

УДК 536.2

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

*В. Г. Горобець, доктор технічних наук*

*В. І. Троханяк, асистент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Ю.О. Богдан, ст. викладач*

*Київська державна академія водного транспорту*

*ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного*

*e-mail: [vlkt0r\\_t@ukr.net](mailto:vlkt0r_t@ukr.net)*

*Анотація. Розроблено та виготовлено експериментальну установку на основі теплообмінників-рекуператорів нової конструкції з компактним розміщенням пучків труб, у яких як охолоджуючий теплоносіє використовується вода з підземних свердловин. Проведено порівняння результатів чисельного розрахунку математичного моделювання та експериментальних даних з тепловіддачі трубного пучка за допомогою статистичного аналізу.*

*Ключові слова: теплообмінник-рекуператор, експериментальне дослідження, охолодження теплоносія, чисельне моделювання, нова конструкція.*

Для визначення теплового стану трубного пучка теплообмінного апарата необхідно знання температур і коефіцієнтів тепловіддачі на поверхні пучка. Ці результати можна отримати в ході експериментальних досліджень. Однак підготовка експерименту та обробка результатів є досить трудомістким процесом. Другий спосіб – отримати розподіл параметрів для реальної конструкції за допомогою комп'ютерного математичного моделювання. Це моделювання допомагає в ході процесу вдосконалювати конструкцію з метою отримання бажаних результатів.

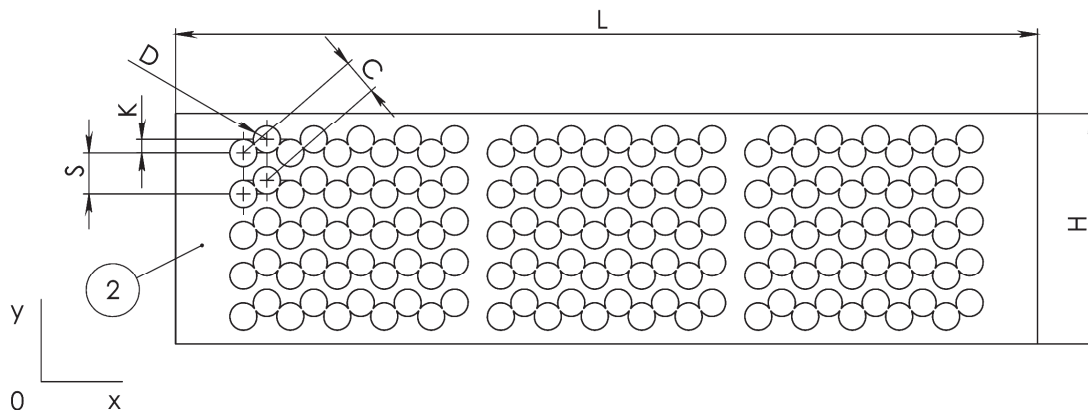
Слід зазначити, що поверхні із шаховим [1] та коридорним розташуванням, які використовуються в кожухотрубних теплообмінниках, призводять до зростання їх маси та габаритів. Одним із шляхів покращення цих характеристик є застосування ребрення та інтенсифікаторів теплообміну на конвективних поверхнях. Разом із тим, використання ребрених поверхонь та інтенсифікаторів суттєво підвищує гідравлічний опір у трактах теплообмінника та вимагає для прокачування теплоносіїв використання насосів і вентиляторів більшої потужності. Перспективним напрямом зниження гідравлічного опору та інтенсифікації теплообміну на конвективних поверхнях теплообмінників є застосування гладких трубних пучків із компактною конфігурацією [2, 3].

Тому розробка нових конструкцій кожухотрубних теплообмінників з компактними трубними пучками є актуальною і потребує свого вирішення.

Мета досліджень – проведення експериментальних досліджень теплообмінного апарата нової конструкції з компактным розміщенням пучків труб та порівняння їх з чисельним математичним моделюванням.

Матеріали та методика досліджень. За допомогою проведення чисельного моделювання переносів тепло- і масопереносу були розраховані локальні гідродинамічні і теплові характеристики теплообмінника-рекуператора за допомогою пакету САПР ANSYS Fluent 14. Проведені розрахунки та загальна концепція комп'ютерно-математично моделювання дали можливість розробити нову установку кожухотрубного рекуперативного теплообмінного апарату зі змінно-дотичним методом розміщення пучка труб.

Розглянемо кожухотрубний теплообмінник із кожухом прямокутного перерізу, в якому розміщено пучки труб компактної конфігурації при поперечному їх обтіканні (рис. 1). У теплообмінному апараті застосовано таке розташування труб, при якому сусідні трубки дотикаються між собою та зміщені одна відносно одної по осі ординат на відстань  $K$ , де  $0 < K < \sqrt{3}D/2$ , а відстань  $C$  відповідає умові  $C \geq D + 5\text{мм}$ . Це обумовлено тим, що технологія виготовлення пучків значно ускладнюється при відстанях між трубами менше 5 мм.



**Рис. 1. Трубна дошка з компактным розташуванням трубок (вигляд зверху)**

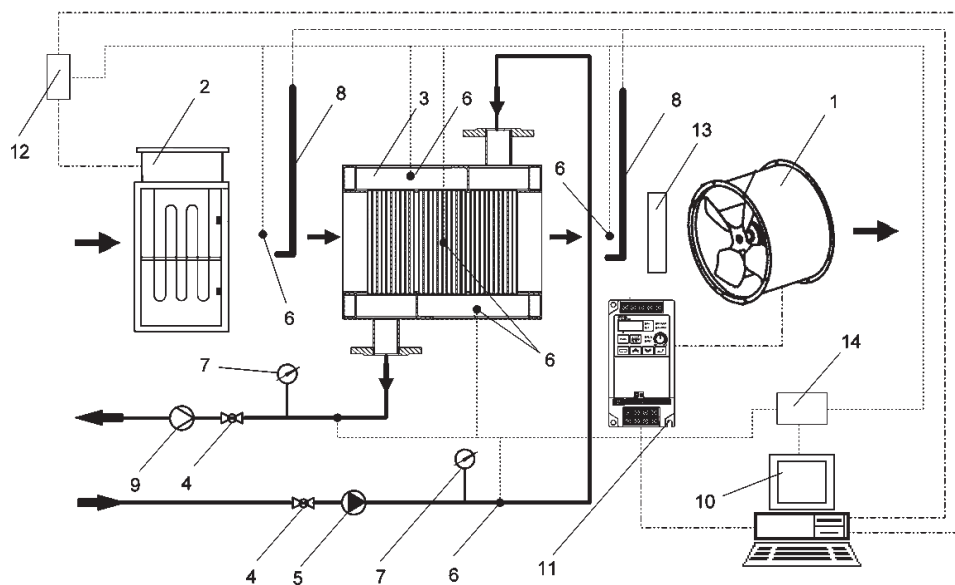
Були проведені експериментальні дослідження для системи охолодження припливного повітря водою підземних свердловин. Схема експериментальної установки представлені на рис. 2. Як робоче середовища використовувалось підігріте повітря, яке охолоджувалось водою.

Експериментальна установка працює так. Зовнішнє припливне повітря надходить в установку за допомогою відцентрового вентилятора 1 В006-300 №3,15. Повітря підігрівається ТЕНами 2, теплова потужність яких регулюється за допомогою двоканального виконавчого пристрою (термостата) 12 типу МР2211. Частота обертання електродвигуна вентилятора (АІР63А2У2) та

масова витрата повітря регулювались за допомогою частотного перетворювача 11 типу 3GJX-A4075-TF.

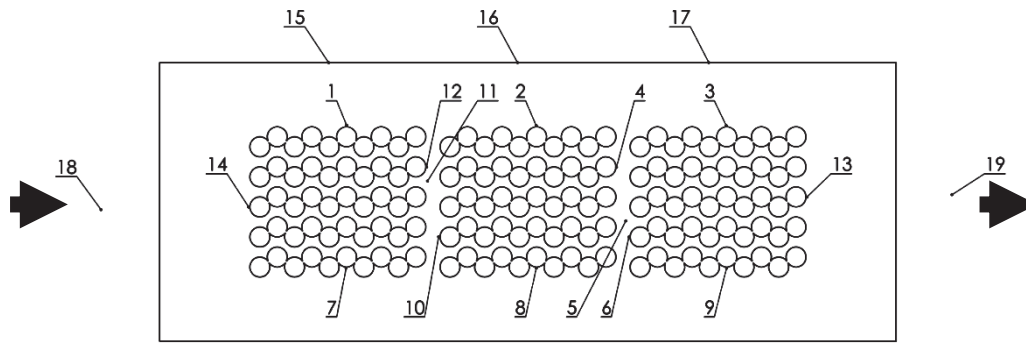
Нагріте повітря поступає в міжтрубний простір теплообмінного апарату 3, де відбувається його охолодження водою, яка протікає всередині труб. Регулювання масової витрати води забезпечувалось циркуляційним насосом 5 марки SPRUT 25-8S та вентилями 7. На вході та виході теплообмінного апарату встановлені трубки Піто-Прандтля 8 з манометрами для визначення статичного та динамічного тисків, а також анемометр 13 типу ЛТ-816 для визначення швидкості потоку повітря. Після протікання води через колектори та секції трубного пучка її температура поступово підвищується та поступає у витратомір 9. Для вимірювання температури повітря, температури поверхні труб та стінок кожуха теплообмінника використовувались датчики температури 6 марки DS18B20.

Схема розташування датчиків температури наведена на рис. 3. Крім того, проводились вимірювання температури води на вході і виході з водяного тракту та в його колекторах відповідними датчиками. Показники температури з датчиків знімалися за допомогою цифрового USB термометра 14 типу MP707 та виводилися на дисплей комп'ютерного монітора.



**Рис. 2. Тепло-гідралічна схема експериментальної установки:**

- |   |                    |
|---|--------------------|
| 1 - вентилятор, 2 - ТЕНи, 3 - теплообмінник-рекуператор, 4 - вентиль, циркуляційний насос, 6 - накладні датчики температури, 7 - манометр, трубка Піто-Прандтля, 9 - витратомір, 10 - персональний комп'ютер, перетворювач частоти, 12 - виконавчий механізм, 13 - анемометр, 14 - цифровий термометр | 5 -<br>8 -<br>11 - |
|---|--------------------|



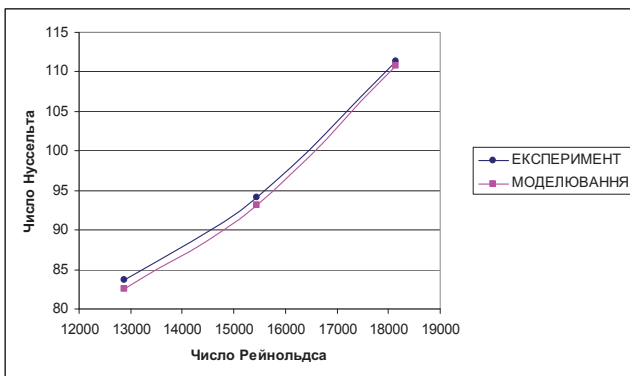
**Рис. 3. Розташування датчиків температури в повітряному тракті, на поверхні трубного пучка та стінках теплообмінного апарата**

**Результати досліджень.** Для ототожнення математичного моделювання теплообмінного апарату [4] було проведено експериментальне дослідження. Їх порівняння показано на рис. 4 - 7.

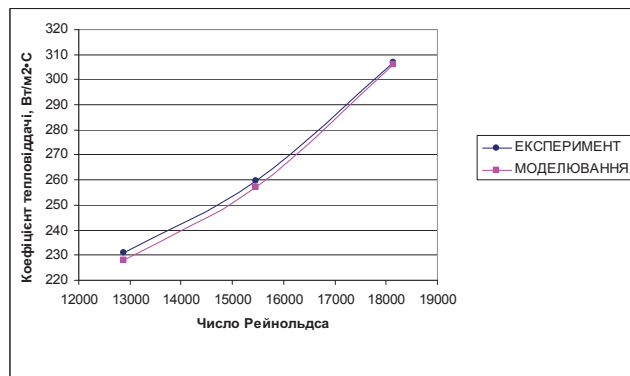
При проведенні експериментального дослідження повітря, яке надходило в установку й підігрівалося за допомогою ТЕНів до температур +27, + 41 °С, із вхідною швидкістю 9,25, 11,1 та 12,85 м/с. Одночасно в теплообмінний апарат для охолодження припливного повітря, надходила вода з температурою в межах від 12 до 13 °С із витратою 40, 45 та 50 л/хв.

В результаті обробки результатів вимірювань отримано графічні залежності, які представлені на рис. 4-7. Крім того, на цих графіках представлені результати чисельного моделювання [4].

На рис. 4, 5 показано залежність числа Нуссельта та усередненого по поверхні коефіцієнта тепловіддачі від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія. Як видно з рис. 4, 5 значення числа Нуссельта та коефіцієнта тепловіддачі зростає при збільшенні числа Рейнольдса, причому значення коефіцієнта тепловіддачі може досягати 310 Вт/м<sup>2</sup>К.



**Рис. 4. Залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія**



**Рис. 5. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія**

На рис. 6 наведено графічна залежність кількості теплоти, яка передана від повітря до води, від масової витрати води. Таким чином, з отриманої залежності можна визначити сумарну теплоту, яка передається від гарячого теплоносія до холодного в залежності від масової витрати води.

Графічна залежність значень температури виході з каналу, представленої у безрозмірному вигляді, від масової витрати повітря наведені на рис. 7. Крім експериментальних даних на рис. 4-7 наведені також результати, отримані при чисельному моделюванні. Як витікає з рис. 7, є деякі відхилення температур, отриманих експериментальним та чисельним шляхом, для великих значень витрати повітряного теплоносія, але при цьому максимальна похибка обчислень не перевищує 6 %.

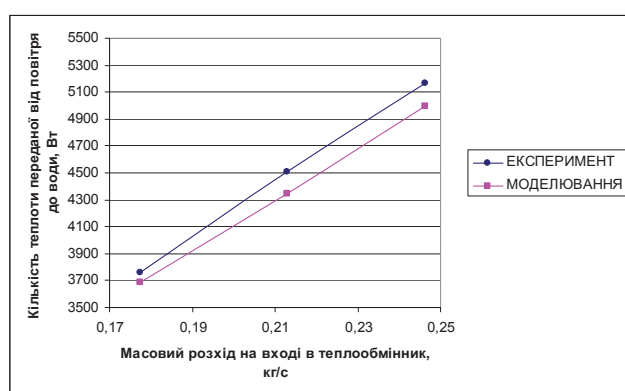


Рис. 6. Залежність кількості переданої теплоти від масової витрати води

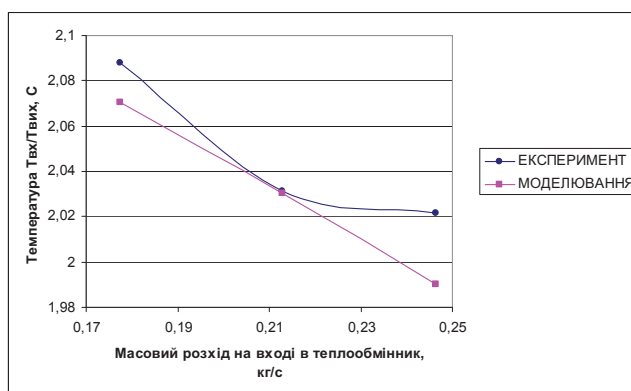


Рис.7. Залежність безрозмірної температури повітря від масової витрати води

**Висновки.** Розроблено та виготовлено експериментальну установку для дослідження тепловіддачі гладко-трубних пучків теплообмінників-рекуператорів нової конструкції у яких як охолоджуючий теплоносії використовується вода з підземних свердловин. Отримано експериментальні дані теплотехнічних характеристик теплообмінника нової конструкції.

Проведено порівняння результатів чисельного розрахунку математичного моделювання та експериментальних даних з тепловіддачі трубного пучка за допомогою статистичного аналізу. Отримана похибка результатів чисельного моделювання не перевищує 6 %.

### Список літератури

1. Троханяк В.І. Визначення коефіцієнта тепловіддачі при чисельному моделюванні трубного пучка / В.І. Троханяк – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15. – Т.2. – С. 332-337.
2. Влияние геометрии компактного поперечно обтекаемого гладко трубного пучка на его показатели / В. Г.Горобец, В. В. Панин, Ю. А. Богдан, В. И. Троханяк. // К.: КДАВТ. – 2015. – №1. – С. 6–13.
3. Горобец В.Г. / Моделювання процесів переносу та теплогідравлічна ефективність кожухотрубного теплообмінника з компактним розташуванням пучків

труб / В.Г. Горобець, В.І. Троханяк. // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – № 194, ч.2. – С. 147-155.

4. Горобець В. Г. Чисельне моделювання процесів переносу при поперечному обтіканні компактних пучків труб у кожухотрубних теплообмінниках / В. Г. Горобець, В. І. Троханяк. // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – №209. ч.1. – С. 42–49.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ**

***В.Г. Горобец, В.И. Троханяк, Ю.А. Богдан***

*Аннотация. Разработана и изготовлена экспериментальная установка на основе теплообменников-рекуператоров новой конструкции с компактным размещением пучков труб в которых в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода из подземных скважин. Проведено сравнение результатов численного расчета математического моделирования и экспериментальных данных по теплоотдаче трубного пучка с помощью статистического анализа.*

***Ключевые слова: теплообменник-рекуператор, экспериментальное исследование, охлаждения теплоносителя, численное моделирование, новая конструкция.***

## **EXPERIMENTAL STUDY HEAT EXCHANGER NEW DESIGN**

***V. Gorobets, V. Trokhanyak, Y. Bogdan***

*Annotation. Designed and built an experimental setup based on heat exchangers of a new design with a compact placement of tube bundles in which the coolant is used as cooling water from underground wells. A comparison of the results of a numerical calculation of mathematical modeling and experimental data on heat transfer tube bundle by statistical analysis.*

***Keywords: heat exchanger, heat exchanger, experimental research, cooling fluid, numerical modeling, new design***