

4. **Кремнев О.А., Духненко Н.Т.** Теплоотдача цилиндрических тел малых размеров в поперечном потоке воздуха. Докл. АН УССР, 1959, № 12, с. 1316 – 1321.
5. **Михеев М.А.** Основы теплопередачи. – М.: Госэнергоиздат, 1956. - 392 с.

УДК 697.2+536.25

**Е.С. Малкін**, доктор технічних наук, професор

**А.В. Тимощенко**, аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури

Інститут технічної теплофізики національної академії наук України

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУХУ І ТЕПЛООБМІНУ РІДИНИ І НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ В КІЛЬЦЕВИХ МІКРОКАНАЛАХ**

*У статті запропоновано опис експериментального стенду і методики проведення експерименту для дослідження процесів руху і теплообміну рідини різного ступеня перегрівання та насиченої водяної пари у кільцевому мікроканалі.*

У системах теплопостачання широко використовуються різноманітні пристрої, запірно-дросельні елементи яких виконані у вигляді пари клапан-сідло. Досвід багаторічної експлуатації пристроїв з подібними елементами вказує на недолік, пов'язаний із неможливістю плавного регулювання параметрів середовища. Частково це враховується конструкціями, у яких контакт пари клапан-сідло відбувається по конічній поверхні. У ряді праць, опублікованих російським журналом "Промышленная энергетика" [10]–[12], та у працях ІТТФ НАН України [13] запропоновано використовувати як запірно-дросельний елемент поршневу пару. Робочим простором такого елемента є кільцевий канал, утворений між поверхнями неуцільненої поршневої пари. Такі елементи дають змогу виконувати плавне регулювання параметрів середовища в широких діапазонах, забезпечуючи роботу поршневої пари в умовах гідродинамічної рівноваги.

Аналіз наявних літературних джерел свідчить про відсутність даних по режимах руху потоку, розподілу полів швидкостей і дотичних напруг у перетині, коефіцієнтів тепловіддачі в потоці теплоносія, який протікає у кільцевих мікроканалах шириною  $0,05 \div 0,5$  мм. У різних галузях техніки [5], [8], [9] для опису режимів руху і теплообміну середовищ у кільцевих каналах використовуються методи і підходи, які застосовуються до аналізу характеристик потоку в трубах. Проте у кільцевих мікроканалах, де розміри каналу сумірні з розмірами прилежого шару, якість і властивості поверхонь починають грати основну роль у формуванні режиму течії і теплообміну в них, тому використання наявного досвіду в цьому разі не достатньо. Тому передбачається провести експериментальне дослідження, щоб одержати необхідні дані, які характеризують стан і поведінку середовища в каналі.

## **Експериментальне дослідження гідродинаміки і теплообміну в кільцевих мікроканалах**

### *1. Завдання досліджень*

Основним завданням експериментальних досліджень є одержання даних по гідравлічних опорах і теплообміну при русі в кільцевому мікроканалі перегрітої рідини і пари, виявленню можливих кризових явищ при русі перегрітої води в каналі, а також вивчення впливу незмочуваності поверхонь каналу на гідродинамічну і теплову характеристики потоку теплоносія.

Вирішення поставлених питань виконується на експериментальному стенді. У процесі проведення експерименту передбачається одержати наступні характеристики потоку: 1) динамічні – зміна статичного (повного) тиску потоку по довжині каналу; 2) теплові – зміна температури теплоносія по довжині каналу; 3) витратні – витрати теплоносія при відомих геометричних розмірах каналу.

## 2. Лабораторна установка і методика проведення експерименту

Дослідження гідродинамічних і теплових характеристик потоку в кільцевому мікроканалі здійснюються на експериментальній установці, структурну схему якої зображено на рис. 1.

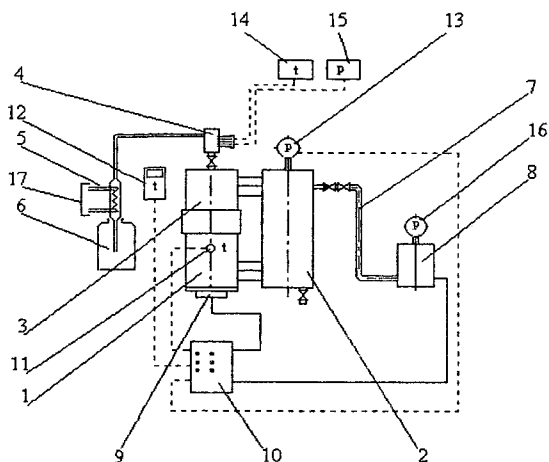


Рис.1. Структурна схема лабораторної установки для дослідження гідродинамічних і теплових характеристик потоку теплоносія в кільцевих мікроканалах:

- |   |   |
|---|---|
| 1 – теплогенератор;                               | 10 – пульт керування;   |
| 2 – ресивер;                                      | 11 – датчик температури (ТСМ),<br>гр. 21;   |
| 3 – парозбірник;                                  | 12 – регулюючий міст КСМ - 2;   |
| 4 – робоча ділянка;                               | 13 – електроконтактний манометр<br>(ЭКМ);   |
| 5 – конденсатор;                                  | 14 – мілівольтметр Ц 7-40/8;  |
| 6 – ємність збору конденсату;                     | 15 – комплекс вимірювання тиску<br>(надлишкового, перепаду по<br>довжині каналу); |
| 7 – магістраль стисненого повітря з<br>арматурою; | 16 – компресор з манометром (МТИ);  |
| 8 – компресор з манометром (МТИ);                 | 17 – контур охолодження теплоносія.   |
| 9 – трубчасті електронагрівачі;                   |   |

Робоча ділянка (4) – це вертикальний кільцевий канал, утворений між поршнем, концентрично розташованим у патрубку, співвісне розташування поверхонь досягається шляхом конічної посадки. Зміна ширини, довжини, якості і властивості поверхні кільцевого каналу, що моделюють реальні

умови роботи, відбувається шляхом заміни поршня в патрубку. При визначенні характеристик потоку теплоносія між поверхнями, що змочуються, користуються поршнем, який виготовлено зі сталі (12X18H10T) або латуні (Л63). При розгляді руху потоку, обмеженого незмочуваними поверхнями, виконується: а) змінний поршень виготовляється з матеріалу, поверхня якого не змочується рідиною (фторопласт-4, фторопласт-40); б) на існуючі поверхні, що змочуються, наноситься шар,  $\delta = 0,001$  мм, що забезпечує незмочуваність поверхні (шар одержують шляхом напилювання фторопласту-4 на поверхню металу). Розміри досліджуваних каналів визначаються аналітично, на основі дійсних розмірів елементів, що утворюють канал (зовнішній діаметр поршня  $D_1$ , внутрішній діаметр патрубка  $D_2$ , висота поршня  $L$ ), концентричність розташування поршня в патрубку визначається візуально, а також за допомогою дротового щупа. Розміри елементів, визначені при температурі  $t=20$  °С (гранична помилка вимірів  $\Delta_r = 0,005$  мм), такі:

ширина каналу,  $\delta$ ,  $0,05 \div 0,2$  мм, крок 0,05 мм;

довжина каналу,  $L$ ,  $5 \div 20$  мм, крок 5 мм;

більший діаметр каналу,  $D_2$ ,  $15 \div 55$  мм, крок 10 мм.

Слід зазначити, що розміри каналів беруть більшими на величину температурного розширення матеріалу в робочому діапазоні температур. Шорсткість стінок каналу,  $\Delta$ , приймається рівною табличному значенню відповідного класу механічної обробки поверхонь. Токарській обробці металевих поверхонь відповідає 6-й клас чистоти,  $\Delta = \pm 0,005$  мм.

Зміна статичного тиску в каналі визначається через імпульсні отвори  $\varnothing=1,5$  мм за допомогою диференціального манометра (15), відлік виконується через кожні 3 мм довжини каналу. Робочою рідиною в манометрі є чотирихлористий вуглець ( $CCl_4$ ), відносна щільність  $d_4^{20}=1,5954 \pm 0,01\%$ , який підкрашений суданом. Пружинними зразковими манометрами визначається статичний тиск до і після кільцевого мікроканалу (15). Манометри зразкові підібрані так, щоб відлік припадав на третю чверть шкали приладу [1]. Гарячі спаї хромель-алюмелевих термопар розташовані через кожні 3 мм довжини каналу, до та після нього. Корольки термопар виготовлені діаметром  $0,45 \pm 0,05$  мм. Термопари тарувались у діапазоні температур ( $40 \div 92$  °С) з наступною екстраполяцією величини систематичної

помилки для робочого діапазону ( $120 \div 165$  °C). Різниця термоелектрорушійної сили, що виникає в корольках термопар, фіксується цифровим мілівольтметром В7-40/5 (14), довірчий інтервал, відповідно до паспортних даних, становить 0,001 мВ. Після робочої ділянки теплоносії надходить у конденсатор (5), далі охолоджений теплоносієм подається в ємність збору конденсату (6). Кількість теплоносія, що проходить через канал за період часу визначається ваговим (об'ємним) способом за допомогою мірної ємності, точність відліку приймається рівною половині ціни ділення шкали ємності (0,5 мл).

Як теплоносієм розглядається вода з різноманітним ступенем перегрівання та водяна насичена пара. При проведенні експериментальних досліджень їхні параметри змінюються в таких межах, включно: температура від 100 до 165 °C, надлишковий тиск від  $1,0 \cdot 10^5$  до  $6,0 \cdot 10^5$  Па [6].

У теплогенераторі (1) три секції по 3 кВт автоматично керуються мостом КСМ-2 (12), сигнал на який подається термометром опору (ТСМ) (11), гр. 21, що вимірює температуру води в теплогенераторі. На нагрівач подається стабілізований змінний струм від трансформатора (РНТ). Для створення і підтримки необхідного тиску в теплогенераторі до ресивера (2) підведена магістраль стисненого повітря (7). Тиск у магістралі визначається подачею компресора (8). Компресор працює в автономному режимі, автоматично підтримує необхідний тиск. Контроль тиску середовища в експериментальній установці здійснюється електроконтактним манометром (ЭКМ) (13). У випадку перевищення тиску в установці манометр (ЭКМ) подає сигнал на пульт керування (10), розмикає силові ланцюги, що живлять нагрівальні елементи (9) і електродвигун компресора.

Тарування усіх вимірювальних систем здійснюється до початку і після закінчення кожного експерименту за показниками еталонних приладів.

Експериментальні дослідження складаються із серій дослідів, які виконуються для потоку теплоносія між концентричними циліндричними поверхнями, з варіюванням відстані між ними, довжини, стану поверхонь. При підготовці методики проведення експерименту і створенні основних елементів стенда використовувалися дані, рекомендації, методики, які є в літературних джерелах [1] – [4], [7].

Після досягнення і стабілізації необхідних параметрів ( $p, t$ ) у

теплогенераторі теплоносії надходить до робочої ділянки (4). Прямі багаторазові несинхронні виміри гідродинамічних і теплових характеристик потоку теплоносія, зміна статичного тиску і середньої температури потоку в точці виміру проводяться при його сталому русі, для чого після будь-якого порушення потоку дається час на його відновлення. Сконденсований і охолоджений теплоносії надходить у ємкість для збору конденсату, звідки через визначені проміжки часу відбирається мірною ємкістю. Максимальна тривалість досліду залежить від об'єму установки і потужності нагрівальних елементів і приймається рівною 2 годинам.

Методики планування й обробки результатів експериментальних досліджень, а також отримані величини гідродинамічних, теплових і витратних характеристик потоку будуть подані пізніше.

### Список літератури

1. **Веденяпин Г.В.** Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: "Колос", 1973.
2. **Уорсинг А., Геффнер Дж.** Методы обработки экспериментальных данных /Пер. с англ. Л.А. Шохат, под ред. А.С. Моница. – М.: Изд-во иностр. лит., 1949. – 364 с.
3. **Джонсон Н., Лион Ф.** Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных. – М.: Мир, 1980. – 610 с.
4. **Джонсон Н., Лион Ф.** Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1981. – 516 с.
5. **Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник/** Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др. /Под общ. ред. А.И.Голубева, А.Л.Кондакова. – М.: Машиностроение, 1986. – 464 с.
6. **Ривкин С.Л., Александров А.А.** Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.
7. **Киселёв П.Г.** Справочник по гидравлическим расчётам. Изд. 3-е, перераб. и доп. /Под ред. В.Д. Журина. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 352 с.
8. **Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П.** Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы)/ Под общ. ред. П.Л.Кириллова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.

9. **Липин А.В.** Газодинамический вакуумметр с неуплотнённой поршневой парой //Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации. Научно-технические достижения, 1994. – № 6. – С. 36 – 41.
10. **Новожилов Ю.Н.** Регулирующий клапан для редуционно-охладительной установки (РОУ) //Промышленная энергетика, 1994. – № 8.
11. **Новожилов Ю.Н.** Регулирующий клапан с многоступенчатым дросселированием //Промышленная энергетика. 1997. – № 8.
12. **Новожилов Ю.Н.** Регулирующие клапаны для различных сред //Промышленная энергетика, 1999. – № 3.
13. Заявка № 99063083/7799 от 04.06.1999 г. на патент "Конденсатодвідник", разрешение на выдачу патента от 18.04.2000. Э.С.Малкин, И.Э.Фуртат, А.В.Тимощенко, Г.А.Турос.

УДК 697.326.93

**С.В.Барановська**, кандидат технічних наук

### **ПЕРЕВАГИ КОНТАКТНОЇ КАМЕРИ З РЕГУЛЯРНОЮ ГОФРОВАНОЮ НАСАДКОЮ**

*Наведено порівняння контактних камер з гофрованою регулярною насадкою і кільцями Рашига. За результатами експериментальних даних визначається ентальпійний коефіцієнт теплообміну залежно від масової швидкості повітря і густини зрошування контактної камери з регулярною гофрованою насадкою. Графічно дається залежність аеродинамічного опору контактної камери від заданих параметрів. Вказується швидкість, при якій починається винесення дисперсної вологи з контактної камери.*

У багатьох галузях промисловості застосовуються контактні теплообмінні апарати. Визначальним фактором в роботі таких апаратів є поверхня контакту. Для збільшення поверхні тепло- і масообміну в одиниці об'єму контактної камери використовують гофровані пластини. Розташування гофрів у сусідніх пластинах під кутом 80°...100° один до одного дає змогу забезпечити високий рівень змочування їхніх поверхонь, можливість перетікання рідини з одної сусідньої пластини на іншу, а також значну турбулізацію газового потоку. Поверхнею теплообміну в таких апаратах є плівка рідини, що утворюється на поверхні насадки.