

Ю. А. Селіхов, к.техн.н., професор, А. М. Миронов, к.техн.н., доцент,
К. О. Горбунов, к.техн.н., професор, В. Г. Рись, аспірант

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ УМОВ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: експериментальний стенд для дослідження локальних умов нестационарного теплообміну, високотемпературна поверхня, розпилена рідина, метод ідентифікації умов теплообміну, сопло щільної форсунки, змінний набір сопел, кріплення блоку, спеціальний координатний пристрій, регулювальний вентиль, перегріта рідина, випарне охолодження, пароводяне середовище.

Постановка задачі

Сконструйовану схему експериментальної установки для комплексного дослідження теплообміну при охолодженні високотемпературної поверхні диспергованою рідиною показано на рис. 1.

Для дослідження охолодження поверхонь водою та водоповітряною сумішшю використовується універсальний блок 18, у нижньому фланці якого можна встановлювати як спеціальні сопла для прискорення та диспергування рідини при водоповітряному охолодженні, так і щільні форсунки [1–3]. Для водоповітряного розпилю з резервуару 8 вода надходить до живильника 10 і диспергується далі через сопловий апарат 11, за рахунок розширення стисненого повітря. Через сполучну магістраль 7 забезпечується вирівнювання тиску повітря перед соплом 11 над рівнем води в резервуарі 8. Це дозволяє змінювати витрату води шляхом переміщення резервуара 8 вздовж вертикальної траверси. Для дослідження впливу кута натікання диспергової рідини на поверхню, що охолоджується, блок 18 може повертатися навколо осі за допомогою цапфового пристрою 19. При цьому кут натікання δ_c можна буде міняти від 0 до 90 градусів. Відмінною особливістю конструкції кріплення блоку 18 буде те, що при зміні в зазначених межах величини δ_c буде можливим зберігати незмінною відстань від вихідного перерізу сопла розпилювача до робочої поверхні термозонда вздовж осі руху охолоджуючого середовища [4]. При вивченні охолодження поверхні перегрітої рідиною буде використовуватися блок 5, з електронагрівачем 2, керованим автотрансформатором 6, регулювальним вентилем 4 і змінним набором сопел, які будуть монтуватися до патрубку 3. Для дослідження впливу температури рідини на умови теплообміну в резервуарі 8 є електронагрівач 9, за допомогою якого температура води перед соплом може бути доведена до 95 °С. Регулювання ступеня нагрівання води здійснюватиметься автотрансформатором 6.

Для подачі та диспергування рідини за допомогою щільних (спрейєрних) форсунок установка буде забезпечена насосом 13, що подає воду з резервуара 14 до блоку 18. Блоки 5, 8 і 18 розташовані на спеціальному координатному пристрої 1, що має три ступені свободи, що дозволить вводити у взаємодію з термозондом 15 охолоджувальне середовище з різними температурними та дисперсно-кінематичними характеристиками.

На рис. 1 показана плита 16, у площині якої закріплений термозонд 15, а також шторковий пристрій 17, що дозволяє в необхідний момент часу розпочати процес зрошення робочої поверхні термозонда.

Крім охолодження поверхні диспергованою водою, водоповітряним середовищем і перегрітою рідиною в ряді технологічних процесів металургійного виробництва набуло поширення пароводяного середовища [5–6]. При цьому замість стиснутого повітря для розпилювання рідини використовується пара, що генерується в системі випарного охолодження домен, що в ряді випадків виявляється економічно вигіднішим.

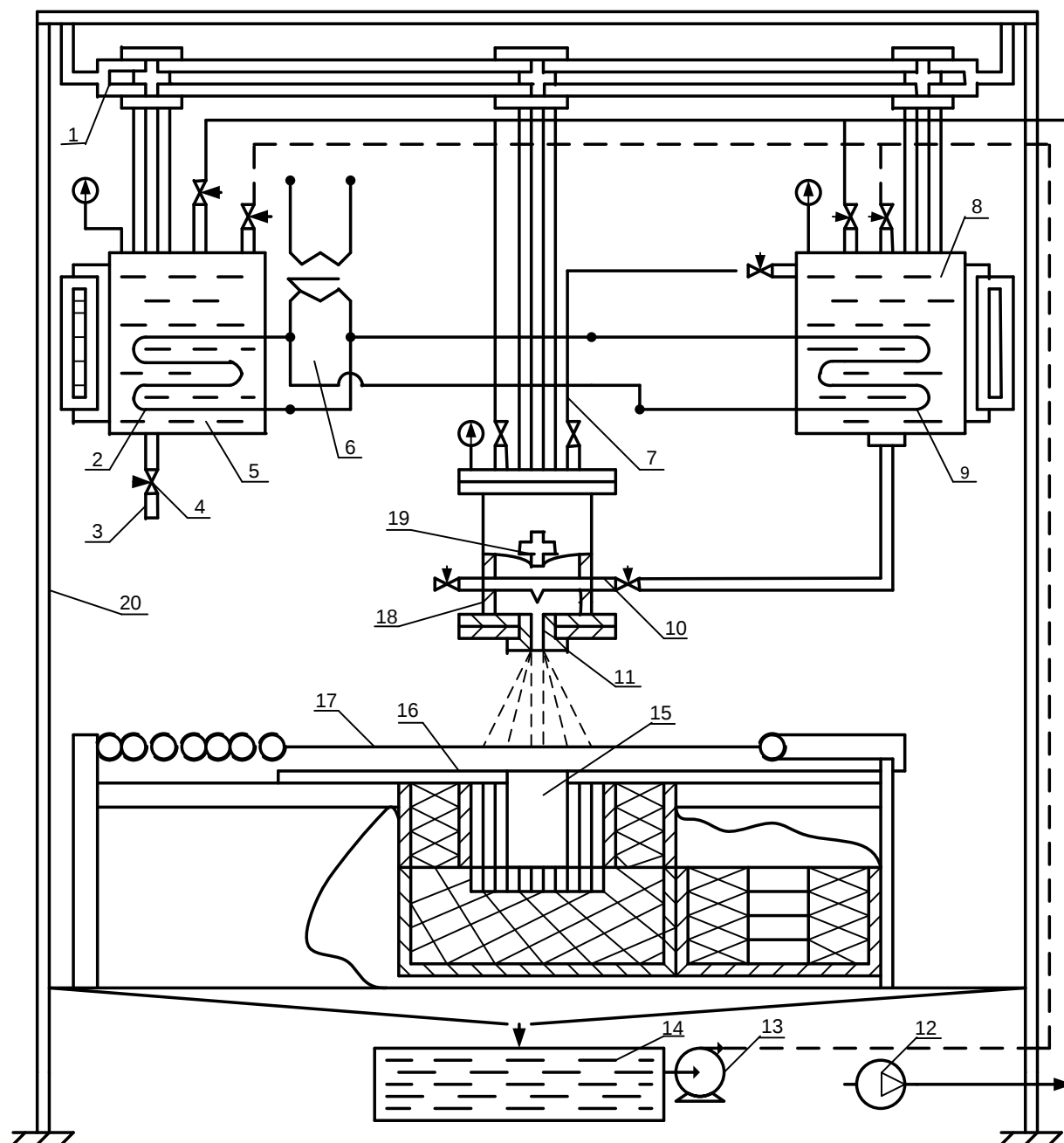


Рисунок 1 – Схема експериментального стенду на дослідження умов теплообміну при взаємодії розпиленої рідини з нагрітою поверхнею

Мета статті. Розробка експериментального стенду для дослідження локальних умов нестационарного теплообміну. Для цього треба сконструювати експериментальний стенд, на якому будуть виконуватись дослідження впливу щільності зрошення, температури поверхні, ступеня недогріву рідини, її швидкості та кута натікання на поверхню. Треба розробити схему вимірювання електрорушійної сили (ЕРС) термоприймачів, встановлених у тілі стрижня термозонда 15, а також підібрати швидкодіюче цифрове записуюче обладнання. На рис. 1 представлена схема експериментального стенду.

Для здійснення наміченої нами програми дослідження, крім розробки методики ідентифікації граничних умов теплообміну, виявилось необхідним вирішити низку спеціальних завдань, пов'язаних із визначенням режимних параметрів середовища. До таких належать локальна щільність зрошення g та швидкість диспергованого середовища біля поверхні термозонда W_c .

При дослідженні теплообміну поверхні з розпиленою рідиною, коли щільність зрошення g становить більше $15 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ особливих ускладнень у вимірі цієї величини ми не виявили. У цьому випадку з достатнім ступенем точності визначення g повинні бути використані батарейні відбірники проб із циліндричними приймальними патрубками. Разом з тим, перші досліди, що з визначенням локальних щільностей зрошення у водоповітряному потоці при швидкості повітря близько 30 м/с і вище, і середньому розмірі крапель від 20 до 200 мкм можуть виявити серйозні труднощі у вимірі локальних питомих витрат. Незалежно від діаметра добірної трубки при всіх режимах натікання забезпечити ізокінетичний відбір проб (коли швидкість середовища на підході до відбірника дорівнює швидкості всередині прямого патрубка) не уявлялося можливим. У такій ситуації зазвичай застосовують штучне відсмоктування проби за допомогою вакуумних насосів і ежекторів.

Однак при цьому виникає проблема сепарації крапель після прийомного патрубка відбірника для вимірювання кількості відібраної рідини. При дуже малому витраті рідини, що відбирається як проба, і зазначених розмірах крапель, організація надійної сепарації (за допомогою відповідних циклонних пристроїв або пластинчастих сепараторів) представляє, як відомо, досить складне самостійне завдання.

Тому для надійного визначення локальної протності зрошення, а також визначення дисперсного складу крапель повинен бути використаний лічильно-імпульсний метод [7, 8], який одержав можливість практичної реалізації у нас в країні завдяки роботам [9–10].

Методика визначення локальної щільності зрошення за допомогою лічильно-імпульсного методу вперше була запропонована в роботах [5–10].

Якщо в дисперсний потік електропровідних крапель внести два співвісні електроди, на які подана різниця потенціалів, то при контакті краплі з кінцями електродів у ланцюзі виникає імпульс струму, а на опорі R – імпульс напруги, який посилюється та реєструється електронним лічильником. Послідовно змінюючи відстань між електродами S , можна отримати експериментальну залежність $h(S)$ частоти замикання краплями кінців електродів, що віддаляються один щодо одного на відстані S . Як випливає з [11] та [12] залежність $h(S)$ є достатньою для визначення як функції розподілу числа крапель за розмірами $\varphi_0(D)$, так і величини локальної витрати або

локальної щільності зрошення g .

Так, авторами роботи [13] було встановлено, що за будь-яких способів диспергування рідини та за будь-яких фізичних причин руйнування крапель залежність $h(S)$ добре апроксимується експоненційною залежністю

$$h(S) = B \cdot \exp(-\alpha \cdot S), \quad (1)$$

де B і α – параметри експоненційної залежності, що визначаються з графіка функції $h(S)$, побудованої у напівлогарифмічних координатах. При цьому $B = h(0)$, а

$$\alpha = [\ln h(S_1) - \ln h(S_2)] \cdot (S_2 - S_1)^{-1}. \quad (2)$$

Після відповідного аналізу у роботі [6] було встановлено, що локальна щільність зрошення може бути знайдена як

$$g = \beta (2 \cdot \alpha)^{-1} \cdot \pi \cdot B. \quad (3)$$

Значення коефіцієнта β залежить тільки від електропровідності розпорошеної води, параметрів вторинної вимірювальної апаратури та визначається експериментально. Для цього в нерухомому повітрі шляхом розпорошення досліджуваної рідини створюється потік крапель, що рухаються вертикально вниз. Спеціальною діафрагмою виділяється вузький крапельний пучок і потім, у його поперечному перерізі, за допомогою лічильно-імпульсного методу визначається поле локальних значень об'ємної витрати зареєстрованих крапель рідини g' , обчислюваного як

$$g' = (2 \cdot \alpha)^{-1} \cdot \pi \cdot B. \quad (4)$$

Значення загальної об'ємної витрати зареєстрованих крапель V' визначається шляхом інтегрування по всьому виділеному діафрагмою перерізу F , як

$$V' = \iint_F g'(F) \cdot dF. \quad (5)$$

Дійсна витрата V у виділеному пучку вимірюється шляхом сепарації крапель та збору рідини у мірну ємність. В результаті шуканий коефіцієнт β знаходимо як

$$\beta = V/V'. \quad (6)$$

Оскільки за даними [6] значення коефіцієнта β не залежить від дисперсного складу та швидкості крапель, то для експериментального його визначення був використаний грубодисперсний краплинний потік із середньою швидкістю в зоні вимірювання не вище 10 м/с. Це дозволило з достатнім ступенем точності визначити

дійсну об'ємну витрату V , а отже і величину β з рівняння 6, Так, наприклад, при різниці потенціалів на електродах зонда $U = 9$ В, чутливості підсилювача $\Delta U = 25$ мВ та електропровідності рідини $\chi = 1,83 \cdot 10^{-3}$ ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$ величина коефіцієнта $\beta = 1,52$.

На рис. 2 представлена схема вимірювання ЕРС термоприймачів, встановлених у тілі стрижня термозонда 1. Структура схеми вторинної електронної апаратури визначалася особливостями дослідження нестационарного теплообміну.

Електричний сигнал від хромель-алюмелевих термоприймачів надходитиме або на ручний перемикач 2 (цей режим можливий коли протягом усього експерименту необхідно реєструвати показання одного з термоприймачів), або через перехідний блок 8 на електронний перемикач 6, який буде виготовлений спеціально відповідно до параметрів інших блоків схеми. Електронний перемикач дозволить по чергово виводити інформацію від трьох термоприймачів на вхід універсального цифрового вольтметра 3 і далі - до швидкодіючого цифрового пристрою 4, що має вихід до ЕОМ 5.

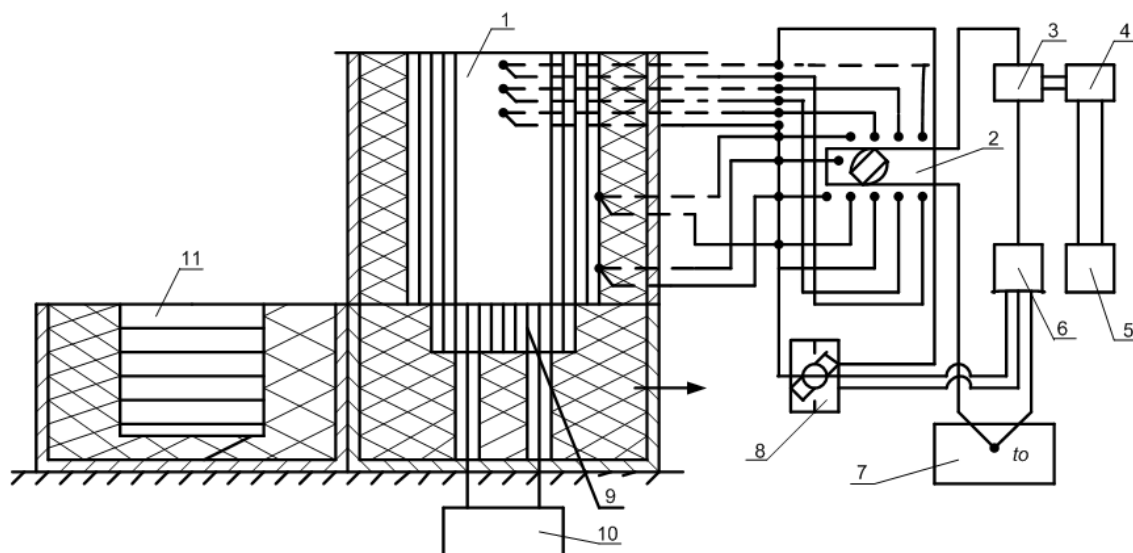


Рисунок 2 – Схема вимірювання ЕРС термоприймачів

Схема повинна включати термостат 7 з льодом, що тане, приготованим з дистильованої води, для забезпечення нульового рівня температури холодного спаю термоприймачів. Електронний перемикач дозволить передавати на роз'єм «вихід на друк» числові значення вимірюваної величини, код знака перемикачання, код межі та роду вимірювання, код навантаження приладу, а також імпульс «строб» для синхронізації роботи приладу із зовнішнім пристроєм друку [14, 15]. При цьому інтервал часу «опитування» термоприймачів повинен становити не менше 0,08 секунди, а максимальна швидкість друку, що вводиться в пристрій інформації, не менше 30 рядків на секунду. На схемі показаний також автотрансформатор 10, електронагрівач 9 робочого блоку термозонда 1 [16].

При діаметрі стрижня тепломіра 30 мм, коефіцієнт теплопровідності міді порядку 360 Вт/(мК) та інтенсивності теплообміну на бічній, ізольованій його поверхні, що не перевищує 10 Вт/(м 2 ·с), критерій Ві складає менше 10 $^{-3}$.

Висновки. Сконструйований експериментальний стенд для дослідження локальних умов нестационарного теплообміну високотемпературної поверхні з розпиленою рідиною: із форсунок різних модифікацій (спрейерних у тому числі); водоповітряне; пароповітряне; пароводяне; перегрітої; води із різними концентраціями поверхнево-активних речовин. На експериментальному стенді будуть виконуватись дослідження впливу щільності зрошення, температури поверхні, ступеня недогріву рідини, її швидкості та кута натікання на поверхню. Була розроблена схема вимірювання електрорушійної сили (ЕРС) термоприймачів, встановлених у тілі стрижня термозонда 15, а також підібрано швидкодіюче цифрове записуюче обладнання.

Література

1. Исаченко В.П., Кушнырев В.И. Струйное охлаждение. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 216 с.
2. Братута Э.Г. Определение плотностей орошения при охлаждении в спрейерах. – Сталь, 1983, № 7, С. 85–87.
3. Селихов Ю.А., Братута Э.Г., Ивановский А.Ю. Стенд для исследования пароводяного охлаждения высокотемпературных поверхностей. – В кн.: Энергетическое машиностроение, вып. 37, – Респ. межвед. науч.-техн. Сборник. – Харьков: Вища школа, Харьков, 1982, С. 77–79.
4. Диннер А. Обзор литературы по теплопередаче при струйном охлаждении. М.: Черные металлы, 1976, №4, С. 26–29.
5. Братута Э.Г., Переселков А.Р. Счетно-импульсный метод исследования распределения капель по размерам в дисперсных потоках. – В кн.: Энергетическое машиностроение, вып. 16, – Респ. межвед. науч.-техн. Сборник. – Харьков: Вища школа, изд-во при Харьк. ун-те, 1973, С. 72–78.
6. А.С. 466431 (СССР). Устройство для измерения размеров капель / Э.Г. Братута, А.Р. Переселков. – Оpubл. В Б.И., 1975, № 13.
7. Братута Э.Г., Переселков А.Р. Сравнение результатов измерения дисперсного состава капель с помощью счетно-импульсного и инерционного методов. – В кн.: Энергетическое машиностроение, вып. 22, – Респ. межвед. науч.-техн. Сборник. – Харьков: Вища школа, изд-во при Харьк. ун-те, 1976, С. 55–62.
8. Братута Э.Г., Переселков А.Р. Определение локальных расходов дисперсной среды в газожидкостном потоке с помощью счетно-импульсного метода. – Теплоэнергетика, 1975, № 5, С. 32–34.
9. Леончик Б.И., Маякин В.П. Измерения в дисперсных потоках. – М.: Энергия, 1971. – 248 с.
10. Ертанова О.Н., Лепешинский И.А. Решетников В.А. Голографический анализ дисперсной фазы двухфазного потока. – Теплофизика высоких температур, 1979, т. 17, № 4, С. 819–821.
11. Левин А.Л., Старченко Г.Е. Определение скорости, размера и функции распределения частиц по диаметрам в двухфазной струе.. – Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа, 1975, № 6, С. 51–58.
12. Ринкевичус Б.С. Лазерная анемометрия. – М.: Энергия, 1978. – 159 с.
13. Аладьев И.Т., Гинзбург Б.М., Гаврилов Н.Д. и др. Исследование возможности применения голографии к изучению двухфазных течений. – Теплоэнергетика, 1973, № 8, С. 66–68.

14. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1952. – 599 с.
15. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1976, т. 2. – 896 с.
16. Селихов Ю.А., Братута Э.Г., Кравцов С.Ф. и др. Метод определения локальных условий теплообмена при спрейерном охлаждении. – Сталь, 1985, №4, С. 89–91.

Bibliography (transliterated)

1. Isachenko V.P., Kushnyrev V.I. Struynoe ohlazhdenie. – M.: Energoatomizdat, 1984. – 216 p.
2. Bratuta E.G. Opredelenie plotnostey orosheniya pri ohlazhdenii v spreyerah. – Stal, 1983, # 7, P. 85–87.
3. Selihov Yu.A., Bratuta E.G., Ivanovskiy A.Yu. Stend dlya issledovaniya parovodyanogo ohlazhdeniya vyisokotemperaturnykh poverkhnostey. – V kn.: Energeticheskoe mashinostroenie, vyip. 37, – Resp. mezhved. nauch.-tehn. Sbornik. – Harkov: Vischa shkola, Harkov, 1982, P. 77–79.
4. Dinner A. Obzor literatury po teploperedache pri struynom ohlazhdenii. M.: Chernyie metally, 1976, #4, P. 26–29.
5. Bratuta E.G., Pereselkov A.R. Schetno-impulsnyiy metod issledovaniya raspredeleniya kapel po razmeram v dispersnykh potokakh. – V kn.: Energeticheskoe mashinostroenie, vyip. 16, – Resp. mezhved. nauch.-tehn. Sbornik. – Harkov: Vischa shkola, izd-vo pri Hark. un-te, 1973, P. 72–78.
6. A.S. 466431 (SSSR). Ustroystvo dlya izmereniya razmerov kapel / E.G. Bratuta, A.R. Pereselkov. – Opubl. V B.I., 1975, # 13.
7. Bratuta E.G., Pereselkov A.R. Sravnenie rezultatov izmereniya dispersnogo sostava kapel s pomoschyu schetno-impulsnogo i inertsionnogo metodov. – V kn.: Energeticheskoe mashinostroenie, vyip. 22, – Resp. mezhved. nauch.-tehn. Sbornik. – Harkov: Vischa shkola, izd-vo pri Hark. un-te, 1976, P. 55–62.
8. Bratuta E.G., Pereselkov A.R. Opredelenie lokalnykh rashodov dispersnoy sredy v gazozhidkostnom potoke s pomoschyu schetno-impulsnogo metoda. – Teploenergetika, 1975, # 5, P. 32–34.
9. Leonchik B.I., Mayakin V.P. Izmereniya v dispersnykh potokakh. – M.: Energiya, 1971. – 248 p.
10. Ertanova O.N., Lepeshinskiy I.A. Reshetnikov V.A. Golograficheskiy analiz dispersnoy fazyi dvuhfaznogo potoka. – Teplofizika vyisokikh temperatur, 1979, t. 17, # 4, P. 819–821.
11. Levin A.L., Starchenko G.E. Opredelenie skorosti, razmera i funktsii raspredeleniya chastits po diametram v dvuhfaznoy strue.. – Izv. AN SSSR. Mehanika zhidkosti i gaza, 1975, # 6, P. 51–58.
12. Rinkevichus B.S. Lazernaya anemometriya. – M.: Energiya, 1978. – 159 p.
13. Aladev I.T., Ginzburg B.M., Gavrilov N.D. i dr. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya golografii k izucheniyu dvuhfaznykh techeniy. – Teploenergetika, 1973, # 8, P. 66–68.
14. Lyikov A.V. Teoriya teploprovodnosti. – M.-L.: GITTL, 1952. – 599 p.
15. Teplotekhnicheskii spravochnik / Pod red. V.N. Yureneva i P.D. Lebedeva. – M.: Energiya, 1976, t. 2. – 896 p.

16. Selihov Yu.A., Bratuta E.G., Kravtsov S.F. i dr. Metod opredeleniya lokalnyih usloviy teploobmena pri sprejernom ohlazhdenii. – Stal, 1985, #4, P. 89–91.

УДК 621.016

Ю. А. Селіхов, к.техн.н., професор, А. М. Миронов, к.техн.н., доцент,
К. О. Горбунов, к.техн.н., професор, В. Г. Рись, аспірант

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ УМОВ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Сконструйований експериментальний стенд для дослідження локальних умов нестационарного теплообміну при охолодженні високотемпературної поверхні рідиною, що розпилюється: з форсунок різних модифікацій (спрейєрних у тому числі); водоповітряне; пароповітряне; пароводяне; перегрітою рідиною; води із різними концентраціями поверхнево-активних речовин.

Аналіз наукових джерел визначив методику досліджень, яка дозволить виконувати дослідження впливу щільності зрошення, температури поверхні, ступеня недогріву рідини, її швидкості та кута натікання на поверхню з урахуванням можливості реалізації зміни визначальних факторів у діапазоні відповідних їх реальних значень у натурних об'єктах енергетики та металургії та завдання вибору методу ідентифікації граничних умов теплообміну.

Дослідження інтенсивності теплообміну функції недогріву розпиленої рідини – води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин при різних локальних щільностях зрошення і температурах поверхні в наукових публікаціях ми не зустріли. Тому ці дослідження, а також розробка ефективних систем охолодження або визначення теплового стану об'єктів за різних зовнішніх впливів для нас є головними.

Для здійснення наміченої нами програми дослідження, крім розробки методики ідентифікації граничних умов теплообміну, виявилось необхідним вирішити низку спеціальних завдань, пов'язаних із визначенням режимних параметрів середовища. До таких належать локальна щільність зрошення і швидкість диспергованого середовища біля поверхні термозонда.

Для надійного визначення локальної щільності зрошення, а також визначення дисперсного складу крапель повинен бути використаний лічильно-імпульсний метод, який одержав можливість практичної реалізації в нашій країні.

Для визначення локальних умов нестационарного теплообміну нами розроблено схему вимірювання ЕРС термоприймачів, встановлених у тілі стрижня термозонда, а також підібрати швидкодіюче цифрове записувальне обладнання.

Вирішення зворотного завдання теплопровідності дозволить встановити ступінь впливу практично всіх факторів, зазначених як визначальні.

Ключові слова: експериментальний стенд для дослідження локальних умов нестационарного теплообміну, високотемпературна поверхня, розпилена рідина, метод

ідентифікації умов теплообміну, сопло щілинної форсунки, змінний набір сопел, кріплення блоку, спеціальний координатний пристрій, регулювальний вентиль, перегріта рідина, випарне охолодження, пароводяна середа.

Yu. A. Selikhov, A. M. Mironov, K. O. Gorbunov, V. G. Ris

EXPERIMENTAL STAND FOR STUDYING LOCAL CONDITIONS OF TRANSIENT HEAT TRANSFER

An experimental setup has been designed to study local conditions of non-stationary heat exchange during cooling of a high-temperature surface with a sprayed liquid: from nozzles of various modifications (including sprayers); water-air; steam-air; steam-water; superheated liquid; water with different concentrations of surfactants.

An analysis of scientific sources has determined a research methodology that will allow the study of the influence of irrigation density, surface temperature, degree of liquid underheating, its velocity and angle of flow onto the surface, taking into account the possibility of implementing a change in the determining factors in the range of their corresponding real values in natural energy and metallurgy facilities and the task of selecting a method for identifying the boundary conditions of heat exchange.

We have not come across any studies of heat exchange intensity as a function of underheating of sprayed liquid – water with different concentrations of surfactants at different local irrigation densities and surface temperatures in scientific publications. Therefore, these studies, as well as the development of effective cooling systems or determination of the thermal state of objects under various external influences, are of primary importance to us.

In order to implement our planned research program, in addition to developing a method for identifying the boundary conditions of heat exchange, it was necessary to solve a number of special problems associated with determining the operating parameters of the cooling medium. These include the local irrigation density and the velocity of the dispersed medium at the surface of the thermal probe.

For reliable determination of local irrigation flow rate, as well as determination of the dispersed composition of drops, the pulse counting method, which has the possibility of practical implementation in our country, should be used.

To determine local conditions of non-stationary heat exchange, we have developed a scheme for measuring the EMF of temperature detectors installed in the body of the rod of the thermal probe, and also selected high-speed digital recording equipment.

The solution of the inverse problem of heat conduction will allow us to establish the degree of influence of practically all factors indicated as determining ones.

Keywords: experimental setup for studying local conditions of non-stationary heat exchange, high-temperature surface, sprayed liquid, method of identifying heat exchange conditions, slot nozzle, replaceable set of nozzles, block fastening, special coordinate device, control valve, superheated liquid, evaporative cooling, steam-water medium.