



*I. S. Васильківський, В. О. Фединець, Я. П. Юсик*

*Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ РІДИН

Розглянуто теоретичні основи побудови вимірювального перетворювача температуропровідності рідин з використанням порівняльного методу вимірювання, що дасть змогу підвищити точність і спростити процес вимірювання порівняно з відомими рішеннями. В основі розробленого вимірювального перетворювача є схема, яка містить у своєму складі дві однакові трубки постійного перетину, через які прокачують, відповідно, досліджувану і еталонну рідини з однаковими витратами. Проаналізовано задачу теплообміну під час протікання рідини у круглій трубці за постійної температури стінки. Показано, що порівнюючи потоки досліджуваної та еталонної рідини, можна визначити коефіцієнт температуропровідності досліджуваної рідини за значенням коефіцієнта температуропровідності еталонної рідини шляхом порівняння значень відповідних їм параметрів, які називають темпом нагрівання або охолодження. На основі цього отримано розрахункові формули для визначення коефіцієнта температуропровідності рідин розробленим перетворювачем. Наведено опис принципової схеми та значення конструктивних параметрів розробленого перетворювача температуропровідності рідин. Описано порядок проведення вимірювань розробленим перетворювачем. Наведено результати експериментальних досліджень температуропровідності рідин у діапазоні температур 300...330 К з використанням розробленого перетворювача.

**Ключові слова:** коефіцієнт температуропровідності; температура; досліджувана рідина; еталонна рідина; теплообмін; теплообмінна ділянка.

**Вступ.** Для вирішення інженерних завдань, пов'язаних з розрахунками процесів та апаратів хімічних і нафтохімічних виробництв, теплоенергетичної та холодильної техніки, де широко використовують рідини різного цільового призначення, потрібно мати дані про основні теплофізичні властивості, до яких належить температуропровідність. Крім практичного значення, дані про температуропровідність є цінним джерелом інформації для аналізу загальних закономірностей механізму переносу тепла, що безпосередньо пов'язане з фундаментальними проблемами рідкого стану речовин, які на цей час не можна вважати вирішеними.

Температуропровідність є однією з найважливіших характеристик рідин, оскільки характеризує процес перенесення теплоти і зміни температури в них (Ponomarev & Mishhenko, 1997). Вона характеризується коефіцієнтом температуропровідності, який є фізичним параметром матеріалу і слугує мірою його теплоінерційних властивостей. За інших однакових умов швидше нагрівається або охолоджується те тіло, яке має більше значення коефіцієнта температуропровідності. Він істотний для нестационарних теплових процесів і характеризує швидкість зміни температури. Для кожного середовища вказаний параметр має певне значення і, загалом, є функцією параметрів стану. Сучасна база знань із

температуропровідності рідин, побудована на численних експериментальних даних, далека від завершення. Наявні на цей час довідкові дані отримано на різних експериментальних установках з важко оцінюваною похибкою.

Розрахункові методи визначення теплофізичних властивостей рідин не завжди дають бажаний результат. Тому на перший план виходить завдання експериментального дослідження теплофізичних властивостей рідин, зокрема температуропровідності (Ponomarev et al., 2008).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відомий вимірювальний перетворювач температуропровідності рідин (Vasykivskiy, Fedynets & Yusyk, 2016), в якому через дві однакові трубки постійного перетину, відповідно, прокачують досліджувану й еталонну рідини з однаковою витратою. При цьому температури рідин на входах у вимірювальні ділянки підтримують однаковими. На вході й виході вимірювальних ділянок вимірюють температури рідин, а на стінки трубок впливають тепловими потоками зі щільностями, які забезпечують рівність середньомасових температур на виходах з вимірювальних ділянок та за відомими співвідношеннями розраховують вимірювану величину.

### Інформація про авторів:

**Васильківський Ігор Степанович**, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Email: vis@ukr.net

**Фединець Василь Олексійович**, д-р техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Email: v.fedynets@ukr.net

**Юсик Ярослав Петрович**, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Email: vis@ukr.net

**Цитування за ДСТУ:** Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Вимірювальний перетворювач температуропровідності рідин. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(9). С. 99–103.

**Citation APA:** Vasykivskiy, I. S., Fedynets, V. O., & Yusyk, Ya. P. (2017). Thermal Conductivity Liquid Transmitter. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(9), 99–103. <https://doi.org/10.15421/40270921>

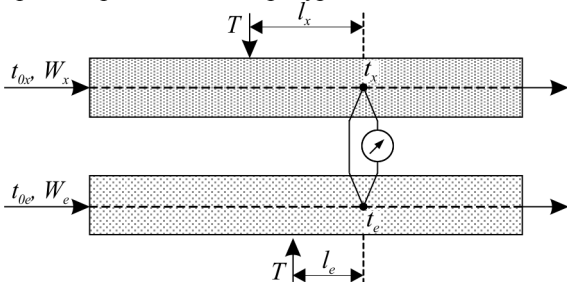
Недоліком цього перетворювача є потреба вимірювання кількох різниць температур. Вимірювання середньомасової температури рідини ускладнює конструкцію пристрою, а вимірювання температури в точці вносить істотну похибку, тому що точність визначення температуропровідності великою мірою залежить від точності установки давачів температури в задані точки перетину.

**Методика дослідження** – створення, на базі розроблених методологічних підходів, вимірювального перетворювача температуропровідності рідин, що дасть змогу підвищити точність вимірювання температуропровідності рухомої рідини, розширити діапазон вимірювання, а також, внаслідок спрощення вимірювальної схеми, значно підвищити його надійність.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Пропонуємо за основу для розроблення вимірювального перетворювача взяти схему, яка містить у своєму складі дві однакові трубки постійного перетину, через які прокачують, відповідно, досліджувану й еталонну рідини з однаковою витратою, причому температури рідин на входах у вимірювальні ділянки підтримують однаковими.

На стінки вимірювальних ділянок трубок впливають середовищем з однаковою температурою (створюють тепловий потік), відмінною від температури рідин на вході, і вимірюють різницю температур між точками на вимірювальних ділянках трубок, що займають аналогічні положення у перетинах трубок (рис. 1).

Температуропровідність вимірюють так. Зону впливу на одну із трубок (наприклад із досліджуваною рідиною) переміщують так, щоб забезпечити рівність нулю вимірюваної різниці температур. Шукають величину (температуропровідність досліджуваної рідини) визначають за співвідношенням відстаней від початку ділянок впливу середовищем з постійною температурою (зони створення теплового потоку) до точок, між якими вимірюють різницю температур.



**Рис. 1.** Схема руху досліджуваної й еталонної рідини та розподілу температур у вимірювальній схемі

Для отримання основних співвідношень розглянемо задачу теплообміну під час в'язкісного плину рідини у круглій трубці за постійної температури стінки. При цьому приймаємо такі допущення (Петухов, 1967):

- напірна течія рідини й процес теплообміну – стаціонарні;
- рідина нестислива, її фізичні властивості постійні (тобто не залежать від температури й тиску);
- течія рідини стабілізована, тобто профіль швидкості не змінюється по довжині (ділянці теплообміну передус ізотермічна заспокоїлива ділянка, протягом якої формується профіль швидкості);
- витрата рідини задана або, що те ж саме, відома середня по перетину швидкість рідини;
- у вхідному перетині теплообмінної ділянки температура рідини постійна по перетину і дорівнює  $t_0$ ;

- температура внутрішньої поверхні стінки труби на ділянці теплообміну постійна і дорівнює  $t_c$ , причому  $t_c \neq t_0$ ;
- у потоці відсутні внутрішні джерела тепла, а кількість тепла, що виділяється внаслідок дисипації енергії, можна знехтувати;
- зміна теплового потоку уздовж осі труби, зумовлена теплопровідністю, дуже мала порівняно зі зміною теплового потоку вздовж осі, зумовленою конвекцією.

З урахуванням прийнятих допущень рівняння енергії в циліндричних координатах, що відповідає розглянутому завданню, можна записати у вигляді

$$\frac{\partial^2 g}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial g}{\partial r} = \frac{2 \cdot \bar{W}}{\alpha} \left[ 1 - \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \frac{\partial g}{\partial x}, \quad (1)$$

де:  $v = t - t_c$  – надлишкова температура;  $t$  – температура рідини;  $t_c$  – температура стінки;  $r$  – радіус (відстань від центральної осі циліндричного потоку до розглянутої точки з температурою  $t$ );  $\bar{W}$  – середня у перетині швидкість потоку;  $\alpha$  – коефіцієнт температуропровідності;  $r_0$  – радіус трубки;  $x$  – довжина (відстань від початкового перетину до розглядуваної точки потоку).

Граничні умови мають вигляд:

$$\text{при } x = 0 \text{ і } 0 \leq r \leq r_0, v = v_0;$$

$$\text{при } x \geq 0 \text{ і } r = 0, \frac{\partial g}{\partial r} = 0;$$

$$\text{при } x \geq 0 \text{ і } r = r_0, v = 0,$$

де  $v_0 = t_0 - t_c$  – надлишкова температура в початковому перетині потоку.

Для зручності подальших обчислень наведемо рівняння енергії (1) і граничні умови (2) до безрозмірного виду, для цього введемо безрозмірні змінні:

$$\theta = \frac{g}{g_0} = \frac{t - t_c}{t_0 - t_c}; \quad R = \frac{r}{r_0}.$$

Після простих перетворень отримаємо:

- рівняння енергії

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \theta}{\partial R} = (1 - R^2) \frac{\partial \theta}{\partial x}; \quad (2)$$

- граничні умови:

$$\text{при } x = 0 \text{ і } 0 \leq R \leq 1, v = 1;$$

$$\text{при } x \geq 0 \text{ і } R = 0, \frac{\partial \theta}{\partial R} = 0;$$

$$\text{при } x \geq 0 \text{ і } R = 1, v = 0,$$

де:  $x = \frac{\alpha}{2 \cdot \bar{W} \cdot r_0} \cdot \frac{x}{r_0} = \frac{2}{Pe} \cdot \frac{x}{d}$ ;  $Pe = \frac{\bar{W} \cdot r_0}{2}$  – число Пекле;  $d$  – діаметр трубки.

Загальний розв'язок рівняння (1) при граничних умовах (2) запишемо у вигляді суми ряду (Петухов, 1967, р.83)

$$\theta = \frac{g}{g_0} = \frac{t - t_c}{t_0 - t_c} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot \psi_n \left( \frac{r}{r_0} \right) \cdot \exp \left( -2 \cdot \xi_n^2 \cdot \frac{1}{Pe} \cdot \frac{x}{d} \right), \quad (3)$$

де:  $A_n$  – постійні, що залежать від розподілу температури в початковому перетині;  $\psi_n(r/r_0)$  – функції, що залежать від координат розглянутої точки потоку;  $\xi_n$  – постійні, що визначають режим потоку.

На достатньому віддаленні від початкового перетину, починаючи з деякого значення приведеної довжини, профілі розподілу температури в перетині потоку стають подібними, тобто температура в різних перетинах відрізняється лише за абсолютною величиною, а закон зміни температури по радіусу залишається однаковим.

Зі збільшенням  $x$  вплив наступних членів ряду (3) порівняно з попередніми, швидко зменшується. Нарешті, при досить великій приведеній довжині  $x$  усіма членами ряду (3), крім першого, можна зневажити. У цьому випадку розв'язок для температурного поля можна представити у вигляді

$$\frac{t-t_c}{t_0-t_c} = A_0 \cdot \psi_0 \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right) \cdot \exp\left(-2 \cdot \xi_0^2 \cdot \frac{1}{Pe} \cdot \frac{x}{d}\right). \quad (4)$$

З рівняння (4) видно, що зміна температури  $t$  по радіусу при будь-яких  $x$  описується однією й тією ж функцією  $\psi_0(r/r_0)$ , а зміна по довжині при всіх значеннях  $r$  відбувається за експонентою. Значення величини  $\xi_0^2$  у точках потоку при деяких значеннях  $x$ , що перевищують початкову ділянку (у так званій автомобільній області), визначається за граничним значенням числа Нуссельта ( $Nu_\infty$ ), яке дорівнює  $Nu_\infty = 3,637$ . І, як випливає з формули (6-27) (Petuhov, 1967, p.87) величина

$$\xi_0^2 = 2 \cdot Nu_\infty = 3,637. \quad (5)$$

Враховуючи рівність (5) і вираз для числа  $Pe$ , рівняння (4) набуде вигляду

$$\frac{t-t_c}{t_0-t_c} = A_0 \cdot \psi_0 \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right) \cdot \exp\left(-3,637 \cdot \frac{\alpha}{r_0^2} \cdot \frac{x}{W}\right). \quad (6)$$

Диференціюючи рівняння (6) і позначаючи

$$\frac{x}{W} = Z; \quad 3,637 \cdot \frac{\alpha}{r_0^2} = m, \quad (7)$$

отримаємо 
$$m = -\frac{1}{t} \cdot \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\partial \ln t}{\partial z}. \quad (8)$$

З рівняння (7) випливає, що параметр  $m$  визначається як тангенс кута нахилу прямої, побудованої в координатах  $\ln t - z$ .

Порівнюючи два потоки рідин: досліджуваної та еталонної, можна визначити коефіцієнт температуропровідності досліджуваної рідини за значенням коефіцієнта температуропровідності еталонної рідини шляхом порівняння значень відповідних їм параметрів, які називають темпом нагрівання або охолодження.

Для складання таких співвідношень потрібне дотримання таких умов:

- умови теплообміну в обох потоках (досліджуваному й еталонному) відповідають прийнятим раніше допущенням;
- витрати рідин, а відповідно, швидкості обох потоків  $\bar{W}$  однакові;
- внутрішні діаметри трубок однакові;
- значення температури рідин на входах у теплообмінні ділянки однакові  $t_{ox} = t_{oe}$ ;
- значення температури стінок трубок на ділянці теплообміну однакові  $t_{cx} = t_{ce}$ .

У такий спосіб для обох потоків задають однакові граничні умови.

За дотримання перерахованих вище умов, виходячи зі співвідношень (7) і (8), можна стверджувати, що значення темпів нагрівання (охолодження) або ж тангенсів кута нахилу прямих, побудованих у координатах  $\ln t - z$ , прямо пропорційні температуропровідностям рідин  $a$ .

Розглянемо в координатах  $\ln t - z$  темпи нагрівання  $m$  для двох потоків, досліджуваного й еталонного, позначені відповідно  $m_x$  і  $m_e$ , де  $m_x = \operatorname{tg} \alpha_x$ ,  $m_e = \operatorname{tg} \alpha_e$ .

На рис. 2 представлено темпи нагрівання  $m$  для двох потоків рідин: досліджуваної 1 і еталонної 2. Допустимо, що визначаємо значення параметрів  $m$  для обох по-

токів за однакових значень температури в деяких точках потоків. Тоді, як випливає з графічної залежності:

$$m_x = \frac{\ln t_x}{z_x}; \quad m_e = \frac{\ln t_e}{z_e}.$$

а відношення  $m_x/m_e$ , при однакових значеннях  $\ln t_x = \ln t_e$  визначається

$$\frac{m_x}{m_e} = \frac{z_e}{z_x}. \quad (9)$$

Беручи до уваги співвідношення (7), отримаємо  $\frac{\alpha_x}{\alpha_e} = \frac{z_e}{z_x}$  або при однакових значеннях  $\bar{W}_x = \bar{W}_e$ , отримаємо:

$$\frac{a_x}{a_e} = \frac{l_e}{l_x}; \quad a_x = a_e \cdot \frac{l_e}{l_x}, \quad (10)$$

де  $l_x, l_e$  – величина відстаней від початку ділянок теплообміну до точок, у яких вимірюються температури.

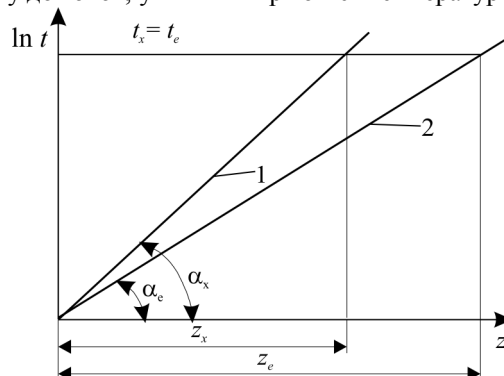


Рис. 2. Темпи нагрівання  $m$  для двох потоків рідин: досліджуваної 1 та еталонної 2

Однакових значень температури можна досягти за рахунок зміни швидкості одного з потоків  $\bar{W}_x$  або  $\bar{W}_e$ , однак практично вимірювати довжину  $l$  можна набагато точніше, ніж швидкість потоку  $\bar{W}$ .

Окрім цього, завдання визначення величини  $\alpha_x$  може бути вирішене шляхом досягнення однакових значень темпу нагрівання для обох потоків ( $m_x = m_e$ ) у точках, віддалених на однакових відстанях від початку теплообмінних ділянок ( $l_x = l_e$ ) за рахунок зміни температури стінки однієї із трубок за допомогою термостата, що задає граничні умови. Однак, у цьому випадку вимірювання температури буде здійснюватися з меншою точністю, окрім цього, процес переходу в стаціонарний режим буде тривати довше.

Експериментальна установка для безперервного вимірювання температуропровідності рідини (рис. 3) складається з місткостей 1, 2 для досліджуваної й еталонної рідин; pomp 3, 4; задавачів витрати 5, 6 і вимірювального пристрою 7, що представляє собою дві трубки 6, 9, на яких встановлені водяні сорочки 10, 11, в яких циркулює теплоносій з термостата 17. На трубках 6, 9 також насаджені циліндричні пустотілі камери 12, 13, виконані з можливістю переміщення уздовж осей цих трубок, в яких циркулює теплоносій з термостата 14. У перетині трубок 6, 9 встановлені різні спай диференціальної термомпары 15, підключеної до нуля-індикатора 16.

Вимірювання здійснюють так.

Досліджувану та еталонну рідини, відповідно, з місткостей 1, 2, прокачують помпами 3, 4 через термостат 17, де вони нагріваються до однакової температури, і вимірювальний пристрій 7. При цьому витрати досліджуваної й еталонної рідини підтримують однаковими

за допомогою задавачів витрати, відповідно 5, 6. На початку вимірювальних трубок 8, 9 передбачені ізотермічні ділянки, які створюються водяними сорочками 10, 11, призначеними для отримання усталеного режиму плинину з параболічним профілем швидкості для обох рідин. Вплив на стінки вимірювальних ділянок трубок середовищем з однаковою температурою, відмінною від температури рідин на входах у вимірювальні ділянки, здійснюють шляхом циркуляції теплоносія з термостата 14 через камери 12, 13.

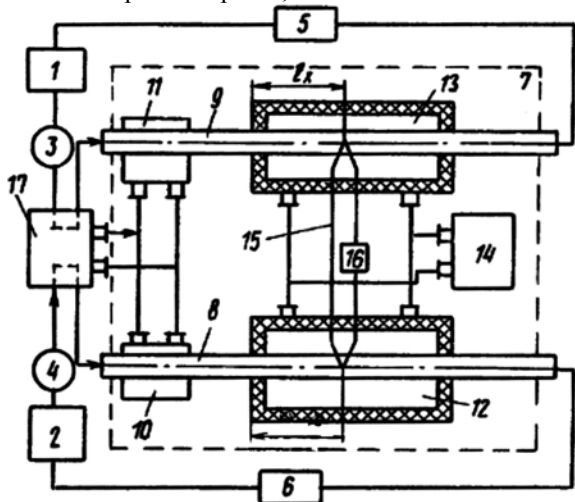


Рис. 3. Принципова схема вимірювального перетворювача температуропровідності рідин

Для вимірювання коефіцієнта температуропровідності рідини циліндричну камеру 12, за допомогою якої впливають на вимірювальну ділянку трубки 8, якою прокачується еталонна рідина, встановлюють у певному фіксованому положенні. Переміщаючи зону впливу на вимірювальну ділянку трубки 9 (з досліджуваною рідиною), домагаються рівності вимірюваних температур і за співвідношенням відстаней від початку ділянок впливу середовищем з постійною температурою до точок, між якими вимірюють різницю температур, визначають шукану величину.

Вимірювання потрібно здійснювати тільки у стаціонарних умовах теплообміну, тобто після переміщення зони впливу потрібно витримати якийсь час для стабілізації режиму, що визначається за стабілізацією показів нуль-індикатора 16, й після цього порівнювати значення температур, вимірюваних в обраних точках потоків.

Залежно від того, в якому положенні зафіксована зона впливу середовищем з постійною температурою на вимірювальну ділянку трубки 8, стосовно спаю диференціальної термопару 15, змінюється діапазон вимірювання.

Так, наприклад, якщо зафіксувати зону впливу (тобто циліндричну камеру 12) на трубку, якою прокачуються еталонна рідина, так, щоб спай диференціальної термопару 15 перебував на однаковій відстані від початку й кінця зони впливу (тобто від двох протилежних торців 12), то при переміщенні зони впливу (циліндричної камери 13) на трубку з досліджуваною рідиною з

одного крайнього положення, у якому  $l_x = 0$ , в інше  $-l_x = l_z$ , відношення  $l_z/l_x$  змінюється в межах від 0,5 до  $\infty$ . Розміщення спаю термопару в іншій точці по довжині зони впливу (циліндричної камери 12), веде до зміни діапазону вимірювань.

Під час реалізації цього вимірювального перетворювача в ролі вимірювальних трубок застосовують дві однакові мідні трубки, внутрішнім діаметром  $d_{вн} = 4$  мм, зовнішнім діаметром  $d_{зн} = 6$  мм. Довжини ізотермічних ділянок, з розміщеними на них водяними сорочками, які інтенсивно обмиваються теплоносієм (наприклад водою за  $20$  °С), для обох трубок прийняті однаковими  $l_{із} = 200$  мм. Також однаковими прийняті довжини вимірювальних ділянок,  $l_T = 400$  мм, вздовж яких переміщуються циліндричні камери довжиною  $l_k = 200$  мм, діаметром  $d_k = 15$  мм.

Як еталонну рідину застосовували толуол, теплофізичні характеристики якого вивчені досить точно. Проведено вимірювання теплофізичних характеристик води й бензолу в діапазоні температур  $300 \dots 330$  °К. Наприклад, для  $310$  °К отримано такі значення коефіцієнта температуропровідності: води  $- 1,53 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с; бензолу  $- 9,2 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. Аналіз отриманих даних показав, що похибка вимірювань не перевищує  $2 \dots 3$  %.

**Висновки.** Пропонований вимірювальний перетворювач, порівняно із відомим, дає змогу підвищити точність вимірювання коефіцієнта температуропровідності. Цього досягають тим, що немає потреби безпосереднього вимірювання температур і їх різниць. Для визначення шуканої величини достатньо контролювати рівність нулю вимірюваної різниці температур за допомогою нуль-індикатора, і вимірювати переміщення ділянок впливу середовищем з постійною температурою.

Окрім цього, у пропонованому вимірювальному перетворювачі, порівняно із відомим, відпадає потреба у вимірюванні середньомасових температур рідин на входах з вимірювальних ділянок, а також у теплоізоляції нагрівачів від навколишнього середовища шаром спеціального матеріалу, що істотно спрощує конструкцію вимірювального перетворювача.

#### Перелік використаних джерел

- Petuhov, B. S. (1967). *Teploobmen i soprotivlenie pri laminarnom techenii zhidkosti v trubah*. Moscow: Energiia. 409 p. [in Russian].
- Ponomarev, S. V., & Mishhenko, S. V. (1997). *Metody i ustrojstva dlja izmerenija jefektivnyh teplofizicheskikh harakteristik potokov tehnologicheskikh zhidkostej*. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta. 249 p. [in Russian].
- Ponomarev, S. V., Mishhenko, S. V., Divin, A. G. et al. (2008). *Teoriticheskie i prakticheskie osnovy teplofizicheskikh izmerenij*. Moscow Fizmatlit. 408 p. [in Russian].
- Vasyukivskiy, I. S., Fedynets, V. O., & Yusyk, Ya. P. (2016). Measuring Transducer of Thermophysical Properties of Liquids. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(7), 357–363. <https://doi.org/10.15421/40260756>

И. С. Васильковский, В. А. Фединец, Я. П. Юсык

Национальный университет "Львовская политехника", г. Львов, Украина

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

Рассмотрены теоретические основы построения измерительного преобразователя температуропроводности жидкостей с использованием сравнительного метода измерения, что позволит повысить точность и упростит процесс измерения по сравнению с известными решениями. В основе разработанного измерительного преобразователя использована схема, которая содержит в своем составе две одинаковые трубки постоянного сечения, через которые прокачивают, соответственно, ис-

следуемую и эталонную жидкости с одинаковыми расходами. Проанализирована задача теплообмена при протекании жидкости в круглой трубе при постоянной температуре стенки. Показано, что сравнивая потоки исследуемой и эталонной жидкостей, можно определить коэффициент температуропроводности исследуемой жидкости по значению коэффициента температуропроводности эталонной жидкости путем сравнения значений соответствующих им параметров, которые называются темпом нагрева или охлаждения. На основе этого получены расчетные формулы для определения коэффициента температуропроводности жидкостей разработанным преобразователем. Приведено описание принципиальной схемы и значение конструктивных параметров разработанного преобразователя температуропроводности жидкостей. Описан порядок проведения измерений разработанным преобразователем. Приведены результаты экспериментальных исследований температуропроводности жидкостей в диапазоне температур 300... 330 К с использованием разработанного преобразователя.

**Ключевые слова:** коэффициент температуропроводности; температура; исследуемая жидкость; эталонная жидкость; теплообмен; теплообменный участок.

*I. S. Vasylykivskyi, V. O. Fedynets, Ya. P. Yusyk*

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

## **THERMAL CONDUCTIVITY LIQUID TRANSMITTER**

When solving engineering tasks, related to the evaluation of processes and apparatus of chemical and petrochemical production, heat power and refrigeration technology, where the liquids of various purposiveness are widely used, it is necessary to have data on basic thermal-physical properties, which include thermal conductivity. The aim of the research is to design the thermal conductivity liquid transmitter on the basis of methodological approaches, developed by authors, which will enable improving accuracy of measurement of thermal conductivity of motive liquid, expand measuring range, and, as a result of simplifying of measuring circuit, considerably enhance its reliability. The developed measuring transmitter has a circuit, which contains two similar pipes of uniform section, through which the investigated and reference liquids with a similar consumption are pumped correspondingly, whereas the temperature of liquids at the entrance of measuring sections is maintained. They affect the walls of measuring sections of pipes with the environment of similar temperature (create the heat flow), different from the temperature of liquids at the entrance, and they measure the difference of temperature between points on the measuring sections of pipes, which has similar positions at the pipes section areas. The measuring of thermal conductivity is conducted in the following way. The area of influence on one of the pipes (for example, with a investigated liquid) is transferred in such a way as to ensure zero difference of measured temperature. The target value (thermal conductivity of the investigated liquid) is defined with the help of correlation of distance from the beginning of areas of influence with the environment with the constant temperature (area of creation of heat flow) to the points, between which the difference of temperatures is measured. Toluene was used as the reference liquid, the thermal-physical properties of which are studied rather accurately. The thermal-physical properties of water and benzol within the limits of temperatures of 300...330 K were measured. The offered measuring transmitter gives a possibility to improve the accuracy of measurement in comparison with common solutions due to the elimination of the necessity of direct measuring of temperatures and their differences, and to considerably simplify the construction, since the necessity to measure bulk temperatures of liquids at the exit from measuring sections and thermal isolation of heaters from the environment is eliminated.

**Keywords:** temperature conductivity; temperature; investigated liquid; reference liquid; heat exchange; heat exchange section.