

Ю. А. Селіхов, к.техн.н., професор, І. М. Рищенко, д.техн.н., професор,
К. О. Горбунов, к.техн.н., професор, Е. Р. Нагорний, аспірант

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОВЕРХНІ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Постановка задачі. Аналіз умов роботи низки енерготехнологічних об'єктів дозволяє вважати, що здійснення наміченого збільшення вироблення електричної енергії на АЕС у 8–10 разів, скорочення витрати металу за рахунок нарощування у 2,5–3 рази термозміцненого прокату, підвищення надійності та безпеки експлуатації обладнання в енергетиці, машинобудуванні та металургії пов'язано з необхідністю подальшого дослідження умов теплообміну високотемпературних поверхонь. Так, у перехідних режимах роботи турбоустановок АЕС у проточній частині турбін має місце нестационарна теплова взаємодія поверхонь корпусних елементів з дисперговою рідкою фазою вологої насиченої пари [1]. При цьому точність розрахунків термічних напруг і деформацій у зазначених елементах корпусу турбіни, що виконуються на стадії проектування, а, отже, забезпечення надійності роботи турбоустановки в умовах її експлуатації істотно визначається повнотою інформації про граничні умови теплообміну.

У металургії при виробництві термозміцненого прокату широкого поширення набули системи, в яких потрібний тепловий стан виробів забезпечується за рахунок охолодження високотемпературних поверхонь розпиленою рідиною. Очевидно, що й у цьому випадку забезпечення заданих механічних характеристик прокату, зниження енерговитрат та витрати охолоджувача, вибір режимно-геометричних характеристик термозміцнення визначається достовірністю відомостей про щільність теплового потоку в процесі нестационарного теплообміну диспергової рідини з поверхнею виробу [2].

Вивченню зазначеного процесу в енергетиці та металургії присвячено низку робіт як у нас у країні, так і за кордоном. До них належать дослідження М.А. Стиріковича, В.Г. Лабейша [3, 4], Е.І. Казанцева [5], В.М. Капиноса, В.П. Ісаченко [6], В.І. Кушнірьова [7], В.А. Зисіна [8], Е.Г. Братути [9], Л.І. Урбановича [10], К.Ф. Стародубова, О.Р. Пересьолкова [11], Ю.А. Селіхова [12], Д. Хьюїтта [13], А. Диннера [14], С. Віанне [15], К. Янаги [16].

Разом з тим, відомості про умови теплообміну в зазначеному процесі, необхідні для здійснення термічних керованих впливів багато в чому суперечливі, отримані без урахування взаємопов'язаного впливу певних факторів, у вузькому діапазоні їх зміни. Ряд співвідношень, запропонованих для визначення граничних умов, виявляється справедливим лише стосовно приватних умов проведення експерименту. У ряді випадків результати, отримані при дослідженні стаціонарного процесу теплообміну без достатнього обґрунтування, рекомендуються для застосування в розрахунках нестационарного теплового стану.

При вирішенні різноманітних задач пожежної безпеки, насамперед, для припинення горіння на підставі охолоджуючої та флегматизуючої дії води та для створення умов пожежної безпеки (захисту від теплових конвекційних потоків та випромінювання, а також використання води для захисту будівельних конструкцій в

умовах пожежі), необхідно знати умови теплообміну диспергованої рідини з охолоджуваною поверхнею [17]. Найбільш ефективно гасіння пожеж водою способом охолодження поверхні речовини, що горить, здійснюється під час горіння твердих горючих матеріалів. При охолодженні палаючих речовин водою деяка її кількість випаровується і переходить у пару, завдяки чому підвищується швидкість гасіння. Поверхня матеріалу, що горить, при попаданні води частково змочується. У деяких випадках вода проникає в глибину за рахунок механічної дії струменів. Потрібно зазначити, що у разі наявності гетерогенного горіння (тління, горіння коксу, деревного вугілля, сажі) дія водяного струменя приводить до охолодження безпосередньо зони горіння твердих речовин. У пожежній техніці для розпилення води використовується переважно гідравлічний метод, як найбільш простий і економічний за споживанням енергії на диспергування рідини (2–4 кВт на диспергування 1 т рідини), при цьому, в основному охолоджують матеріали (деревне вугілля, деревину, волокнисті матеріали, пластик, нафтопродукти, огорожувальні поверхні будівельних корпусів і т.д.). Охолодження металевих високотемпературних поверхонь може і робили, але ніяких наукових досліджень охолодження диспергованою рідиною з різною концентрацією поверхнево-активних речовин високотемпературної поверхні ми не знайшли в науковій літературі.

Актуальність подальших досліджень теплообміну високотемпературної поверхні розпиленою рідиною з різними концентраціями поверхнево-активних речовин стосовно теплових процесів в енергетичному обладнанні та металургійному виробництві визначила зміст цієї статті.

Ключові слова: умови теплообміну, високотемпературні поверхні, теплові процеси, енергетичне обладнання, концентрація охолоджувальної рідини, поверхнево-активні речовини, витрата охолоджувача, диспергована рідка фаза, волога насичена пара, енерговитрати, термозміцнення, надійність роботи, турбоустановки, стаціонарні процеси, граничні умови.

Мета статті. Аналіз літературних джерел дозволив зробити наступні висновки.

Мета полягає у розробці узагальнених рекомендацій визначення граничних умов нестационарного теплообміну розпиленої рідини – води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин з високотемпературною поверхнею, справедливих при довільному механізмі диспергування рідини та її подачі до поверхні з урахуванням взаємозалежного впливу визначальних чинників.

Конкретними завданнями є:

1. Розробка методики експериментального дослідження локальних умов нестационарного теплообміну.

2. Для цього треба розробити та виготовити експериментальний стенд, на якому будуть виконуватись дослідження впливу щільності зрошення, температури поверхні, ступеня недогріву рідини, її швидкості та кута натікання на поверхню.

3. Розробити або підібрати математичну модель для розрахунків: теплових потоків, коефіцієнтів тепловіддачі, динаміку гідравлічних способів диспергування рідини – води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин, критичних теплових потоків та температур поверхні в області переходу від плівкового до бульбашкового режиму кипіння у функції визначальних факторів.

4. Встановити самостійний вплив ступеня нестационарності процесу на умови теплообміну.

Розгляд результатів опублікованих досліджень показують, що при вивченні теплообміну між високотемпературною поверхнею та диспергованою рідиною можна виділити чотири основні групи факторів.

Першу групу складають гідродинамічні фактори: густина зрошення g , швидкість натікання охолоджуючого середовища на поверхню W_C , концентрація рідини у двофазному середовищі, концентрація поверхнево-активних речовин у рідині та дисперсний склад рідкої фази.

Другу групу утворюють термічні фактори: температура поверхні t_i і температура охолоджуючого середовища t_C (або ступінь недогріву середовища до кипіння Δt_H), швидкість зміни температури поверхні $W_T = \partial t_i / \partial \tau$.

До третьої групи належать геометричні фактори: відстань джерела диспергованого середовища від поверхні H , кут натікання середовища δ_C , форма поверхні, що охолоджується.

До четвертої групи входять технологічні фактори: швидкість переміщення поверхні W_H , щільність розміщення системи джерел диспергованого середовища та їх взаємна орієнтація.

Аналіз природи впливу низки перелічених чинників показав, що у разі, коли вивчається взаємозв'язок між локальними значеннями щільності теплового потоку і щільності зрошення ряд факторів не надає самостійного впливу на умови теплообміну. Роль їх проявляється через величину локальної щільності зрошення, що залежить від зазначених факторів.

У зв'язку з цим ми не аналізуватимемо вплив таких характеристик, як відстань джерела середовища до поверхні, геометричних особливостей розпилювача, концентрації рідкої фази у водоповітряному або пароводяному потоці та щільності розміщення джерел середовища, досліджених у роботі [18].

Відомості про дисперсний склад розпиленої рідини дуже обмежені. Однак, відомі нам результати дозволяють вважати, що в переважній більшості випадків термічної взаємодії поверхні з полідисперсним потоком крапель стосовно об'єктів енергетики і металургії роль зазначеного фактора дуже мала. Дійсно, як впливає з роботи [15], при швидкості двофазного середовища від 15 до 100 м/с та щільності зрошення від 1 до 20 кг/(м²с), середньому діаметрі крапель (за Заутером) D_K від 20 до 100 мкм щільність теплового потоку виявилася пропорційною $D_K^{0,05}$.

Наведені міркування дозволяють вважати, що із сукупності перерахованих факторів, що надають самостійний і безпосередній вплив на умови теплообміну, слід виділити: локальну щільність зрошення g , температуру поверхні t_i , ступінь недогріву рідини Δt_H , швидкість W_C та кут δ_C натікання крапель, швидкість зміни температури W_T та швидкість переміщення поверхні W_i .

При попаданні води на високотемпературну поверхню тепло прогрітого шару поглинається водою за рахунок протікання ендотермічних процесів нагріву і фазового переходу (випаровування). Питома кількість тепла, що поглинається шаром поверхні на одиницю площі поверхні, розраховується за формулами.

Швидкість осідання, а, отже, і час контакту краплі з поверхнею будуть залежати від розміру краплі і виду самої поверхні. У перший момент крапля потрапляє в прогрітий поверхневий шар із температурою t_H . Оскільки температура поверхневого

шару перевищує температуру краплі води в момент попадання її на високотемпературну поверхню, то температура краплі під час падіння починає підвищуватися і досягає своєї максимальної величини. Швидкість руху краплі і температуру краплі в будь-якій точці її руху можемо визначити з енергетичного балансу.

В роботі [19] наведено результати розрахунків часу та відстані, на якій відбудеться повне випаровування краплі води, в залежності від виду поверхні та початкового діаметру крапель.

Розглянемо наявні у літературі результати дослідження впливу зазначених чинників. Підсумки практично всіх відомих нам робіт з теплообміну диспергованої рідини з поверхнею дозволяють вважати, що щільність зрошення, тобто кількість охолоджувача, що припадає на одиницю поверхні в одиницю часу, є центральною величиною, відповідальною не тільки за інтенсивність відведення тепла, але й визначальний ступінь впливу всіх інших чинників.

Якщо коротко оцінити підсумки дослідження впливу щільності зрошення, які опубліковані у роботі [20], то основним є той факт, що збільшення g завжди пов'язане із збільшенням тепловідведення. Водночас встановлено, що залежність $q(g)$ або $\alpha(g)$ не є монотонною. В області $g < 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ залежність $q(g)$ має практично лінійний характер. Однак при великих значеннях цього фактора зазначена залежність починає набувати характеру близького до експоненційного і при деякому пороговому значенні g_1 подальше збільшення щільності зрошення практично не призводить до збільшення щільності теплового потоку. Слід зазначити, що за даними різних дослідників рівень g_1 коливається в широких межах від 2 до 80 $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Останнє, на наш погляд, пов'язане, в основному, з дуже різномірною методикою проведення дослідів, зокрема з різними способами як оцінки дійсної величини щільності зрошення, так і нерівнозначними способами опосередкування коефіцієнтів тепловіддачі або щільності теплового потоку на поверхні охолодження. Авторами робіт [21] було встановлено, що в міру збільшення щільності зрошення на поверхні листа збільшується товщина плівки рідини, що перешкоджає безпосередньому контакту крапель і струменів із площиною тепловідведення. З цією обставиною фактично пов'язана наявність порогового рівня $g_{\text{п}}$, коли подача додаткового охолоджувача виявляється неефективною через збільшення баластного шару рідини.

Залежність коефіцієнта тепловіддачі від температури поверхні $t_{\text{п}}$ за результатами величезної кількості дослідів, виконаних при «кипінні у великому обсязі» і стосовно парагенеруючих каналів зводиться до відомої «кривої кипіння» [19], що розділяє весь процес на області бульбашкового та плівкового режимів кипіння за наявності критичних температур поверхні $t_{\text{пкр}}$, яким відповідає максимум інтенсивності теплообміну. При охолодженні поверхні розпиленою рідиною вказаний характер залежності $q(t_{\text{п}})$ або $\alpha(t_{\text{п}})$ підтверджується у роботі [22]. Однак у ряді випадків при форсуночному охолодженні поверхні «класичний» характер кривої $q(t_{\text{п}})$ не спостерігався. Так в роботі [23] при $t_{\text{п}} > 300^\circ\text{C}$ не виявлено плівкового режиму теплообміну, а в роботі [24] при $t_{\text{п}} < 150^\circ\text{C}$ не було зафіксовано зменшення інтенсивності охолодження.

Незважаючи на велику передісторію кризових режимів кипіння, це питання стосовно термічної взаємодії розпиленої рідини з поверхнею вивчено вкрай обмежено. За даними різних дослідників величина $t_{\text{ПКР}}$ коливається в інтервалі від 130 до 480 °С, при цьому узагальнюючих зв'язків залежності $t_{\text{ПКР}}$ від визначальних чинників процесу теплообміну ми у доступній нам літературі не виявили.

Незважаючи на велику кількість робіт, опублікованих у відкритому друку, з охолодження високотемпературних поверхонь розпиленою рідиною, ми не виявили публікацій з дослідження умов теплообміну розпиленої води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин.

Висновки. 1. Необхідно розробити методику експериментального дослідження локальних умов нестационарного теплообміну розпиленої рідини – води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин.

2. Потрібно розробити та виготовити експериментальний стенд, на якому будуть виконуватись дослідження впливу щільності зрошення, температури поверхні, ступеня недогріву рідини, її швидкості та кута натікання на поверхню.

3. Розробити математичну модель для розрахунків: теплових потоків, коефіцієнтів тепловіддачі, динаміку гідравлічних способів диспергування рідини - води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин, критичних теплових потоків і температур поверхні в області переходу від плівкового до бульбашкового режиму кипіння в функції визначальних факторів.

4. Встановити самостійний вплив ступеня нестационарності процесу на умови теплообміну.

Література

1. Капинос В.М., Чиркин Н.В. и др. Экспериментальное исследование теплообмена при течении водовоздушного потока. – Теплоэнергетика, 1975, №5, С. 28–31.
2. Траянов Г.Г., Петрова Л.В. Исследование водяного и воздушного охлаждения тонкой стальной полосе. – В сб. Металлургическая теплотехника. – М.: Металлургия, 1975, №4, С. 95–101.
3. Лабейш В.Г. Примин В.И., Родионов О.А. Определение нестационарных тепловых нагрузок при охлаждении высокотемпературного металла жидкими струями. – Матер. Всесоюз. конф. Теплофизика и гидрогазодинамика процессов кипения и конденсации. – Рига, 1982, т. 1, С. 137–138.
4. Лабейш В.Г. Жидкостное охлаждение высокотемпературного металла. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 172 с.
5. Казанцев Е.И. Гончаров Н.В., Парамошин А.П. Теплоотдача при водовоздушном охлаждении горячего листа. – Сталь, 1981, №4, С. 88–90.
6. Исаченко В.П., Сидорова И.К. Экспериментальное исследование охлаждения плоской вертикальной поверхности струей диспергированной жидкости. – Теплоэнергетика, 1982, №2, С. 30–33.
7. Кушнырев В.И., Горин С.В., Лебедев В.И. и др. Методика экспериментального исследования коэффициента теплоотдачи при охлаждении нагретой поверхности водой, распыливаемой форсунками. – Непрерывная разливка стали. – Металлургия, 1977, №4, С. 95–104.

8. Зысин В.А., Давыдов В.С. Теплоотдача при обтекании решетки профилей потоком, несущим взвешенную влагу. – Энергомашиностроение, 1965, №8, С. 37–39.
9. Братута Э.Г., Заночкин Л.А., Павленко Н.С. Метод исследования гидродинамики пленки жидкости при спрейерном охлаждении листа. – Изв. вузов. Черная металлургия, 1982, №4, С. 126–129.
10. Урбанович Л.И., Горяинов В.А., Севастьянов В.В. и др. Экспериментальное исследование гидродинамики и теплообмена при форсуночном охлаждении непрерывного стального слитка. – Изв. вузов. Черная металлургия, 1980, №9, С. 145–149.
11. Переселков А.Р., Братута Э.Г. Теплообмен при охлаждении высокотемпературной поверхности струей диспергированной жидкости. – В кн.: Энергетическое машиностроение, вып. 54. – Респ. межвед. Науч.-техн. сборник. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1982, С. 77–79.
12. 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.
13. Хьюитт Д., Холл-Тейлор Н. Кольцевые двухфазные течения. – М.: Энергия, 1974. – 407 с.
14. Диннер А. Обзор литературы по теплопередаче при струйном охлаждении. М.: Черные металлы, 1976, №4, С. 26–29.
15. Вианне С., Хозеф Ж., Даан Ж. Теплообмен между поверхностью, нагретой до высокой температуры, и нормально падающей струей смеси воздуха с распыленной водой. – Общество Бертен и К°. Отдел теплопередачи и переноса массы. Франция / Пер. с франц. № 80/10747. – М.: ГПНТБ. 1980. – 11 с.
16. Янаги К. Охлаждение каплями жидкости высокотемпературной поверхности. – Нэпре кекай си, 1976, т. 55, № 595, С. 892–897 / Пер. с японск. № А-44053. – М.: Всесоюзный центр переводов, 1978. – 25 с.
17. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі. Навчальний посібник – Харків, 2004. – 252 с.
18. Зимин Н.В. Кинетика душевого охлаждения поверхности и охлаждающая способность душа различных жидкостей. – В сб. Металлургия и коксохимия. Термическая обработка стали. – Киев: Техника, 1973, вып.36. С. 65–68.
19. Несис Е.И. Кипение гидкостей. – М.: Наука, 1973. – 280 с.
20. Эйсмонт К.А., Шустов А.В. и др. Получение и применение жидкостно-воздушных закалочных сред. – В сб. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1980, № 11, С. 43–45.
21. Липунов Ю.И., Траянов Г.Г. Тепловой расчет устройств струйного водяного охлаждения для закалки листового проката. Металлургическая теплотехника. – М.: Металлургия. 1978. № 6, С. 65–68.
22. Переселков А.Р., Братута Э.Г. Теплообмен при охлаждении высокотемпературной поверхности струей диспергированной жидкости. – В кн.: Энергетическое машиностроение. Вып. 38. – Респ. межвед. Науч.-техн. сборник. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984, С. 85–90.
23. Гончаров Н.В., Казанцев Е.И. и др. Исследование теплообмена при струйном охлаждении листового металла водой и водовоздушной смесью. – Сталь, 1977, № 6, С. 564–566.
24. Казанцев Е.И., Гончаров Н.В., и др. Теплоотдача при водовоздушном охлаждении горячего листа. – Сталь, 1981, № 4, С. 88–90.

Bibliography (transliterated)

1. Kapinos V.M., Chirkin N.V. i dr. Eksperimentalnoe issledovanie teploob-mena pri techenii vodovozdushnogo potoka. – Teploenergetika, 1975, #5, P. 28–31.
2. Trayanov G.G., Petrova L.V. Issledovanie vodyanogo i vozdushnogo ohlazhdeniya tonkoy stalnoy polosy. – V sb. Metallurgicheskaya teplotekhnika. – M.: Metallurgiya, 1975, #4, P. 95–101.
3. Labeysh V.G. Primin V.I., Rodionov O.A. Opredelenie nestatsionarnykh tep-lovykh nagruzok pri ohlazhdenii vyisokotemperaturnogo metalla zhidkimi struyami. – Mater. Vsesoyuz. konf. Teplofizika i gidrogazodinamika protsessov kipeniya i kon-densatsii. – Riga, 1982, t. 1, P. 137–138.
4. Labeysh V.G. Zhidkostnoe ohlazhdenie vyisokotemperaturnogo metalla. – L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1983. – 172 p.
5. Kazantsev E.I. Goncharov N.V., Paramoshin A.P. Teplootdacha pri vodovozdushnom ohlazhdenii goryachego lista. – Stal, 1981, #4, P. 88–90.
6. Isachenko V.P., Sidorova I.K. Eksperimentalnoe issledovanie ohlazhdeniya ploskoy vertikalnoy poverhnosti struey dispergirovannoy zhidkosti. – Teploener-getika, 1982, #2, P. 30–33.
7. Kushnyrev V.I., Gorin S.V., Lebedev V.I. i dr. Metodika eksperimentalnogo issle-dovaniya koeffitsienta teplootdachi pri ohlazhdenii nagretoy poverhnosti vody, raspylivae-moy forsunkami. – Nepreryivnaya razlivka stali. – Metallurgiya, 1977, #4, P. 95–104.
8. Zyisin V.A., Davydov V.S. Teplootdacha pri obtekanii reshetki profiley potokom, nesuschim vzveshennuyu vlagu. – Energomashinostroenie, 1965, #8, P. 37–39.
9. Bratuta E.G., Zanochnik L.A., Pavlenko N.S. Metod issledovaniya gidrodina-miki plenki zhidkosti pri spreynom ohlazhdenii lista. – Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya, 1982, #4, P. 126–129.
10. Urbanovich L.I., Goryainov V.A., Sevastyanov V.V. i dr. Eksperimentalnoe issle-dovanie gidrodinamiki i teploobmena pri forsunochnom ohlazhdenii nepre-ryivnogo stalnogo slitka. – Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya, 1980, #9, P. 145–149.
11. Pereselkov A.R., Bratuta E.G. Teploobmen pri ohlazhdenii vyisokotempera-turnoy poverhnosti struey dispergirovannoy zhidkosti. – V kn.: Energeticheskoe ma-shinostroenie, vyip. 54. – Resp. mezhved. Nauch.-tehn. sbornik. – Harkov: Vischa shkola. Izd-vo pri Hark. un-te, 1982, P. 77–79.
12. Selihov Yu.A., Bratuta E.G., Kravtsov S.F. i dr. Metod opredeleniya lokal-nykh usloviy teploobmena pri spreynom ohlazhdenii. – Stal, 1985, #4, P. 89–91.
13. Hyuitt D., Holl-Taylor N. Koltsevyie dvuhfaznyie techeniya. – M.: Energiya, 1974. – 407 p.
14. Dinner A. Obzor literatury po teploperedache pri strynom ohlazhdenii. M.: Chernyie metally, 1976, #4, P. 26–29.
15. Vianne S., Hozef Zh., Daan Zh. Teploobmen mezhdru poverhnostyu, nagretoy do vyisokoy temperatury, i normalno padayuschey struey smesi vozduha s raspylennoy vodoy. – Obschestvo Berten i K°. Otdel teploperedachi i perenosa massyi. Frantsiya / Per. s frants. # 80/10747. – M.: GPNTB. 1980. – 11 p.
16. Yanagi K. Ohlazhdenie kaplyami zhidkosti vyisokotemperaturnoy poverhno-sti. – Nepre kekay si, 1976, t. 55, # 595, P. 892-897 / Per. s yaponsk. # A-44053. – M.: Vsesoyuz-nyiy tsentr perevodov, 1978. – 25 p.
17. Tarahno O.V., Sharshanov A.Ya. Fiziko-himichni osnovi vikoristannya vodi v pozhezhnyi spravi. Navchalnyi posibnik – Harkiv, 2004. – 252 p.

18. Zimin N.V. Kinetika dushevogo ohlazhdeniya poverhnosti i ohlazhdayuschaya sposobnost dusha razlichnyih zhidkostey. – V sb. Metallurgiya i koksohimiya. Termicheskaya obrabotka stali. – Kiev: Tehnika, 1973, vlp.36. P. 65–68.

19. Nesis E.I. Kipenie gidkostey. – M.: Nauka, 1973. – 280 p.

20. Eysmond K.A., Shustov A.V. i dr. Poluchenie i primeneniye zhidkostno-vozdushnykh zakalochnykh sred. – V sb. Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metal-lov. – M.: Metallurgiya, 1980, # 11, P. 43–45.

21. Lipunov Yu.I., Trayanov G.G. Teplovoy raschet ustroystv struynogo vodyanogo ohlazhdeniya dlya zakalki listovogo prokata. Metallurgicheskaya teplotekhnika. – M.: Metallurgiya. 1978.# 6, P. 65–68.

22. Pereselkov A.R., Bratuta E.G. Teploobmen pri ohlazhdenii vyisokotemperaturnoy poverhnosti struey dispergirivannoy zhidkosti. – V kn.: Energeticheskoye mashinostroyeniye. Vyip. 38. – Resp. mezhved. Nauch.-tehn. sbornik. – Harkov: Vischa shkola. Izd-vo pri Hark. un-te, 1984, P. 85–90.

23. Goncharov N.V., Kazantsev E.I. i dr. Issledovaniye teploobmena pri struy-nom ohlazhdenii listovogo metalla vodoy i vodovozdushnoy smesyu.– Stal, 1977, # 6, P. 564–566.

24. Kazantsev E.I., Goncharov N.V., i dr. Teplootdacha pri vodovozdushnom ohlazhdenii goryachego lista.. – Stal, 1981, # 4, P. 88–90.

УДК 621.016

Ю. А. Селіхов, к.техн.н., професор, І. М. Рищенко, д.техн.н., професор,
К. О. Горбунов, к.техн.н., професор, Е. Р. Нагорний, аспірант

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОВЕРХНІ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Незважаючи на дискретний характер взаємодії крапель розпиленої рідини з високотемпературною поверхнею, неминуче утворення плівки рідини призводить до того, що основні якісні закономірності теплообміну, що маємо при цьому, виявляються характерними для відомого процесу теплообміну при кипінні.

Разом з тим, наявність великих теоретичних та експериментальних досліджень «кипіння у великому обсязі» та процесу генерування пари в каналах не дозволяє встановити умови теплообміну при термічній взаємодії диспергованої рідини - води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин з високотемпературною поверхнею.

У науковій літературі ми не знайшли матеріалів про цей процес. При цілій низці особливостей, загальних з вищезазначеними двома випадками теплообміну (наявність криз кипіння, плівкового та бульбашкового режимів і т.д.), охолодження високотемпературної поверхні краплинним середовищем, що має у своєму складі різні концентрації поверхнево-активних речовин, має суттєві відмінні риси, зумовлені особливостями гідродинаміки процесу, що є предметом подальшого вивчення.

Для повного дослідження вищезазначеної задачі необхідно виконати таке:

1. Розробити методику експериментального дослідження локальних умов нестационарного теплообміну розпорошеної рідини - води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин.

2. Потрібно розробити та виготовити експериментальний стенд, на якому будуть виконуватись дослідження впливу щільності зрошення, температури поверхні, ступеня недогріву рідини, її швидкості та кута натікання на поверхню.

3. Розробити математичну модель для розрахунків: теплових потоків, коефіцієнтів тепловіддачі, динаміку гідравлічних способів диспергування рідини - води з різними концентраціями поверхнево-активних речовин, критичних теплових потоків та температур поверхні в області переходу від плівкового до бульбашкового режиму кипіння до функцій визначальних факторів.

4. Встановити самостійний вплив ступеня нестационарності процесу на умови теплообміну.

Ключові слова: умови теплообміну, високотемпературні поверхні, теплові процеси, енергетичне обладнання, концентрація охолоджувальної рідини, поверхнево-активні речовини, витрата охолоджувача, диспергована рідка фаза, волога насичена пара, енерговитрати, термозміцнення, надійність роботи, турбоустановки, стаціонарні процеси, граничні умови.

Yu. A. Selikhov, I. M. Ryshchenko, K. O. Gorbunov, E. R. Nagorniy

INTEGRATION OF HIGH-TEMPERATURE SURFACE HEAT EXCHANGE

Despite the discrete nature of the interaction of droplets of sprayed liquid with a high-temperature surface, the inevitable formation of a liquid film leads to the fact that the main qualitative laws of the heat exchange that occurs in this case are characteristic of the known process of heat exchange during boiling.

At the same time, the presence of extensive theoretical and experimental studies of “large-volume boiling” and the process of steam generation in channels does not allow us to establish the conditions of heat exchange during the thermal interaction of a dispersed liquid - water with different concentrations of surfactants with a high-temperature surface.

We did not find any materials about this process in the scientific literature. With a number of features common to the above two cases of heat exchange (the presence of boiling crises, film and bubble modes, etc.), cooling a high-temperature surface with a droplet medium containing various concentrations of surfactants has significant distinctive features due to the hydrodynamics of the process, which is the subject of further study.

To fully explore the above task, the following must be done:

1. Develop a methodology for experimental study of local conditions of non-stationary heat exchange of sprayed water with different concentrations of surfactants.

2. Develop and manufacture an experimental setup on which to conduct research on the effects of irrigation density, surface temperature, degree of liquid underheating, its speed and angle of impingement on the surface.

3. Develop a mathematical model for calculations of heat flows, heat transfer coefficients, dynamics of hydraulic methods of liquid dispersion – water with different concentrations of surfactants, critical heat flows and surface temperatures in the transition region from film to bubble boiling as a function of determining factors.

4. Establish the independent influence of the degree of non-stationarity of the process on the heat exchange conditions.

Keywords: heat exchange conditions, high-temperature surfaces, thermal processes, power equipment, coolant concentration, surfactants, coolant flow rate, dispersed liquid phase, wet saturated steam, energy costs, thermal strengthening, operational reliability, turbo plants, stationary processes, non-stationary processes, thermal effects, boundary conditions.