

Як видно із графіків, поглинання антипірену зростає зі збільшенням вологості шпону, що пов'язано з кращим проходженням процесу дифузійного просочування у шпоні більш заповненому водою. Для забезпечення I групи вогнестійкості необхідне поглинання антипірену становить близько 100 кг/м<sup>3</sup>. Так, для досягнення вмісту антипірену близько 105 кг/м<sup>3</sup> необхідно шпон вологістю понад 100 % просочувати 8 хв, а шпон вологістю 70-80 % – 70 хв.

Оцінювання зовнішнього вигляду шпону показало відсутність висолювання антипірену на поверхні. Крім того, варто зауважити, що збільшиться показник щільності шпону на величину поглинання антипірену.

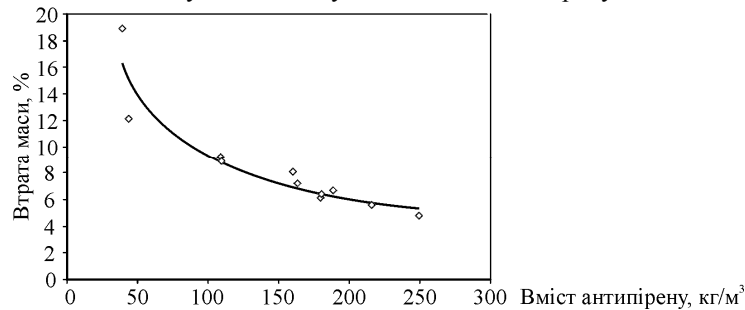


Рис. 2. Залежність вогнетривкості фанери від вмісту антипірену у шпоні

Проведення вогневих випробувань показало зменшення втрати маси зі збільшенням вмісту антипірену у шпоні. Зокрема за вмісту у шпоні 39,1 кг/м<sup>3</sup> антипірену втрата маси становила 18,9 %, а тривалість горіння 30 с, тління при цьому не спостерігалось. Такий матеріал належить до групи важкозаймистих матеріалів (втрата маси менша 30 %). Зразки із меншим вмістом антипірену згорали повністю. I група вогнезахисту досягається у випадку, коли вміст антипірену у шпоні становив 104 кг/м<sup>3</sup>, втрата маси фанери при цьому становить 8,9 %, а самостійне горіння і тління зразка відсутнє.

**Висновки:**

1. Досліджено вплив вологості на величину поглинання антипірену.
2. Встановлено, що для отримання важкогорючого лушеного шпону із втратою маси 8,9 %, необхідно просочувати шпон вологістю понад 100 % протягом 8 хв.
3. Зменшення початкової вологості лушеного шпону негативно впливає на поглинання і вимагає істотного збільшення тривалості просочування.

**Література**

1. Бринь О.І. Способи просочування шпону для виготовлення вогнетривкої фанери / О.І. Бринь // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15.5. – С. 179-182.
2. Бехта П.А. Обґрунтування способу просочування шпону для виготовлення вогнетривкої фанери / П.А. Бехта, О.І. Бринь // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.6. – С. 102-105.
3. Бехта П.А. Залежність фізико-механічних та вогнетривких властивостей фанери від вмісту антипірену у шпоні / П.А. Бехта, О.І. Бринь // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.1. – С. 95-99.
4. Мишков С.Н. Производство огнезащитной фанеры на основе пропитки шпона антипириенами : дисс.... канд. техн. наук: спец. 05.21.05 / Мишков Сергей Николаевич. – М., 1987. – 185 с.

**Бринь О.І., Копанский Н.Н. Исследование свойств шпона, пропитанного антипириенами**

Проанализированы свойства шпона, обработанного антипириенами. Исследовано зависимость поглощения антипириена от влажности шпона, а также влияние поглощенного антипириена на потерю массы при проведении огневых испытаний. Установлено, что начальная влажность шпона существенно влияет на его пропитку. Для получения трудногорючей фанеры необходимо содержание антипириена составляет 104 кг/м<sup>3</sup>. Для получения такого содержания антипириена шпон влажностью 70 % необходимо пропитывать 70 мин, а влажностью больше 100 % – только 8 мин.

**Ключевые слова:** шпон, пропитка, антипирен, влажность, потеря массы.

**Брын О.І., Копаньку М.М. Research of influence fire-retardant solution on veneer properties**

The influence of fire-retardant solution on veneer properties is analysed. The dependence of salt absorption on veneer moisture content and dependence of adsorbed fire-retardant on the loss of mass are investigated. The fire-retardant content must be about 104 kg/m<sup>3</sup> for providing the I-st group of heat-resistance. Veneer by moisture content over 100 % must be impregnated 8 min and 70 % moisture content veneer – 70 min.

**Keywords:** veneer, impregnation, fire-retardant, moisture content, loss of mass.

УДК 532.5.53.08:681.1

Доц. І.В. Ділай, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТА КІНЦЕВИХ ЕФЕКТИВ ВИТРАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАПІЛЯРА**

Отримано залежності для визначення коефіцієнта кінцевих ефектів витратної характеристики на основі експериментального дослідження параметрів потоку газу в прохідному каналі капіляра. Проаналізовано похибки складових залежностей для визначення коефіцієнта кінцевих ефектів і отримано коефіцієнти впливу цих складових. Виконано оцінювання граничної похибки визначення коефіцієнта кінцевих ефектів. Визначено, що вищу точність забезпечує залежність, в яку не входить діаметр прохідного каналу капіляра. Оцінено вплив похибки визначення коефіцієнта на похибку визначення дозованої капіляром витрати газу.

**Ключові слова:** капіляр, коефіцієнт кінцевих ефектів, витрата газу.

**Висвітлення предмету.** У контрольно-вимірвальній техніці, особливо в газоаналітичній, застосовують різні дросельні елементи, за допомогою яких задають основні параметри (тиск, витрату) газових потоків. Проектування газових схем пристроїв на основі дроселів потребує одержання їх адекватних математичних моделей, дослідження впливу усіх складових на витратну характеристику дроселя.

**Аналіз досліджень і публікацій показує,** що серед дросельних елементів найперспективнішими для побудови газодинамічних пристроїв є капіляри, насамперед скляні, оскільки вони можуть забезпечити стабільні витратні характеристики [1]. У роботі [2] наведено математичну модель капіляра, яка, окрім геометричних розмірів його прохідного каналу, параметрів стану дозованого газу (в'язкість, густина), режиму роботи (тиски на вході і виході капіляра, температура газу), містить також коефіцієнт кінцевих ефектів. Цей коефіцієнт введено для врахування особливостей протікання газу у початковій та кінцевій ділян-

ках прохідного каналу капіляра, проте наведене значення коефіцієнта дає значні розбіжності з експериментом.

**Метою роботи** є розроблення методики визначення коефіцієнта кінцевих ефектів та оцінка його впливу на витратну характеристику досліджуваного капіляра.

**Експериментальні методи визначення коефіцієнта кінцевих ефектів**

**1. Визначення коефіцієнта з витратної характеристики.** Протікання газу циліндричним каналом капіляра описують залежністю [3]

$$G = A \left[ \sqrt{1+Z} - 1 \right], \tag{1}$$

де:  $G$  – масова витрата газу через капіляр;  $A = 4\pi \mu l / \xi$  – коефіцієнт витрати;  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості газу за температури  $T$ ;  $\xi$  – коефіцієнт кінцевих ефектів;  $Z = YB$  – комплекс розмірів прохідного каналу і параметрів стану газу;  $Y = KX$  – комплекс розмірів каналу, параметрів виду газу і температури;  $K = \xi d^4 / l^2$  – конструктивний комплекс;  $d, l$  – відповідно діаметр і довжина прохідного каналу капіляра;  $X = (512 R_c T \mu^2)^{-1}$  – параметричний комплекс газу;  $R_c = R_\mu / M$  – газова стала;  $R_\mu$  – універсальна газова стала;  $M$  – молекулярна маса газу;  $B = P_v^2 - P_w^2$  – комплекс тисків;  $P_v, P_w$  – значення абсолютного тиску відповідно на вході і виході капіляра, які визначають як суму відповідних надлишкового  $P^\mu$  та атмосферного тисків.

Коефіцієнт  $\xi$  кінцевих ефектів капіляра можна визначити за вимірними значеннями величин, які входять у залежність (1). Для цього було виконано експериментальні дослідження витратних характеристик капілярів на лабораторній витратомірній установці, яка складається з високоточного плівкового витратоміра і зразкових засобів для вимірювання надлишкового та барометричного (атмосферного) тисків, температури дозованого газу [3].

Залежність для визначення  $\xi$ , отримана із (1), має вигляд

$$\xi = 8\pi G^{-1} \left[ \pi d^4 B (256 R_c T G)^{-1} - l \mu \right]. \tag{2}$$

Оскільки експериментальні дослідження виконані із залученням плівкового витратоміра, який вимірює об'ємну витрату  $Q$ , залежно (2) доцільно масову витрату  $G$  представити через об'ємну  $G = Q P_w / (R_c T)$ , внаслідок чого одержаний вираз для визначення  $\xi$  можна подати так:

$$\xi = 8\pi R_c T \mu P_w^{-1} \left[ \pi d^4 B (256 Q^2 P_w \mu)^{-1} - l Q^{-1} \right]. \tag{3}$$

Через те, що на розраховане за (3) значення коефіцієнта  $\xi$  безпосередньо впливають похибки визначення в'язкості, температури, витрати, вхідного і вихідного тисків дозованого газу, вимірювання довжини, а також діаметра прохідного каналу капіляра, то важливо оцінити граничну похибку  $\delta \xi^{\%}$  визначення коефіцієнта кінцевих ефектів.

**1.1. Оцінювання граничної похибки визначення коефіцієнта  $\xi$**

Оцінку виконано на основі положень теорії похибок вимірювань [4], згідно з якою

$$\delta \xi^{\%} = \left| K_\mu \delta_\mu + |K_T| \delta_T + |K_l| \delta_l + |K_d| \delta_d + |K_Q| \delta_Q + |K_{P^\mu}| \delta_{P^\mu} + |K_{P_w}| \delta_{P_w} \right|, \tag{4}$$

де:  $\delta_\mu, \delta_T, \delta_l, \delta_d, \delta_Q, \delta_{P^\mu}, \delta_{P_w}$  – граничні відносні похибки відповідно в'язкості, температури, довжини і діаметра прохідного каналу, об'ємної витрати, надлишкового на вході та абсолютного тиску на виході капіляра;  $K_\mu, K_T, K_l, K_d, K_Q, K_{P^\mu}, K_{P_w}$  – коефіцієнти впливу, визначені за виразом  $\frac{\partial \xi}{\partial p} \frac{p}{\xi}$ , де  $p$  – відповідний згаданий вище параметр.

$$\left. \begin{aligned} K_\mu &= K_l = (1-q)^{-1}; & K_T &= 1; & K_d &= 4(1-q^{-1})^{-1}; & K_Q &= K_\mu - 2; \\ K_{P^\mu} &= 2(1+K_\mu[q_d-1]); & K_{P_w} &= K_\mu(2q_d[P^\mu P_w^{-1}+1]-1), \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

де  $q = \pi d^4 B (256 Q P_w l \mu)^{-1}$ ;  $q_l = (256 Q \mu l)^{-1}$ ;  $q_d = \pi d^4 P^\mu q_l$ .

**1.2. Приклад оцінювання похибки визначення коефіцієнта  $\xi$**

У табл. 1 наведено значення складових граничної похибки визначення коефіцієнта  $\xi$  під час дослідження капілярної трубки діаметром  $d=0,2$  мм та довжиною прохідного каналу  $l=110$  мм, через яку протікає азот за  $T=293,15$  °C і надлишкового тиску  $P^\mu=90$  кПа на вході капіляра. Значення виміряної при цьому об'ємної витрати  $Q$  через досліджуваний капіляр за абсолютного тиску  $P_w=100$  кПа на його виході становить 8,34 л/год.

Значення відносних похибок величин, які входять в (3), при виконанні експериментальних досліджень також наведено в табл. 1.

**Табл. 1. Коефіцієнти і значення складових граничної похибки визначення коефіцієнта кінцевих ефектів капіляра**

	$\mu$	$T$	$l$	$d$	$Q$	$P^\mu$	$P_w$
$\delta, \%$	1	0,03	0,02	1,0	0,2	0,16	0,2
$K$	-6,74	1,0	-6,74	30,96	-8,74	10,14	-3,4
$ K  \delta, \%$	6,74	0,03	0,13	30,96	1,75	1,62	0,68

Визначена таким чином за (4) гранична похибка становить  $\delta \xi^{\%} \approx 42 \%$ .

Отже, похибка коефіцієнта  $\xi$  є занадто великою і найбільший внесок у цю похибку спричинений похибкою визначення діаметра і його коефіцієнтом впливу. Тому нижче запропоновано методику визначення коефіцієнта  $\xi$  із залежності, яка не містить діаметра  $d$  прохідного каналу капіляра.

**2. Визначення коефіцієнта за двома точками витратної характеристики**

Одержати залежність для визначення коефіцієнта  $\xi$  можна з системи двох рівнянь (1), записаних відповідно для  $i$ -ї та  $j$ -ї експериментально отриманих точок. Така система має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} G_i &= A_i \left[ \sqrt{1+Z_i} - 1 \right]; \\ G_j &= A_j \left[ \sqrt{1+Z_j} - 1 \right], \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

де:  $G_i$  і  $G_j$ ,  $A_i$  і  $A_j$ ,  $Z_i$  і  $Z_j$  – відповідно масова витрата газу через капіляр, коефіцієнт витрати капіляра та комплекс розмірів прохідного каналу і параметрів газу для  $i$ -ї та  $j$ -ї експериментальних точок.

Із системи (6) отримуємо рівняння для визначення  $\xi$

$$\xi = 8\pi l \frac{G_j \mu_j T_j B_i - G_i \mu_i T_i B_j}{G_i^2 T_i B_j - G_j^2 T_j B_i} \quad (7)$$

Якщо залежно (7) перейти до об'ємних витрат, а також забезпечити в процесі виконання експерименту постійну температуру ( $T_i = T_j = T$ , а цим самим і в'язкість  $\mu_i = \mu_j = \mu$ ) газового потоку, а також постійний абсолютний тиск на виході капіляра  $P_{wi} = P_{wj} = P_w$ , то вона набуває вигляду

$$\xi = 8\pi l R_p \frac{\mu T (Q_j B_i - Q_i B_j)}{P_w (Q_i^2 B_j - Q_j^2 B_i)} \quad (8)$$

Надалі залежність (8) використовується для оцінювання граничної похибки визначення  $\xi$ .

### 2.1. Оцінювання граничної похибки коефіцієнта $\xi$

У цьому разі залежність для оцінювання граничної похибки  $\delta_{\xi}^{zp}$  визначення коефіцієнта  $\xi$  кінцевих ефектів має вигляд

$$\delta_{\xi}^{zp} = |K_{\mu}| \delta_{\mu} + |K_T| \delta_T + |K_l| \delta_l + |K_{Q_i}| \delta_{Q_i} + |K_{Q_j}| \delta_{Q_j} + |K_{P_i^u}| \delta_{P_i^u} + |K_{P_j^u}| \delta_{P_j^u} + |K_{P_w}| \delta_{P_w}, \quad (9)$$

де, крім відомих,  $\delta_{Q_i}$ ,  $\delta_{Q_j}$ ,  $\delta_{P_i^u}$ ,  $\delta_{P_j^u}$  – граничні відносні похибки відповідно об'ємних витрат і надлишкових тисків на вході капіляра для  $i$ -го і  $j$ -го вимірювань;  $K_{Q_i}$ ,  $K_{Q_j}$ ,  $K_{P_i^u}$ ,  $K_{P_j^u}$  – коефіцієнти впливу.

Залежності для визначення коефіцієнтів впливу

$$\left. \begin{aligned} K_{\mu} = K_T = K_l = 1; \quad K_{Q_i} = B_j Q_i q_{bi} q_1 q_2; \quad K_{Q_j} = B_i Q_j q_{bj} q_1 q_2; \\ K_{P_i^u} = B_j q_P P_i^u (P_i^u + P_w); \quad K_{P_j^u} = -B_i q_P P_j^u (P_j^u + P_w); \\ K_{P_w} = q_1 \left[ Q_i (P_j^u)^2 - Q_j (P_i^u)^2 \right] - 2q_2 P_w (Q_i^2 P_j^u - Q_j^2 P_i^u), \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

де  $q_1 = (Q_j B_i - Q_i B_j)^{-1}$ ;  $q_2 = (Q_i^2 B_j - Q_j^2 B_i)^{-1}$ ;  $q_{bi} = (Q_j^2 B_i - 2Q_j Q_i B_i + Q_i^2 B_j)$ ;  $q_{bj} = (Q_i^2 B_j - 2Q_i Q_j B_j + Q_j^2 B_i)$ ;  $q_3 = 2Q_i Q_j (Q_i - Q_j)$ ;  $q_P = q_1 q_2 q_3$ .

### 2.2. Приклад оцінювання похибки визначення коефіцієнта $\xi$ кінцевих ефектів

У табл. 2 наведено значення складових граничної похибки визначення коефіцієнта  $\xi$  при дослідженні того ж капіляра, на тому ж газі і за тих умов роботи, що і в прикладі 1.2. Коефіцієнт  $\xi$  визначений для пари заданих значень тиску  $P_i^u = 90$  кПа і  $P_j^u = 30$  кПа на вході капілярної трубки. Значення вимірювань при цьому об'ємних витрат через досліджуваний капіляр за абсолютного тиску

$P_w = 100$  кПа на його виході становить  $Q_i = 8,34$  л/год, а  $Q_j = 2,42$  л/год. Похибки і коефіцієнти обчислені відповідно за формулами (9) і (10).

Табл. 2. Коефіцієнти і значення складових граничної похибки визначення коефіцієнта  $\xi$

	$\mu$	$T$	$l$	$Q_i$	$Q_j$	$P_i$	$P_j$	$P_w$
$\delta$ , %	1	0,03	0,02	0,2	0,2	0,16	0,16	0,2
$K$	1,0	1,0	1,0	-12,86	11,86	14,92	-12,87	-3,05
$ K  \delta$ , %	1,0	0,03	0,02	2,57	2,37	2,39	2,06	0,61

Отже, визначена за двома точками витратної характеристики гранична похибка становить  $\delta_{\xi}^{zp} \approx 11$  %, тобто є істотно меншою, ніж з витратної характеристики (за однією точкою). Крім того, оскільки під час виконання експериментальних досліджень вимірювання надлишкового тиску на вході капіляра виконують одним і тим же вимірювальним засобом (манометром) як для  $P_i^u$  так і для  $P_j^u$ , то завдяки цьому існує часткова компенсація систематичної похибки  $\delta^c$ . Це стосується і вимірювання витрати через капіляр. Із врахуванням цього вираз для обчислення граничної похибки  $\delta_{\xi}^{zp}$  можна представити так:

$$\delta_{\xi}^{zp} = |K_{\mu}| \delta_{\mu} + |K_T| \delta_T + |K_l| \delta_l + K_1^Q \delta_{Q_i}^c + K_2^Q \delta_{Q_j}^c + K_1^{P_i^u} \delta_{P_i^u}^c + K_2^{P_j^u} \delta_{P_j^u}^c + |K_{P_w}| \delta_{P_w}, \quad (11)$$

де  $K_1^Q = |K_{Q_i} + K_{Q_j}|$ ;  $K_2^Q = |K_{Q_i}| + |K_{Q_j}|$ ;  $K_1^{P_i^u} = |K_{P_i^u} + K_{P_j^u}|$ ;  $K_2^{P_j^u} = |K_{P_i^u}| + |K_{P_j^u}|$ .

Оскільки коефіцієнти впливу  $K_{Q_i}$  і  $K_{Q_j}$  за похибок витрат і  $K_{P_i^u}$  і  $K_{P_j^u}$  за похибок тисків мають різні знаки, то запис коефіцієнтів  $K_1^Q$  і  $K_1^{P_i^u}$  як модуль їх алгебраїчної суми свідчить про компенсацію відповідних систематичних похибок. На основі виконаних досліджень прийняте співвідношення між випадковою  $\delta^e$  і систематичною  $\delta^c$  складовими відносних похибок  $\delta$  вимірювання витрат плівковим витратоміром і надлишкових тисків зразковим пружинним манометром як  $\delta^c = \delta/4$ , де  $\delta = \delta^c + \delta^e$ .

Значення граничної похибки з врахуванням часткової компенсації систематичних похибок при вимірюванні витрат і тисків, становить  $\delta_{\xi}^{zp} \approx 9$  %.

Як видно з отриманих результатів, застосування другої методики визначення коефіцієнта забезпечує у декілька разів меншу граничну похибку.

Оскільки  $\delta_{\xi}^{zp}$  є значно більшою від усіх похибок величин, які входять у витратну характеристику (див.табл. 1), то необхідно дослідити її вплив на визначення витрати за залежністю (1).

### Гранична похибка визначення витрати

За відомими похибками величин, які входять у математичну модель витратної характеристики капіляра (1), можна розрахувати граничну похибку  $\delta_Q^{zp}$  визначення витрати

$$\delta_Q^{zp} = |K_{\mu}| \delta_{\mu} + |K_T| \delta_T + |K_l| \delta_l + |K_d| \delta_d + |K_{\xi}| \delta_{\xi} + |K_{P_i^u}| \delta_{P_i^u} + |K_{P_w}| \delta_{P_w}. \quad (12)$$

Табл. 3 містить значення коефіцієнтів впливу відповідних величин, розрахованих за виразами, одержаними в Maple (в статті не наведені) і складові

граничної похибки  $\delta_{\mathcal{Q}}^{\mathcal{P}}$  визначення витрати  $Q$  для капіляра з тими ж розмірами прохідного каналу і за тих умов роботи як і для вищенаведених прикладів.

**Табл. 3. Коефіцієнти і значення складових граничної похибки визначення витрати  $Q$**

	$\mu$	$T$	$l$	$d$	$\xi$	$P_n$	$P_w$
$\delta, \%$	1	0,03	0,02	1,0	9	0,16	0,2
$K$	-0,77	0,11	-0,77	3,54	-0,11	1,16	-0,39
$ K  \delta, \%$	0,77	0,003	0,015	3,54	1,03	0,19	0,08

Визначена таким способом гранична похибка витрати газу, дозованого капіляром, становить  $\delta_{\mathcal{Q}}^{\mathcal{P}}=5,6 \%$ , а середньоквадратична похибка (величини, які входять в залежність (1) є не корельованими) не перевищує 4 %.

З аналізу табл. 3 випливає, що найбільшу частку в похибку визначення витрати вносять похибки визначення діаметра, в'язкості і коефіцієнта кінцевих ефектів. Аналіз також показує, що похибки цих параметрів можна зменшити, наприклад, якщо використовувати точніші дані [5] в'язкості газів. Це забезпечує одночасно зменшення похибки визначення діаметра [3], а також похибки визначення коефіцієнта  $\xi$  і в кінцевому результаті – похибку визначення витрати.

**Висновки.** Отримано залежності для визначення коефіцієнта кінцевих ефектів витратної характеристики на основі експериментального дослідження параметрів потоку газу в прохідному каналі капіляра. Показано, що вищу точність визначення коефіцієнта забезпечує залежність, з якої виключений діаметр прохідного каналу капіляра. Виконано оцінювання граничної похибки визначення коефіцієнта. Оцінено вплив похибки визначення коефіцієнта на похибку визначення дозованої капіляром витрати газу.

### Література

1. Теплюх З.М. Принципи побудови високоточних дросельних синтезаторів газових сумішей / З.М. Теплюх // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Автоматика, вимірювання та керування. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2006. – № 551. – С. 87-94.
2. Голубев И.Ф. Вязкость газовых смесей / И.Ф. Голубев, И.Е. Гнездилов. – М. : Изд-во Госкомстандартов, 1971. – 327 с.
3. Ділай І.В. Газодинамічний метод визначення діаметра капіляра / І.В. Ділай, З.М. Теплюх // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теплоенергетика. Інженерія докільля. Автоматизація. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2010. – № 677. – С. 128-134.
4. Обозовський С.С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальної техніки. (Загальні питання і теорія похибок) / С.С. Обозовський. – К. : НМК ВО, 1991. – 222 с.
5. Schley P. Viscosity Measurements and Predictions for Natural Gas International journal of Thermophysics / P. Schley, M. Jaeschke, C. Küchenmeister and E. Vogel. – 2008. – Vol. 25, No. 6, November 2004. – Pp. 1623-1652.

### **Ділай І.В. Исследование коэффициента концевых эффектов расходной характеристики капилляра**

Получены зависимости для определения коэффициента конечных эффектов расходной характеристики на основании экспериментального исследования параметров потока газа в проходном канале капилляра. Проанализированы погрешности составляющих зависимостей для определения коэффициента конечных эффектов и получены коэффициенты влияния этих составляющих. Оценена граничная погрешность опреде-

ления коэффициента конечных эффектов. Установлено, что высшую точность обеспечивает зависимость, в которую не входит диаметр проходного канала капилляра. Оценено влияние погрешности определения коэффициента на погрешность определения дозированного капилляром расхода газа.

**Ключевые слова:** капилляр, коэффициент концевых эффектов, расход газа.

### **Dilay I.V. The coefficient of end effects of capillary flow characteristics investigation**

The dependences for coefficient of end effects of capillary flow characteristics determination based on parameters gas flow experimental research in throttle pass channel are obtained. The constituent dependences errors for coefficient of end effects determination are analyzed and coefficients of constituents influence are obtained. The valuation of limiting error for coefficient of end effects determination is fulfilled. Determined, that higher accuracy ensures dependence, which not include throttle pass channel diameter. The coefficient error influence on error of gas flow dosed by capillary determination is evaluated.

**Keywords:** the capillary, coefficient of end effects, gas flow.

УДК 658.1+536.5

Доц. В.О. Фединець, д-р техн. наук;  
студ. О.В. Фединець – НУ "Львівська політехніка"

### **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ**

Проведено аналіз традиційних та нових методів вимірювання температури газових потоків. Наведено їх переваги і недоліки та можливість застосування залежно від технологічних особливостей об'єкта дослідження. Техніко-економічне порівняння методів вимірювання дало змогу вибрати оптимальний метод як за технічними, так і за економічними показниками.

**Ключові слова:** температура, газовий потік, дослідження, термометрворювач, техніко-економічне порівняння.

**Вступ.** Точність вимірювання температури газових потоків залежить від вибраного методу вимірювання, від метрологічних характеристик засобів вимірювання, від умов і місця вимірювання, способу встановлення первинного термометрворювача (ТП) та багатьох інших факторів. Вибір методу вимірювання для цього конкретного об'єкта й умов його експлуатації становить складну проблему, оскільки необхідно знайти оптимальний розв'язок, враховуючи велику кількість чинників, які часто можуть бути суперечливими.

Ми провели аналіз методів вимірювання температури газових потоків та їх техніко-економічне порівняння з метою використання для неперервного вимірювання температури газових потоків.

**Аналіз методів вимірювання.** Сьогодні найбільше поширення отримали електричні контактні методи вимірювання температури газових потоків за допомогою термометрворювачів опору і термоелектричних перетворювачів [1]. У вітчизняній і зарубіжній літературі в останні роки з'явилися роботи, в яких досліджено і розроблено нові методи вимірювання температури газових потоків.

Розроблено акустичні ТП, принцип дії яких побудовано на вимірюванні швидкості поширення акустичних хвиль у газі. Швидкість звуку в газовому потоці залежить від його стискуваності і при відомому хімічному складі є пропор-