

Круглякова Ольга Володимирівна, канд. техн. наук, доцент

Чубарова Вікторія Вікторівна

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, вул. Кірпичьова, 2, м. Харків, Україна, 61002

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРАДИРНІ БРИЗКАЛЬНОГО ТИПУ З УРАХУВАННЯМ ПОВЕРХНІ КРАПЕЛЬ РОЗПИЛЕНОЇ ВОДИ

В статті показано, що ефективність охолодження циркуляційної води в градирнях суттєво впливає на енергетичні характеристики усіх об'єктів енергогенеруючого та енергоспоживчого профілю, коли виникає потреба в охолодженні циркуляційної води. Одним з перспективних напрямків у вирішенні вказаної задачі є реконструкція існуючих, в більшості випадків, застарілих плівкових градирень (ПГ) та крапельних (КГ) в градирні бризкального типу (БГ), які відрізняються простотою конструкції, надійністю в експлуатації, невеликими витратами на проведення ремонту і стабільністю охолоджувального ефекту. Наведено результати натурних випробувань БГ та показано, що міра охолодження циркуляційної води в них (за інших рівних умов) є нижчою, ніж в ПГ і КГ. У зв'язку з цим визначено, що для реалізації в БГ того ж охолоджувального ефекту, що і в ПГ і КГ щільність зрошування, що рекомендується при роботі, наприклад, вентиляторів градирень, повинна співвідноситися певним чином. Так як при реконструкції ПГ і КГ в градирні бризкального типу необхідно зберегти ту ж витрату охолоджуваної води, то очевидно, що необхідна ступінь охолодження в БГ може бути забезпечена як за рахунок використання ефективніших засобів диспергування води, так і за рахунок раціональнішого їх розміщення в робочому об'ємі градирні. Запропонована адекватна математична модель процесу охолодження циркуляційної води в градирні бризкального типу, яка побудована з урахуванням реальної поверхні диспергованої рідини, що дозволяє встановлювати її ефективність вже на рівні передпроектний розробок в залежності від майже усіх режимно-геометричних характеристик об'єкту. Запропонована нова форма узагальнення результатів експериментального випробування градирні у вигляді відносного ступеню охолодження води, що дозволяє встановлювати доцільні діапазони напору води перед розбризкувачем.

Ключові слова: градирня; ефективність охолодження; діапазон напору води

Круглякова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент

Чубарова Виктория Викторовна

Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, ул. Кирпичёва 2, Харьков, Украина, 61002

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАДИРНИ БРЫЗКАЛЬНОГО ТИПА С УЧЕТОМ ПОВЕРХНОСТИ КАПЕЛЬ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ

В статье показано, что эффективность охлаждения циркуляционной воды в градирнях существенно влияет на энергетические характеристики всех объектов энергогенерирующего и энергоспоживчого профиля, когда возникает потребность в охлаждении циркуляционной воды. Одним из перспективных направлений в решении указанной задачи является реконструкция существующих, в большинстве случаев, устаревших пленочных градирен (ПГ) и капельных (КГ) в градирни бризкального типа (БГ), которые отличаются простотой конструкции, надежностью в эксплуатации, небольшими расходами на проведение ремонта и стабильностью охлаждающего эффекта. Приведены результаты натурных испытаний БГ и показано, что степень охлаждения циркуляционной воды в них (при прочих равных условиях) ниже, чем в ПГ и КГ. В связи с этим определено, что для реализации в БГ того же охлаждающего эффекта, что и в ПГ и КГ плотность орошения, что рекомендуется при работе, например, вентиляторов градирен, должна соотноситься определенным образом. Так как при реконструкции ПГ и КГ в градирни бризкального типа необходимо сохранить тот же расход охлаждаемой воды, то очевидно, что необходимая степень охлаждения в БГ может быть обеспечена как за счет использования более эффективных средств диспергирования воды, так и за счет более рационального их размещения в рабочем объеме градирни. Предложена адекватная математическая модель процесса охлаждения циркуляционной воды в градирне бризкального типа, которая построена с учетом реальной поверхности диспергированной жидкости, что позволяет устанавливать ее эффективность уже на уровне передпроектний разработок в зависимости от почти всех режимно-геометрических характеристик объекта. Предложена новая форма обобщения результатов экспериментального испытания градирни в виде относительного степени охлаждения воды, что позволяет устанавливать целесообразные диапазоны напора воды перед разбрызгивателем.

Ключевые слова: градирня; эффективность охлаждения; диапазон напора воды

Krugliakova Olga Vladimirovna, Candidate of Engineering, Associate Professor
Chubarova Viktoriya Viktorovna

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kirpichova st., 2, Kharkov, Ukraine, 61002

DETERMINATION OF SPRAY TYPE COOLING TOWER EFFICIENCY TAKING INTO ACCOUNT AN ACTUAL SURFACE OF SPRAYED WATER DROPS

The article shows that the cooling efficiency of circulating water in cooling towers significantly affects the energy characteristics of all the power generating and energoprivod profile when there is a need for cooling of circulating water. One of the promising directions in the solution of this problem is reconstruction of the existing, in most cases, outdated film cooling towers (GHG) and drip (KG) cooling towers breskalenko type (BG), which are distinguished by simplicity of design, reliability, small costs of repair and stability of the cooling effect. The results of field testing the BG and it is shown that the degree of cooling the water circulating in them (ceteris paribus) lower than in the PG and KG. In this regard, it was determined that for the implementation in the BG the same cooling effect as in the PG and KG density of irrigation which is recommended when working, for example, fans of cooling towers, should be correlated in a certain way. As in the reconstruction of the PG and KG in the cooling tower breskalenko type, you must maintain the same flow of cooling water, it is obvious that the required degree of cooling in the BG can be achieved both through the use of more efficient means of dispersing water and due to more efficient placing them in the working volume of the tower. Offered adequate mathematical model of the process of cooling the water circulating in the cooling tower breskalenko type, which is built taking into account the real surface of the dispersed liquid, allowing you to set its efficiency at the level of predpochtenii development depending on almost all modal-geometrical characteristics of the object. The proposed new form of generalization of the results of experimental testing of the cooling tower relative degree of cooling of the water, allowing it to establish reasonable ranges of water pressure before the sprinkler.

Keywords: cooling towers; cooling efficiency; ranges of water pressure

Постановка та актуальність проблеми

Як було показано в наших роботах [1, 2], ефективність охолодження циркуляційної води в градирнях суттєво впливає на енергетичні характеристики усіх об'єктів енергогенеруючого та енергоспоживчого профілю, коли виникає потреба в охолодженні циркуляційної води. Одним з перспективних напрямків у вирішенні вказаної задачі є реконструкція існуючих, в більшості випадків, застарілих плівкових градирень (ПГ) та крапельних (КГ) в градирні бризкального типу (БГ), які відрізняються простотою конструкції, надійністю в експлуатації, невеликими витратами на проведення ремонту і стабільністю охолоджувального ефекту. У той же час, результати натурних випробувань БГ показують, що міра охолодження циркуляційної води в них (за інших рівних умов) є нижчою, ніж в ПГ і КГ. У зв'язку з цим для реалізації в БГ того ж охолоджувального ефекту, що і в ПГ і КГ щільність зрошування, що рекомендується при роботі, наприклад, вентиляторів градирень, повинна співвідноситися таким чином [3]: ПГ-8-12 м³/(м²г); КГ-6-8 м³/(м²г); БГ-5-6 м³/(м²г). Так як при реконструкції ПГ і КГ в градирні бризкального типу необхідно зберегти ту ж витрату охолоджуваної води, то очевидно, що необхідна ступінь охолодження в БГ може бути забезпечена як за рахунок використання ефективніших засобів диспергування води, так і за рахунок раціональнішого їх розміщення в робочому об'ємі градирні.

Відомо, що і відпрацювання ефективних розбризкувачів, і перевірка різних технічних рішень, що стосуються зрошувальної системи градирні, у традиційній постановці вирішується суто експериментально, що пов'язане як з великими матеріальними витратами, так і значними витратами часу. Тому коротший і менш дорогий шлях до вирішення поставленого завдання полягає у відповідному поєднанні методів фізичного експерименту і математичного моделювання. Не зважаючи на те що перші роботи які стосуються застосування БГ [4, 5] і початку теорії тепло-масообміну між повітрям та розпиленою рідиною [6] відносяться до тридцятих-сорокових років, до теперішнього часу методика розрахунків охолодження циркуляційної води майже повністю заснована на емпіричних співвідношеннях, правомірність яких фактично обмежена умовами проведення експерименту. Протягом тривалого часу сама ідея застосування БГ була спірною.

Певний інтерес, в плані вдосконалення методики розрахунку БГ, представляють роботи [7, 8], в яких зроблена спроба врахувати в емпіричних рівняннях, що описують теплообмін і гідравлічний опір градирні, дисперсний склад крапель. Однак і в цих випадках рекомендації для розрахунку обмежені приватними умовами промислових і напівпромислових випробувань.

Деяким компромісом між емпіричними і теоретичними методами розрахунку є робота [8], в якій "числа випарування" в якості основного визначального фактора, що дозволило (при незмінному дисперсному складі крапель, що мав місце в БГ) запропонувати методику розрахунку охолодження циркуляційної води. Аналіз опублікованих результатів дослідження БГ дозволяє зробити висновок, що основною причиною обмеженості існуючих методів розрахунку є не лише суто емпіричний їх характер, але в основному те, що в цих методах розрахунку не знаходиться віддзеркалення впливу реальної величини міжфазної поверхні, яка визначається дисперсним складом крапель.

Основна частина

Відмінною рисою запропонованої нами математичної моделі розрахунку процесу охолодження циркуляційної води в БГ, є використання реальної функції розподілу крапель за розмірами у факелі розпиленої рідини. В якості зазначеної функції використовується рівняння виду

$$V(D) = \frac{2}{3\pi} \bar{\alpha}^4 D^3 K_1(\alpha D), \quad (1)$$

в якому єдиним параметром, визначеним з експерименту на основі лічильно-імпульсного методу [9], є величина параметру розподілу $\bar{\alpha}$.

Безперервна функція (1) розбивається на N інтервалів і для кожного i-того інтервалу записується наступна система рівнянь: рівняння руху одиничної краплі в потоці повітря

$$m \frac{d\vec{V}_k}{d\tau} = \pm m \vec{g} - C_D \Psi(D) \rho_B f_k \frac{|\vec{U}_k| |\vec{U}_k|}{2}, \quad (2)$$

де C_D – коефіцієнт аеродинамічного опору краплі у виді [10]

$$C_D = \frac{24}{Re \bar{e}} + 0,248 \left(1 + \frac{194}{Re \bar{e}}\right)^{0,5} + 0,248, \quad (3)$$

$\Psi(D)$ – коефіцієнт, який враховує деформацію краплі, приймається, як рекомендований у [11]:

$$\Psi(D) = \exp(0,03We)^{1,5}. \quad (4)$$

Рівняння тепло-масообміну для рідинної компоненти дисперсного потоку

$$m \tilde{N}_D \frac{dt_\delta}{d\tau} = f[\alpha(t_D - t_I) + \beta r(\omega_D - \omega_I)], \quad (5)$$

рівняння балансу енергії повітря уздовж лінії струму пароповітряної суміші.

$$M_{II} C_{pII} \frac{dt_{II}}{d\tau} = C_p M_p \frac{dt_p}{d\tau} - i_{II} M_{II} \frac{dd'}{d\tau}, \quad (6)$$

рівняння нерозривності потоку повітря.

$$\frac{dV}{d\tau} = V_{II} F. \quad (7)$$

У разі баштової градирні висотою H ця система рівнянь доповнюється рівнянням природної тяги повітря:

$$H_D (\rho_{II1} - \rho_{II2}) = \xi \frac{V_{II}^2}{2} \bar{\rho}_{II}, \quad (8)$$

де $\bar{\rho}_{II} = 0,5(\rho_{II1} + \rho_{II2})$.

Аеродинамічний опір бризкальної градирні $P_{a.o.}$:

$$P_{a.o.} = \sum_{j=1}^{i=6} P_j, \quad (9)$$

де P_j , аеродинамічний опір i -того елемента градирні

$$P_j = \xi_j \frac{\rho_n V_B^2}{2}. \quad (10)$$

Рівняння (1)–(10) доповнюються співвідношенням для визначення критерію $Nu = \alpha D / \lambda$ у вигляді, що рекомендується в роботі [10]:

$$Nu = 2 + (0,04 Re_k^{0,5} + 0,06 Re_k^{\frac{2}{3}}) Pr_r^{0,4}, \quad (11)$$

де $Nu = 2 + (0,04 Re^{0,5} + 0,06 Re^{\frac{2}{3}}) Pr^{0,4}$; Pr – критерій Прантля.

Коефіцієнт масовіддачі β визначається, виходячи з подібності процесів тепло масообміну, за формулою

$$\frac{\alpha}{\beta C_{вл}} = 1, \quad (12)$$

де теплоємність вологого повітря приймається, як:

$$C_{рп} = 1,0056 + 1,9693 d. \quad (13)$$

Для тієї частини рідини, яка випадає на стінки градирні у вигляді плівки використовується рівняння, запропоноване в роботі [7]:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}, \quad (14)$$

На підставі узагальнення результатів експериментального дослідження [9] дисперсного складу крапель у факелі розпилювачів, які використовуються у зрошувальній системі градирні, було отримано залежність виду:

$$\bar{\alpha} = 0,24 \Delta P^{0,25}, \quad (15)$$

де $\bar{\alpha}$ – параметр розподілу функції (1), ΔP – перепад тиску на розпилювачі.

Рівняння (15), а також залежності для куту розкриття факелу і характеристики видатності форсунки ударного типу (якими обладнана зрошувальна система градирні) були використані у залежній системі рівнянь математичної моделі. Для встановлення ефективності математичної моделі були використані результати експериментального дослідження бризкальної градирні, схема якої показана на рис.1. При числовій реалізації математичної моделі режимно-геометричні характеристики градирні, а також параметри води на вході охолоджувача, параметри повітря і витрати взаємодіючих середовищ приймалися відповідно умовам проведеного експерименту в роботі [12]. Весь обсяг експериментального матеріалу був представлений у вигляді відношення $\frac{\Delta t}{\Delta P}$ в функції ΔP , що відображало відносну ступінь охолодження води, що припадає на одиницю напору перед розбризкувачем. Ці дані наведені на рис. 2. Тут крапками нанесені результати експерименту, суцільні криві отримані в результаті чисельної реалізації математичної моделі.

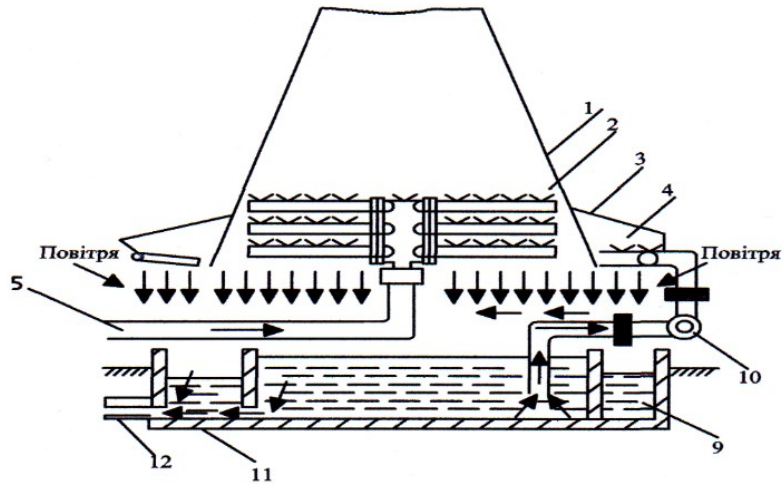


Рис. 1. Схема бризкальної градирні:

1 – витяжна вежа; 2 – проти течії на область; 3 – кільцевий тамбур; 4 – поперечно-точна область; 5 – трубопровід гарячої води; 6 – водозбірний басейн; 7 – трубопровід водопостачання; 8 – роздільна перегородка між водозбірними басейнами; 9 – водозбірний басейн поперечно точної області; 10 – насосний блок; 11 – відведення води з басейну противоточної області; 12 – загальне скидання води з градирні

Прийняті позначення:

V – швидкість; τ – час; ρ – щільність; t – температура; f – поверхня; α – коефіцієнт теплообміну; β – коефіцієнт масообміну; g – теплота пароутворення; ω – концентрація; C_p – ізобарна теплоємність; i – ентальпія; M – маса; d – вологоємність; ξ – коефіцієнт аеродинамічного опору; P – тиск; m – маса краплі; D – діаметр краплі; Re , Pr , Nu – критерії Ренольдса, Прандтля, Нуссельта; λ – коефіцієнт теплопровідності.

Результати, які показані на рис. 2 по-перше, підтверджують гарне узгодження розрахункових (суспільні лінії) і експериментальних (точки) даних. По-друге, отримане нова проста форма узагальнення експериментальних результатів, яка показує доцільну межу підвищення напору води перед форсунками. Так, для розглянутого варіанту градирні з рис.2 видно, що ця межа лежать в інтервалі $0,08 \leq \Delta P \leq 0,1$ МПа.

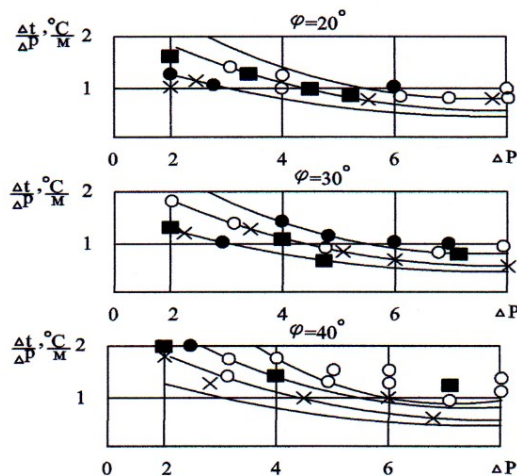


Рис. 2. Залежність відносного ступеню охолодження $\Delta t / \Delta P$ в функції ΔP при різних кутах розкриття факелу φ і діаметрах сопла форсунки d_f . (1- ●●● – сопло d_f 10 мм
2- ○○ – сопло d_f 15 мм 3- ■■■ – сопло d_f 20 мм 4- ×× – сопло d_f 25 мм)

Висновки

В роботі запропонована адекватна математична модель процесу охолодження циркуляційної води в градирні бризкального типу, що дозволяє встановлювати її ефективність вже на рівні передпроектний розробок в залежності від майже усіх режимно-геометричних характеристик об'єкту. Запропонована нова форма узагальнення результатів експериментального випробування градирні у вигляді відносного ступеню охолодження води, що дозволяє встановлювати доцільні діапазони напору води перед розбризкувачем.

Список використаної літератури:

1. Братута Э. Г. Влияние температуры охлаждения воды на эффективность холодильной установки/ Э. Г. Братута, И. В. Смородская// Интегровані технології і енергозбереження. –2000. – № 2. – С. 3–6.
2. Братута Э. Г. Влияние температуры охлаждения воды на теплоэнергетические характеристики при компримировании газов в холодильной технике. / Э. Г. Братута, В. Г. Шерстюк// Интегровані технології і енергозбереження. – 2006. – № 2. – С. 84–88.
3. Гладков В. А. Вентиляторные градирни/ В. А. Гладков, Ю. И. Арефьев, В. С. Пономаренко //– М. Стройиздат, 1976, – 216 с.
4. Giebel C. // Verein deutscher Ingenieure – 1921. V. 242. – P. 1–98.
5. Merkel F. // V.D.I. Zeitschrift. – 1926. – № 4. – P. 123.
6. Simpson W. M., Sherwood T. K. // Refrigerating Engineering. – 1946. – December. – V. 52. – P. 50–58.
7. Берман Д. Д. Испарительные охлаждения циркуляционной воды / Д. Д. Берман. – М., 1957. – 320 с.
8. Морозов В. А. Охлаждение воды в градирнях бризкального типа / В. А. Морозов, В. В. Гончаров // Изв. ВНИИТ им. Б. Е. Веденеева. – 1970. – Т. 92. – С. 274–288.
9. Братута Э. Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях/ Э. Г. Братута. – Харьков: – Вища школа, 1987. – 144 с.
10. Терехов В. И. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокотельных потоках / В. И. Терехов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 284 с.
11. Раушенбах Б. В. Физические основы рабочего процесса в камерах воздушно-реактивных двигателей/ В. Б. Раушенбах, С. А. Белый, И. В. Беслелов и др. // Изд-во «Машиностроение», М.:1964. – 526
12. Гельфанд Р. Е. Метод теплового расчета брызгальных установок с использованием числа испарения / Р. Е. Гельфанд // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. –1980.

References:

1. Bratuta Э. Н. Vliyanye temperatury okhlazhdeniya vody na efektyvnost kholodylnoi ustanovky/ Э. Н. Bratuta, Y. V. Smorodskaya// Intehrovani tekhnolohii i enerhozberezhennia. –2000. – № 2. – S. 3–6.
2. Bratuta Э. Н. Vliyanye temperatury okhlazhdeniya vody na teploienerhetycheskye kharakterystyky pry kompremyrovanyu hazov v kholodylnoi tekhnike. / Э. Н. Bratuta, V. H. Sherstiuk// Intehrovani tekhnolohii i enerhozberezhennia. – 2006. – № 2. – S. 84–88.
3. Hladkov V. A. Ventyliatornye hradyrny/ V. A. Hladkov, Yu. Y. Arefev, V. S. Ponomarenko //– M. Stroiizdat, 1976, – 216 s.
4. Giebel C. // Verein deutscher Ingenieure – 1921. V. 242. – P. 1–98.
5. Merkel F. // V.D.I. Zeitschrift. – 1926. – № 4. – P. 123.
6. Simpson W. M., Sherwood T. K. // Refrigerating Engineering. – 1946. – December. – V. 52. – P. 50–58.
7. Berman D. D. Ysparytelnye okhlazhdeniya tsyrkulyatsyonnoi vody / D. D. Berman. – М., 1957. – 320 s.
8. Morozov V. A. Okhlazhdenye vody v hradyrniakh bryzghalnoho typu / V. A. Morozov, V. V. Honcharov // Yzv. VNIIT im. B. E. Vedeneeva. – 1970. – T. 92. – S. 274–288.
9. Bratuta Э. Н. Dyagnostyka kapelnykh potokov pry vneshnykh vozdeistviyakh/ Э. Н. Bratuta. – Kharkov: – Vyshcha shkola, 1987. – 144 s.
10. Terekhov V. Y. Teplomassoperenos y hydrodynamyka v hazokotelnykh potokakh / V. Y. Terekhov. – Novosybyrsk: Yzd-vo NHTU, 2009. – 284 s.
11. Raushenbakh B. V. Fyzycheskye osnovy rabocheho protsessa v kamerakh vozdushno-reaktyvnykh dvyhatelyi/ V. B. Raushenbakh, S. A. Belyi, Y. V. Beslelov y dr. // Yzd-vo «Mashynostroeny», M.:1964. – 526
12. Helfand R. E. Metod teplovoho rascheta bryzghalnykh ustanovok s yspolzovanyem chysla ysparenyia / R. E. Helfand // Yzv. VNIIG im. B. E. Vedeneeva. –1980.

Прийнято до друку 15.11. 2019 р.