

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ

На прерах рукопису

Борцов Віталій Анатолійович

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВИХ
СОСЕЛ БРИЗКАЛЬНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖУВАННЯ

Спеціальність 05.14.05 – теоретичні основи теплотехніки

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

В.Борцов

Херків 1994

AB 29.7.94

Дисертацією в рукописі.

Робота виконана на кафедрі "Будівельна механіка і гідравліка" Харківського інституту інженерів залізничного транспорту.

Науковий керівник

- доктор технічних наук,
професор Ярхо Олександр
Абрамович

Офіційні опоненти

- доктор технічних наук,
професор Братута Едуард
Георгійович
- кандидат технічних наук
Бершова Ірина Вікторівна

Провідна організація

- Харківський державний науково-
дослідний і проектно-
конструкторський інститут
"Енергопроект" (Державний
комітет України по використанню
ядерної енергії, м. Харків)

Захист відбудеться "02" 06 1994 р. о 14 год. в аудиторії XI поверху на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 016.22.01 при Інституті проблем машинобудування НАН України (310046, Харків, вул. Д.Пожарського, 2/10).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту проблем машинобудування НАН України за адресою: 310046, Харків, вул. Д.Пожарського, 2/10.

Автореферат розісланий "25" 04 1994 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук,
професор

В.А. Маляренко
В.А. Маляренко

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаника

00810390 (L)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. На багатьох енергетичних об'єктах, таких як ТЕС чи АЕС, а також енергоємних виробництвах використовуються системи охолодження води з безпосереднім відведенням теплоти до навколишнього середовища. Як основний або додатковий охолоджувач систем технічного водопостачання таких об'єктів часто застосовують бризкальні системи охолодження. Це зумовлено тим, що бризкальні системи охолодження порівняно прості та надійні в експлуатації. До того ж, їх спорудження не потребує надто великих капітальних витрат.

Основним елементом бризкальних систем охолодження є розбризкуючий пристрій. Як показала багаторічна практика, щодо ефективності тепловіддачі факела розбризкування в навколишнє середовище найкращими з розбризкуючих пристроїв є відцентрові сопла, які отримали в зв'язку з цим найбільше поширення.

До останнього часу геометричні параметри відцентрових сопел і відповідні їм гідротермічні характеристики визначались на основі результатів окремих натурних випробувань, які нерідко носили випадковий характер. У зв'язку з цим вибір відцентрового сопла з прийнятними для конкретної бризкальної системи охолодження гідротермічними характеристиками вимагав значних витрат часу та матеріальної спромоги.

Робота виконувалась відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського інституту інженерів залізничного транспорту на кафедрі "Будівельна механіка і гідравліка" з 1983 р. по 1993 р. у межах госпдоговірної тематики з Харківським інститутом "Енергопроект": "Дослідження великих бризкальних каналів-охолоджувачів з розробкою розбризкуючих пристроїв (сопел) нового типу" (№ ДР 01830055138); "Дослідні роботи по впровадженню приточного агрегату в режимі нагрівання та охолодження води на бризкальних басейнах з соплами (розробка та гідротермічні дослідження нових типів сопел)" (№ ДР 01840049169); "Гідротермічні дослідження розбризкуючих пристроїв" (№ ДР 01860082217); "Дослідити та розробити техдокументацію крупних бризкальних басейнів великої продуктивності систем охолодження ТЕС і АЕС (натурні дослідження ефективності охолодження води в крупних бризкальних басейнах, розробка методики розрахунку та проектування відцент-

рових сопел)" (№ ДР 01880022846).

Мета роботи полягає в розробці розрахункових інженерних методів визначення геометричних параметрів і гідротермічних характеристик відцентрових сопел бризкальних систем охолодження, а також методик розв'язання різних типів задач, що зустрічаються в інженерній практиці під час вибору відцентрових сопел як розбризкуючих пристроїв таких систем.

Методика дослідження ґрунтувалась на теоретичних положеннях теплофізики та гідромеханіки, використанні методів математичної статистики й обчислювальної математики, а також на методах проведення гідравлічного та теплотехнічного експерименту.

Наукова новизна. Встановлено функціональний зв'язок між геометричними параметрами відцентрових сопел, напорами перед ними та їх гідротермічними характеристиками. Одержано узагальнену функцію охолоджувальної здатності відцентрових сопел бризкальних систем охолодження. Встановлено існування відцентрових сопел, що мають найбільшу продуктивність при заданих напорах та ефективностях охолодження води, - оптимальних відцентрових сопел. Зазначені умови перерахунку гідротермічних характеристик модельних сопел на натуру. Встановлено можливість одержання теплових характеристик відцентрових сопел розрахунковим шляхом.

Обґрунтованість і вірогідність результатів дослідження підтверджуються достатньо добрим погодженням розрахункових та експериментальних характеристик відцентрових сопел, одержаних за даними дослідів автора та інших дослідників.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблені розрахункові методи визначення геометричних параметрів і гідротермічних характеристик відцентрових сопел бризкальних систем охолодження дають можливість проектувальнику бризкальної системи без проведення відповідних експериментальних досліджень прийняти обґрунтоване рішення щодо використання відцентрових сопел, які забезпечують ефективне охолодження води, що розбризкується. Запропоновані методи розрахунку можуть бути використані при проектуванні бризкальних охолоджувачів як ТЕС чи АЕС, так й інших енергоємних виробництв.

Реалізація роботи. Метод визначення параметрів відцентрових сопел для охолодження води і напорів перед ними, що забезпечу-

ють потрібні умови охолодження води, а також відцентрове сопло з параметрами, які визначаються в залежності від наявного напору та захищені авторським свідоцтвом [6], використані Харківським інститутом "Енергопроект" під час підготування проектної документації систем охолодження Запорізької, Південно-Української та ряду інших АЕС в період з 1986 р. по 1991 р. Запропонований метод розрахунку конструктивних параметрів відцентрових бризкувальних пристроїв тангенціального типу (відцентрових сопел) і методи розрахунку гідравлічної та теплової (термічної) характеристик цих пристроїв ввійшли як складова частина до першої редакції відомчих будівельних норм України ДНД 341.001.000 "Проектування бризкальних охолоджувачів систем технічного водопостачання теплових електростанцій" (Міненерго України, м. Київ, 1994 р.).

Апробація роботи. Основні результати цього дослідження доповідались та обговорювались на таких науково-технічних нарадах: "Гідроаеротермічні дослідження та проектування охолоджувачів ТЕС і АЕС" (м. Нарва, ЕРСР, 1984 р.), "Основні напрями удосконалення досліджень та проектування енергетичних об'єктів (ТЕС і АЕС)" (м. Нарва, Естонія, 1991 р.); - на 7-му міжнародному симпозиумі МАГД по градирнях і бризкальних басейнах (м. Ленінград, СРСР, 1990 р.) та щорічних науково-технічних конференціях кафедр Харківського інституту інженерів залізничного транспорту (1983 - 1993 рр.).

Публікації та особистий внесок автора. Основні результати досліджень наведені в 11 публікаціях. Результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором під керівництвом О.А. Ярхо, який є одним із співавторів вказаних публікацій. Особисто автором встановлено функціональний зв'язок між геометричними параметрами відцентрових сопел, напорами між ними та числом випарування [3]; розроблено методики проведення та обробки даних натурних експериментальних досліджень серії відцентрових сопел [1] і проведено натурні експерименти [2]; одержано узагальнену функцію охолоджувальної здатності відцентрових сопел бризкальних систем охолодження [11]; встановлено значення безрозмірної геометричної характеристики оптимальних відцентрових сопел [3]; встановлено вирази, що дозволяють робити перерахунок

гідротермічних характеристик модельного сопла на натуру [4]; запропоновано методики визначення геометричних параметрів відцентрових сопел бризкальних систем охолодження води та їх теплових характеристик розрахунковим шляхом [5-10].

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновку та списку використаних джерел із 95 найменувань. Обсяг роботи - 148 сторінок, у тому числі 28 рисунків і 4 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведено аналітичний огляд робіт, присвячених методам оцінки ефективності охолодження води в бризкальних системах, а також методам визначення основних параметрів і гідротермічних характеристик відцентрових сопел, що використовуються як розбризкувачі пристроїв таких систем.

Істотні результати в дослідженні та застосуванні відцентрових сопел (форсунок) як розбризкувачів пристроїв бризкальних систем охолодження, а також і в інших технологічних процесах, що потребують диспергування рідини (наприклад: палива в камерах згоряння двигунів або в топкових апаратах; рідини та пульпи в хімічній промисловості; води в зрошувальних установках і т. ін.), отримали Л.Д. Берман, А.Г. Блох, В.С. Боровков, Е.Г. Братута, С. Вейнбаум, Л.О. Вітман, М.С. Волинський, Є.О. Гаєв, В.С. Галустов, Р.Є. Гельфанд, Л.Г. Головков, В.В. Гончаров, О.І. Денисенко, М. Джайн, Л. Джіджі, Ю.Ф. Дитякін, О.П. Ісаєв, Б.Д. Кацнельсон, О.В. Кікіш, Є.С. Кічкіна, Л.О. Клячко, Б.І. Леончик, М.В. Ликов, О.С. Лишевський, Ф.Г. Майреновський, О.О. Меркулов, Н. Муссіопулос, Б.В. Новиков, І.І. Новиков, М.П. Омельченко, Д.Г. Пажі, С. Палашевський, І.І. Палєєв, О.М. Попов, Р. Портер, А.М. Прахов, А.В. Савчукова, П.Г. Саяпін, М.М. Терентьев, Г. Трезек, Г. Трьош, В.С. Фарфоровський, В.В. Фарфоровський, Ю.І. Хавкін, С. Чатурведі, К. Чен, В. Шрок, Г. Ернст, В.І. Ягодкін, О.А. Ярхо та інші.

Геометричні параметри відцентрових сопел, які використовують в різних технологічних процесах, визначають в залежності від потрібних властивостей дисперсного середовища, що продукується цими соплами. Внаслідок цього різними є вихідні передумови, гру-

нтуючись на яких розробляють методи визначення основних геометричних параметрів відцентрових сопел. Основною в теорії відцентрового сопла (відцентрової форсунки) незалежно від галузі його (її) використання є робота Г.Н. Абрамовича.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що до останнього часу не існувало розрахункового методу визначення геометричних параметрів відцентрових сопел, що забезпечують задану ефективність охолодження води в бризкальному охолоджувачі. Були відсутні також обґрунтовані рекомендації щодо вибору геометричних параметрів сопла, які б забезпечили оптимальні гідротермічні характеристики відцентрових сопел бризкальної системи охолодження. Крім того, був відсутнім розрахунковий метод одержання гідротермічних характеристик відцентрових сопел бризкальних систем охолодження за відомими геометричними параметрами сопла.

Виходячи з цього, предметом даного дослідження є розробка розрахункового методу розв'язання таких задач:

1) визначення геометричних параметрів відцентрового сопла бризкальної системи охолодження води за наявним напором перед ним і заданою ефективністю охолодження води, що розбризкується;

2) визначення необхідного напору, який забезпечує задану ефективність охолодження води, що розбризкується, при заданих геометричних параметрах відцентрового сопла;

3) визначення ефективності охолодження води, що розбризкується, при заданих геометричних параметрах сопла та напорі перед ним.

Другий розділ присвячено: встановленню функціонального зв'язку між геометричними параметрами відцентрових сопел бризкальних систем охолодження води, напорами перед ними та їх гідротермічними характеристиками; обґрунтуванню методики перерахунку гідротермічних характеристик модельних відцентрових сопел на натуру; встановленню значень геометричних параметрів оптимальних відцентрових сопел бризкальних систем охолодження.

Із-за складності процесу випарного охолодження води, що розбризкується відцентровим соплом, та неможливості явно врахувати всі фактори, які зумовлюють його протікання, використано феноменологічний підхід до розгляду вказаного процесу.

Виходячи з рівняння балансу теплоти маси води, що розбриз-

кується відцентровим соплом, в роботі отримано умову, яка характеризує однакову охолоджувальну здатність різних сопел:

$$\frac{d_g}{\bar{\tau}} = \text{const}, \quad (1)$$

де, як показано в дисертації, значення постійної в правій частині визначається величиною числа випарування K ; d_g - середній об'ємно-поверхневий ("еквівалентний") діаметр крапель за Сотером, м; $\bar{\tau}$ - середній час перебування крапель в польоті, с.

Якщо є відомим закон розподілу крапель за діаметром у факелі розбризкування відцентрового сопла, середній об'ємно-поверхневий діаметр крапель і середній час перебування крапель в польоті, які входять до виразу (1), визначаються як

$$d_g = \frac{\int_0^{\infty} f(D) D^3 dD}{\int_0^{\infty} f(D) D^2 dD}; \quad (2)$$

$$\bar{\tau} = \frac{\int_0^{\infty} f(D) \tau(D) D^2 dD}{\int_0^{\infty} f(D) D^2 dD}, \quad (3)$$

де D - діаметр крапель, м; $f(D)$ - функція густини імовірності розподілу крапель по діаметру, м^{-1} ; $\tau(D)$ - час польоту краплі діаметром D , с.

Як оцінку середнього часу перебування крапель в польоті було прийнято час польоту крапель, знайдений за відомою з механіки формулою, яка не враховує опір повітря:

$$\bar{\tau} = 2V_0/g, \quad (4)$$

де V_0 - осьова складова швидкості на виході з сопла, м/с; g - прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Середній діаметр крапель згідно з узагальненням дослідних даних визначається за формулою

$$d_g = C_1 \sqrt[3]{\frac{d_0^2}{AH}}, \quad (5)$$

де C_1 - деяка розмірна стала, $\text{м}^{2/3}$; d_0 - діаметр вихідного отвору сопла, м; H - надлишковий напір перед соплом, м вод. ст.; A - безрозмірна геометрична характеристика відцентрового сопла.

Виходячи з виразу для осьової складової швидкості на виході з сопла V_0 , згідно з теорією відцентрового сопла, запропонованою

Г.Н. Абрамовичем, а також виразів (4) і (5), умову (1) наведено у вигляді функціонального зв'язку між геометричними параметрами відцентрових сопел бризкальних систем охолодження води, напорами перед ними та числом випарування:

$$\frac{d^{2/3}}{H^{5/6}} F(A) = C(K) ; \quad (6)$$

$$F(A) = \frac{1}{A^{1/3}} \left(1 + \frac{A^2 \epsilon^2}{1 - \epsilon} \right)^{1/2} ; \quad (7)$$

$$A = \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \sqrt{\frac{2}{\epsilon}} ; \quad (8)$$

$$A = \frac{\pi R r_0}{m r_{BX}} \sin \beta , \quad (9)$$

де $C(K)$ - функція числа випарування K , яку слід розглядати як сталу для відцентрових сопел однакової ефективності ($K = \text{const}$) охолодження води, що розбризкується, $m^{-1/6}$; ϵ - коефіцієнт заповнення вихідного отвору сопла; R - відстань від осі сопла до осі вхідного патрубка, м; r_0 - радіус вихідного отвору сопла, м; r_{BX} - площа перерізу вхідного патрубка, нормального до його осі, m^2 ; m - число вхідних патрубків; β - кут між осями вхідного патрубка та сопла.

Співвідношення (6) було використане як теоретичн. обґрунтування для моделювання теплових характеристик відцентрових сопел.

Підставою для моделювання гідравлічних характеристик відцентрових сопел бризкальних систем охолодження став експериментально підтверджений цим дослідженням факт наявності автомодельності по числах Рейнольдса витікання води із зазначених сопел. При цьому виявилось правомірним вважати, що

$$\frac{\mu}{\mu_T} = \text{idem} , \quad (10)$$

де μ і μ_T - дійсний і теоретичний коефіцієнти витрат одного й того ж відцентрового сопла.

Гідравлічна характеристика відцентрового сопла - залежність об'ємної витрати від напору перед соплом $Q = f(H)$ - була зображена відомим виразом:

$$Q = \mu \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gH} \quad (11)$$

Використовуючи відому формулу для визначення теоретичного коефіцієнту витрат відцентрового сопла

$$\mu_T = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\epsilon^2} + \frac{A^2}{1-\epsilon}}} \quad (12)$$

співвідношення (10) і вираз (11), можна одержати гідравлічну характеристику нового сопла по гідравлічній характеристиці модельного сопла.

Із співвідношень (6), (10) і (11) випливає, що при заданих напорі H та ефективності охолодження води, що розбризкується соплом, (числі випарування K) існує лише одне відцентрове сопло найбільшої продуктивності, назване оптимальним. Таке сопло повинно мати значення безрозмірної геометричної характеристики $A_{\text{опт}} = 0,630$ для будь-яких H і K . При цьому діаметр вихідного отвору оптимального сопла обчислюється за формулою:

$$d_0 = 0,520 \sqrt{C^3(K)} H^{5/4} \quad (13)$$

де d_0 в м, а H в м вод. ст.

У третьому розділі описані гідротермічні дослідження різних відцентрових сопел, мета яких полягала в експериментальному визначенні їх гідравлічних і теплових характеристик; наведені описи досліджених відцентрових сопел, стендів для їх гідравлічних і теплових випробувань, методик проведення експериментів й опрацювання дослідних даних.

Геометричні параметри досліджених відцентрових сопел склали таку їх топологію:

$$\begin{aligned} d_0 &= 25 + 200 \text{ мм} ; A = 0,4 + 6,4 ; \\ C_c &= 1,14 + 1,84 ; B = 1,88 + 8,15 ; \end{aligned} \quad (14)$$

де C_c - величина, що характеризує ступінь розкриття сопла; B - величина, що характеризує ступінь деформації струменя, який виходить з вхідного патрубку до камери закручування сопла.

Діапазон чисел Рейнольдса, визначених за витратними швидкостями витікання із сопел, становив $Re = 75000 + 735000$.

В результаті опрацювання даних гідравлічних випробувань відцентрових сопел топології (14) встановлено, що для всіх заз-

начених сопел має місце таке співвідношення між дійсним та теоретичним коефіцієнтами витрат одного й того ж сопла:

$$\mu = (0,829 \pm 0,021)\mu_T . \quad (15)$$

В результаті опрацювання даних теплових випробувань зазначених сопел були одержані залежності числа випарування K від швидкості вітру W та напору H перед соплом. Дослідні залежності числа випарування від швидкості вітру при фіксованому напорі перед соплом ($H = \text{const}$) були встановлені ґрунтуючись на регресійному аналізі.

На рис. 1, як приклад, наведені такі залежності для випробуваного оптимального сопла ЦО-85 ($A=0,63$; $d_0=85$ мм).

Була встановлена узагальнена функція охолоджувальної здатності відцентрових сопел топології (14) - $C(K)$ у виразі (6). Функція регресії $C(K)$ відтворювалась по об'єднаній вибірці пар значень $(K_1, C(K_1))$, визначених відповідно до виразів (6)-(9) за характерними для штилю ($W=0$) дослідними тепловими характеристиками $K=f(H)$ випробуваних сопел (крім сопла ЦО-85), апроксимованих лінійними функціями. Вибірка $(K_1, C(K_1))$, що відповідає зазначеному вище соплу ЦО-85 й отримана після його перевірних випробувань, під час відтворювання функції регресії $C(K)$ використовувалась як контрольна для оцінки якості цієї функції.

Встановлено, що узагальнену функцію охолоджувальної здатності відцентрових сопел топології (14), яка в відображенні чисел випарування, що відповідають найгіршим умовам охолодження води (штилю), достатньо добре описує вираз:

$$C(K) = 0,0503 / \sqrt{K} - 0,0381 . \quad (16)$$

В четвертому розділі проведено пряме зіставлення розрахункових теплових характеристик відцентрових сопел з отриманими за дослідними даними числами випарування, які являють собою дослідні теплові характеристики в штильових умовах випробуваних відцентрових сопел.

Для штильових умов охолодження води, що розбризкується відцентровим соплом, розрахункова теплова характеристика сопла з відомими геометричними параметрами зображена такою залежністю:

$$K = \left[0,0503 / \left(\frac{d_0^{2/3} F(A)}{H^{5/6}} + 0,0381 \right) \right]^2 \quad (17)$$

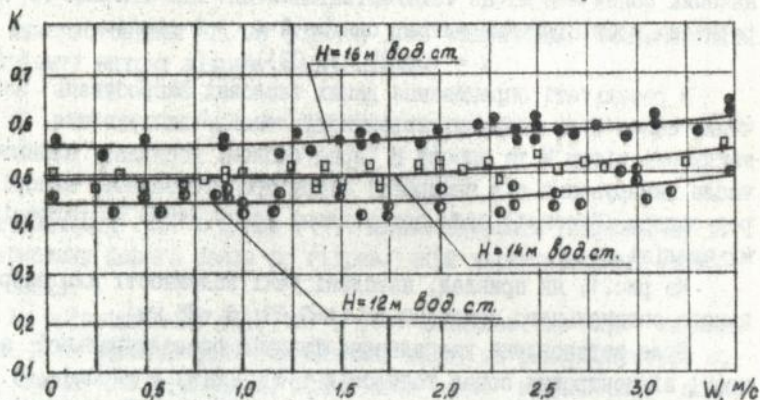


Рис. 1. Залежність числа випарування від швидкості вітру для сопла ЦО-85 при різних напорах

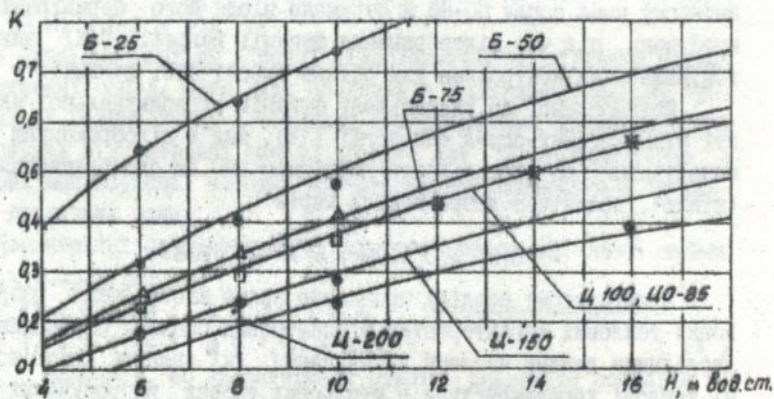


Рис. 2. Розрахункові теплові характеристики відцентрових сопел для штільових умов та дослідні точки:

- - сопло Б-25; ● - сопло Б-50; ▲ - сопло Б-75;
- - сопло Ц-100; ● - сопло Ц-150; ● - сопло Ц-200;
- * - сопло ЦО-85.

(тут діаметр вихідного отвору сопла d_0 - в м, надлишковий напір перед соплом H - в м вод. ст.).

На рис. 2 наведені розрахункові теплові характеристики досліджених відцентрових сопел, зображені виразом (17). Там же наведені точки дослідних характеристик цих сопел.

Відносні нев'язки розрахункових та дослідних значень числа випарування при одних і тих же напорах не перевищують $\pm 6\%$, тобто перебувають у межах похибок експерименту.

В п'ятому розділі описані розрахункові інженерні методи розв'язання трьох типів задач, сформульованих у першому розділі, що можуть зустрітися при виборі відцентрових сопел, які використовуються в бризкальних системах охолодження. Крім того, наведено розрахунковий метод визначення теплових характеристик відцентрових сопел за їх дослідними гідравлічними характеристиками. Розглянуто також вплив на гідротермічні характеристики оптимальних відцентрових сопел відхилень їх геометричних параметрів від розрахункових значень, зумовлених неточностями при виготованні сопел.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ВИСНОВКИ:

1. Грунтуючись на феноменологічному підході щодо розгляду охолодження води, яка розбризкується відцентровим соплом, отримано співвідношення, що встановлює зв'язок між геометричними параметрами відцентрових сопел бризкальних систем охолодження, напорами перед ними та їх тепловими характеристиками.

2. Проведені натурні експериментальні дослідження різних відцентрових сопел та одержані їх гідротермічні характеристики, грунтуючись на яких встановлені узагальнена функція охолоджувальної здатності та взаємозв'язок між дійсним і теоретичним коефіцієнтами витрат відцентрових сопел бризкальних систем охолодження.

3. Здійснено зіставлення розрахункових теплових характеристик відцентрових сопел, одержаних з використанням узагальненої функції охолоджувальної здатності, й експериментальних даних, що показало правмірність прийнятих положень цього дослідження.

4. Встановлений взаємозв'язок між геометричними параметрами відцентрових сопел та їх гідротермічними характеристиками вико-

ристано як теоретичне обґрунтування моделювання гідротермічних характеристик відцентрових сопел бризкальних систем охолодження. Зазначено методику одержання розрахункових гідротермічних характеристик нового сопла за дослідними гідротермічними характеристиками модельного сопла.

5. Встановлено існування оптимальних відцентрових сопел (сопел найбільшої продуктивності при заданих напорі й ефективності охолодження води, що розбризкується) і показано, що такі сопла повинні мати безрозмірну геометричну характеристику $A_{\text{опт}} = 0,63$.

6. Розроблені розрахункові інженерні методи розв'язання трьох типів задач, що можуть зустрінутись під час вибору відцентрових сопел як розбризкуючих пристроїв бризкальних систем охолодження води:

1) визначення геометричних параметрів відцентрового сопла заданої ефективності охолодження води, що розбризкується, за наявним напором;

2) визначення необхідного напору перед соплом, який забезпечує задану ефективність охолодження води, що розбризкується, при заданих геометричних параметрах відцентрового сопла;

3) визначення ефективності охолодження води, що розбризкується, при заданих геометричних параметрах сопла та напорі перед ним.

7. Запропоновано одержання теплової характеристики відцентрового сопла, ґрунтуючись на результатах проведених гідравлічних випробувань цього сопла без проведення його теплових випробувань.

8. Здійснено оцінку впливу відхилень геометричних параметрів неточно виготованого оптимального відцентрового сопла від розрахункових на його гідротермічні характеристики. Встановлено, що невеликі відхилення розмірів сопла від розрахункових, які зумовлені технологією його виготовання, не впливають помітно на гідротермічні характеристики сопла.

Основний зміст дисертаційної роботи викладено в таких публікаціях:

1. Ярхо А.А., Борцев В.А., Глушков Ю.А. Методика определения геометрических параметров центробежных сопел заданной эффек-

тивности охлаждения и различной производительности // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Гидроаэротермические исследования и проектирование охладителей тепловых и атомных электростанций / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - С.189-191.

2. Ярхо А.А., Омельченко М.П., Борщев В.А. Определение напоров и геометрических параметров центробежных сопел // Электр. станции. - 1987. - № 7. - С.30-33.

3. Ярхо А.А., Омельченко М.П., Борщев В.А. Оптимальное центробежное сопло // Электр. станции. - 1990. - № 2. - С.24-27.

4. Yarkho A.A.; Omelchenko M.P., Borshchev V.A. Modelling of Hydrothermal Characteristics of Centrifugal Nozzles // Proc. of 7-th Cooling Towers and Spraying Ponds Symposium (IAHR). - Leningrad, USSR, 1990. - P. F3-1 + F3-8.

5. Ярхо А.А., Омельченко М.П., Борщев В.А. Определение диаметра центробежного сопла заданной эффективности охлаждения по располагаемому напору // Электр. станции. - 1991. - № 2. - С.36-37.

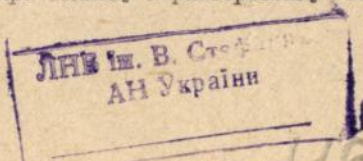
6. Борщев В.А., Глушков Ю.А., Мирошниченко В.А., Омельченко М.П., Ярхо А.А. А. с. 1694233 (СССР). Центробежная форсунка для разбрызгивания воды. - Оpubл. в Б. И., 1991, № 44.

7. Ярхо А.А., Омельченко М.П., Борщев В.А. По поводу статьи А.М. Попова "Анализ работы центробежных сопел, разработанных Харьковским институтом инженеров железнодорожного транспорта" // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. - 1991. - Т. 224. - С.125-127.

8. Ярхо А.А., Омельченко М.П., Борщев В.А. Методика определения геометрических параметров центробежных сопел брызгальных бассейнов-охладителей // Тез. докл. 53-й научно-технической конференции кафедр института и специалистов железнодорожного транспорта (19-21 ноября 1991 г.). - Харьков, ХИИТ, 1991. - С.52-53.

9. Ярхо А.А., Борщев В.А., Омельченко М.П. Проектирование центробежных сопел на заданное число испарения // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Основные направления совершенствования исследований и проектирования энергетических объектов (ТЭС и АЭС) / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. - 1992. - С.130-133.

10. Ярхо О.А., Борщев В.А. Про теплову характеристику від-



АВ 29.720

центрових сопел // Тези доповідей 55-ї науково-технічної конференції кафедр інституту та спеціалістів залізничного транспорту (23-25 листопада 1993 року). - Харків, ХІІТ, 1993. - С.41.

11. Ярко О.А., Борщов В.А. Узагальнена функція числа випарування // Тези доповідей 55-ї науково-технічної конференції кафедр інституту та спеціалістів залізничного транспорту (23-25 листопада 1993 року). - Харків, ХІІТ, 1993. - С.42.

АВ 29.720

Відповідальний за випуск к.т.н. Шехватов О.О.

Підп. до друку 20.04.94. Формат 60x90 1/16. Папір друк. № 1.
Ум.друк.арк.1. Обл.-вид.арк. 0,96. Тираж 100 пр. Зам № 2190

Ротапринт Інституту проблем машинобудування НАН України.
310046, Харків - 46, вул. Пожарського, 2/10.