков.

²Академия сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, г. Львов

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩИХ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В АКТИВНОЙ НЕКОГЕРЕНТНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСКОЛЬКИХ НЕРАВНОТОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ С РАЗНЫМ ТЕМПОМ ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА

Предложен алгоритм определения параметров движения воздушного объекта в единой прямоугольной системе координат при обработке радиолокационной информации, получаемой системой с несинхронным обзором пространства от нескольких неравноточных источников с разным темпом обновления информации.

Ключевые слова: радиолокационная информация, алгоритм, маневрирующие объекты