УДК 697.329

О. В. Приймак, *канд. техн. наук, доцент*
Луцький державний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ І ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОМАСООБМІННИКІВ ЗМІШУВАЛЬНОГО ТИПУ (ТМЗД)

Гідравлічні дослідження

У Київському національному університеті будівництва і архітектури були запропоновані контактні пароводяні теплообмінники, що базуються на взаємодії пристінного відцентрованого струменя води з радіальним диспергованими струменями пари [1]. Проведені постановчі дослідження при внутрішньому діаметрі корпуса $d = 32$ мм та діапазоні тисків пари 9÷40 кПа, води – 18÷50 кПа; температурі води 1,4÷15 °С, принципово підтвердили можливість досягнення в апаратах такого типу коефіцієнтів тепловіддачі від пари до води до $(70÷100)\cdot10^4$ Вт/(м^2·К). Проте недостатній обсяг і діапазон досліджень не дав можливості отримати узагальнюючі залежності для визначення гідродинамічних і теплотехнічних характеристик таких теплообмінників та перевірити їх працездатність при інших теплоносіях, наприклад в системі вода – вода. Для виконання комплексу досліджень було розроблено і змонтовано експериментальний стенд, наведений на рис. 1.

Дослідження виконані в діапазоні тисків води, що гріється, – 10÷300 кПа, пари та води, що гріє, – 8÷200 кПа; швидкостях води на виході з сопла – 2÷30 м/с; температури холодної води – 5÷70 °С; діаметрах корпусів – 32÷150 мм; діаметрів перфорованого насадку – 20÷100 мм; діаметрів перфораційних отворів – 2÷3 мм.

В даному повідомленні наведені результати обробки експериментальних даних по гідравлічному опору ТМЗД.

Результати теплотехнічних досліджень будуть наведені в наступному повідомленні.

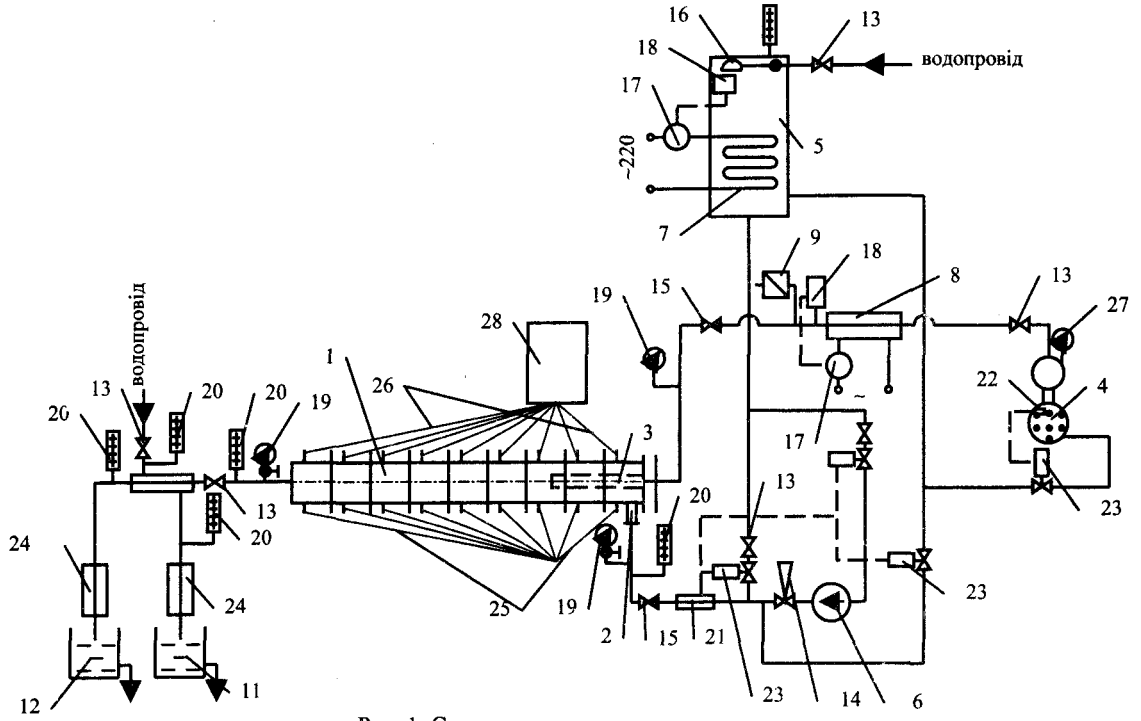

Рис. 1. Схема експериментального стенду:

1. Дослідний теплообмінник. 2. Патрубок тангенційного підводу води. 3. Насадок для диспергованої пари. 4. Електричний паровий котел. 5. Бак підготовки водопровідної води. 6. Насос подачі підготовленої води у дослідний теплообмінник. 7. Електричний нагрівач для попередньої підготовки води. 8. Теплообмінник для випаровування крапельної вологи з пари. 9. Прилад для визначення ступеню сухості пари. 10. Теплообмінник для охолодження скидної води. 11. Мірний бак для охолоджуючої води. 12. Мірний бак для охолоджуваної води. 13. Шарові крани. 14. Регулятор тиску води, що подається на теплообмінник. 15. Зворотні клапани. 16. Шаровий клапан з поплавцем. 17. Теріторні перетворювачі напруги. 18. Датчик температури. 19. Манометри. 20. Термометри. 21. Датчик витрат води. 22. Датчик рівня води у котлі. 23. Регульовані клапани. 24. Водоміри. 25. Термопари. 26. Датчики тиску. 27. Електроконтактний манометр. 28. Диференційний манометр.

Гідравлічна схема ТМЗД наведена на рис. 2.

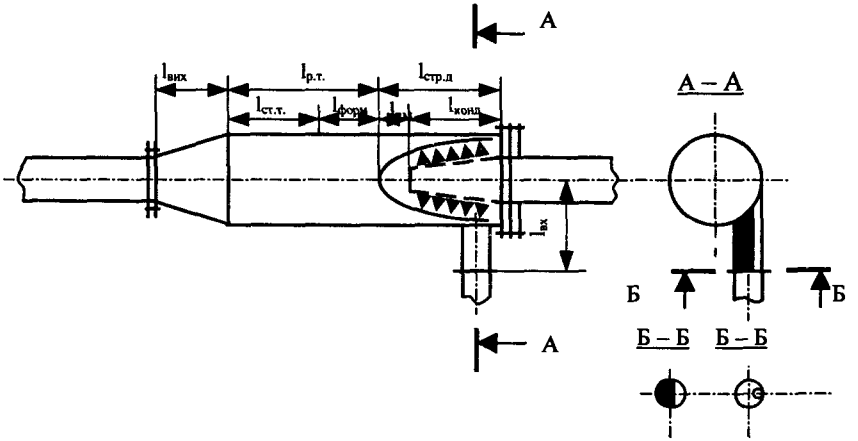

Рис. 2. Гідравлічна схема ТМЗД

Гідравлічний опір ТМЗД складається з таких величин:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{вх}} + \Delta P_{\text{стр.д}} + \Delta P_{\text{р.т}} + \Delta P_{\text{вих}},$$

де $\Delta P_{\text{вх}}$ – гідравлічний опір на вході у тепломасообмінник; $\Delta P_{\text{стр.д}}$ – гідравлічний опір дільниці відцентрованої струменевої течії води; $\Delta P_{\text{р.т}}$ – гідравлічний опір дільниці розвиненої течії води у тепломасообміннику; $\Delta P_{\text{вих}}$ – гідравлічний опір виходу з тепломасообмінника.

$$\Delta P_{\text{вх}} = a\left(\frac{d_1}{d_{\text{вх}}}\right)^n \overline{w}_{\text{вх}}^2,$$

де a – коефіцієнт, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$; d_1 – внутрішній діаметр трубопроводу, що підводить воду, м; $d_{\text{вх}}$ – гідравлічний діаметр вхідного отвору (сопла), м; $\overline{w}_{\text{вх}}$ – середня швидкість води у вхідному отворі, м/с.

Значення коефіцієнта a та показника ступеню n при різних конструкціях вхідного патрубка наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Найменування величини \ Конструкція вхідного патрубка	1	2	3
Коефіцієнт a, Н·с^2/м^4	131,6	142,0	156,0
Показник ступеню n	1,05	0,33	0,25

$$\Delta P_{\text{вих}} = b\left(\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{вих}}}\right)^m w_{\text{вих}}^2,$$

де b – коефіцієнт, Н·с^2/м^4; $d_{\text{к}}$ – внутрішній діаметр корпусу ТМЗД, м; $d_{\text{вих}}$ –діаметр вихідного патрубка, м; $w_{\text{вих}}$ – швидкість води у вихідному отворі, м/с.

Значення коефіцієнта b та показника ступеню m при різних кутах конфузора на виході з ТМЗД наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Найменування величини \ Кут конфузора α, °	≤ 7,5	≤ 15	≤ 30
Коефіцієнт b, Н·с^2/м^4	158,0	162,0	185,0
Показник ступеню m	0,10	0,15	0,25

$\Delta P_{\text{р.т}}$, згідно з [2] становить

$$\Delta P_{\text{р.т}} = \frac{4 \cdot 0{,}0395 \cdot \rho \cdot \overline{w}_{\text{р.т}}^2}{\text{Re}^{0{,}25}} \cdot l_{\text{р.т}},$$

де ρ – густина води, кг/м^3; $\overline{w}_{\text{р.т}}$ – середня швидкість води на ділянці розвиненої течії, м/с; $l_{\text{р.т}}$ – довжина ділянки розвиненої течії, м; $\text{Re} = \frac{\overline{w}_{\text{р.т}} d_{\text{к}}}{\nu}$ – число Рейнольдса; $d_{\text{к}}$ – діаметр корпуса, м; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м^2/с.

$$\Delta P_{\text{стр.д}} = a_1 c_f \rho \frac{\overline{w}^2}{2} f_{\text{к}},$$

де c_f – коефіцієнт повного тертя струмини з поверхнею. Згідно з [3]

$$c_f = 0{,}427\left(\lg \mathrm{Re}_{\text{вх}} - 0{,}407\right)^{-2{,}64};$$

$\overline{w}$ – середня швидкість струмини, м/с

$$\overline{w} = \frac{\overline{w}_{\text{вх}} + \overline{w}_{\text{р.т}}}{2};$$

$f_{\text{к}}$ – поверхня контакту струмини з внутрішньою поверхнею корпуса, м^2

$$f_{\text{к}} = \pi d_{\text{к}} l_{\text{стр.д}};$$

$l_{\text{стр.д}}$ – довжина ділянки струменевої течії; a_1 – коефіцієнт, який враховує додатковий опір на поверхні контакту струмини з гріючим диспергованим теплоносієм

$$a_1 = 1 + \frac{1}{\left(P_{\text{вх}} - P_{\text{гр}}\right)^{0{,}1} \cdot \overline{w}_{\text{вх}}^{0{,}5}} \cdot \left(\frac{m_{\text{гр}}}{m_{\text{в}}}\right)^{0{,}2};$$

$P_{\text{вх}}$ – тиск води на вході, Па; $P_{\text{гр}}$ – тиск гріючого енергоносія на поверхні контакту зі струминою, Па; $m_{\text{гр}}$, $m_{\text{в}}$ – маса гріючого енергоносія та води відповідно, кг.

Згідно з даними [4] кут розкриття струменю α = arctg 0,149 = 8,5°.

Звідси довжина струменю

$$l_{\text{стр}} = \frac{\frac{d_{\text{к}}}{2} - d_{\text{вх}}}{tg\alpha} = \frac{\frac{d_{\text{к}}}{2} - d_{\text{вх}}}{0{,}149}, \quad м.$$

Але з іншого боку

$$l_{\text{стр}} = \pi d_{\text{к}} n,$$

де n – кількість витків струменю.

Тоді довжина струменевої ділянки визначиться за залежністю:

$$l_{\text{стр.д}} = n\overline{d}_{\text{стр}} = n \cdot \frac{\frac{d_{\text{к}}}{2} + d_{\text{вх}}}{2} = \frac{l_{\text{стр}}}{\pi d_{\text{к}}} \cdot \frac{\frac{d_{\text{к}}}{2} + d_{\text{вх}}}{2} =$$

$$= \frac{\frac{d_{\text{к}}}{2} - d_{\text{вх}}}{0{,}149\pi d_{\text{к}}} \cdot \frac{\frac{d_{\text{к}}}{2} + d_{\text{вх}}}{2} = \frac{\frac{d_{\text{к}}^2}{4} - d_{\text{вх}}^2}{0{,}298\pi d_{\text{к}}}, \quad м.$$

Використана література

1. *Малкін Е. С., Солодка Н. В.* Раціональне теплопостачання промислових підприємств. – К.: "Вісник інженерної академії України". – 1999. № 1. – С. 15–20.

2. *Михеев М. А., Михеева И. М.* Основы теплопередачи. – М.: Энергия. – 1973. – 319 с.

3. *Повх И. Л.* Техническая гидромеханика. – М.–Л.: Машиностроение. – 1964. – 55 с.

4. *Бахарев В. А.* К теории и расчету свободных турбулентных струй. – Л.: Сборник трудов ВНИИ охраны труда в г. Ленинграде. – 1965. – С. 12–26.