

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В
ТЕПЛООБМІННИКАХ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ
ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ У ПТАШНИКАХ ВОДОЮ ПІДЗЕМНИХ
СВЕРДЛОВИН**

В. І. Троханяк, кандидат технічних наук, доцент

В. Г. Горобець, доктор технічних наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: trohaniak.v@gmail.com

Анотація. Розроблено і виготовлено експериментальну установку для охолодження повітря в пташнику з використанням нової конструкції теплообмінника-рекуператора, в якій в якості охолоджуючого теплоносія використовується вода з підземних свердловин. Описано принципову схему установки та пристрою теплообмінника та надано характеристики вимірювальних приладів.

Проведені експериментальні дослідження процесів теплообміну в теплообмінному апараті та визначено температурні розподіли в холодному і гарячому теплоносіях, знайдено число Нуссельта і коефіцієнт тепловіддачі на поверхні трубного пучка. Показано, що використання нової конструкції компактних трубних пучків дає можливість підвищити коефіцієнт тепловіддачі на 33 %.

На основі статистичного аналізу проведено порівняння результатів розрахунків чисельних моделей з експериментальними даними щодо теплопередачі пучків труб. Похибка, отримана в результатах чисельного моделювання, становить трохи більше 5 %.

Ключові слова: експеримент, теплообмінник, теплообмін, міжтрубні канали, масогабаритні показники

Актуальність. У багатьох галузях промисловості та сільського господарства використовуються теплообмінні апарати для передачі теплоти від одного робочого середовища до другого. Для заощадження енергоресурсів та підвищення енергетичної ефективності вентиляційних систем для охолодження (нагрівання) повітря в пташниках, автори рекомендують використовувати рекуперативні теплообмінники.

При розробці нових типів конструкцій теплообмінних апаратів важливу роль відіграють такі фактори, як їх масогабаритні характеристики, ефективність

теплопереносу через поверхню, що розділяє теплоносії, втрати тиску в трактах для кожного з теплоносіїв та інші параметри, які характеризують теплообмінний апарат. Таким чином, наукові дослідження в цій сфері є актуальними і вимагають свого рішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теплообмінник – це пристрій, який використовується для ефективної передачі тепла між двома теплоносіями (газом або рідиною). Використання в поєднанні теплообмінників підвищує ефективність терморегулювання та енергозбереження самої системи в цілому [1]. За даними [2] кожухотрубні теплообмінники мають багато застосувань у кондиціонуванні повітря, хімічному машинобудуванні, електростанціях та аерокосмічній промисловості. Вони поділяються на дві категорії залежно від напрямку потоку: прямотрубні та U-подібні. У прямотрубних теплообмінниках трубчастий потік входить з одного боку теплообмінника і виходить з іншого боку теплообмінника, але в U-трубних теплообмінниках струм надходить в U-подібні трубки, повертається і виходить з тому ж напрямку, в якому він входить.

Експериментально та чисельно проведено значні дослідження кожухотрубних теплообмінників для підвищення їх ефективності [3].

У роботі [4] стверджують, що збільшити турбулентність можна двома способами: активними і пасивними. Активні методи вимагають використання зовнішньої енергії, яка може бути механічною, гідромагнітною або електрогідродинамічною [5]. У той час як застосування розширених поверхонь, званих ребрами, є широко застосовуваним серед пасивних методів збільшення теплопередачі. Автори [6] зазначили, що ефективна площа теплообміну збільшується з використанням протяжних поверхонь, що призводить до турбулентності потоку, який збільшує швидкість передачі. У пасивному методі зміна або покращення геометричних властивостей шляху потоку або додавання інтенсифікаторів у каналі збільшує інтенсивність турбулентності в потоці рідини, що призводить до очевидного збільшення швидкості теплопередачі. До пасивних методів створення турбулентності відносяться кручені труби, спіральні смуги, змійовики та генератори вихрового потоку [7, 8].

Для покращення масогабаритних і теплових характеристик теплообмінних апаратів використовували ексергоекономічну оптимізацію [9]. Вони досягли зменшення площі теплообміну на ~26,4 %, капітальні витрати на ~20 %, експлуатаційні витрати на ~50 %, загальні витрати на ~22 % і вартість потоку на ~21 %. Автори роботи [10] розробляли конструкцію та досліджували оцінку продуктивності кожухотрубного теплообмінника, що використовує холодну енергію рідкого природного газу на судні, що омиває сорочку двигуна внутрішнього згоряння. У ході досліджень результати аналізу продуктивності циклу показують, що R123 і R227е мають найвищий і найнижчий термічний коефіцієнта корисної дії приблизно 17–23 % і приблизно 15–21 % відповідно. R123 та R134а демонструють найвищу та найнижчу ексергетичну ефективність приблизно 25–31 % та приблизно 23–29 % відповідно.

За даними [11, 12], варіюючи зміщення сусідніх труб в поперечному напрямку відносно напрямку потоку в каналах можна досягти покращення інтегральних характеристик теплообміну на поверхні таких пучків. Характерно, що вказані характеристики покращуються при збільшенні величини зміщення сусідніх труб, однак при цьому відбувається зростання втрат тиску в таких каналах. Тому при виборі геометрії криволінійного каналу слід обмежуватись величиною зміщення, яка, наприклад, для діаметра труб в пучку 10 мм не повинна перевищувати 1-3 мм. Автори [13] встановили, що для таких пучків інтенсифікація теплообміну не викликає необхідності використовувати насосне обладнання великої потужності для прокачки теплоносія в міжтрубних каналах теплообмінника.

Проаналізувавши сучасні напрямки вдосконалення теплообмінних апаратів можна зробити висновок, що розробка і рекомендації до впровадження, нових конструкцій кожухотрубних теплообмінників з компактним розташуванням пучків труб є актуальною темою наукових досліджень, яка вимагає свого рішення.

Мета дослідження – проведення експериментальних досліджень теплообмінного апарата нової конструкції з компактним розміщенням пучків труб та порівняння їх з результатами чисельного моделювання.

Завдання:

- Розглянути принципи роботи та будову експериментальної установки з теплообмінником нової конструкції;
- Провести експериментальні дослідження теплообмінного апарата нової конструкції з компактним розміщенням пучків труб;
- Порівняти експериментальні дослідження та чисельне моделювання [14] теплообмінника нової конструкції.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш поширеними моделями теплообмінників, які в основному використовуються в теплообмінних пристроях, є рекупераційні пристрої. Через конструктивні відмінності теплообмінники-утилізатори діляться на кожухотрубні, трубчасті та пластинчасті. Кожна з цих моделей має переваги та недоліки в залежності від експлуатаційних, гідродинамічних та теплових умов. Кожухотрубні теплообмінники більш ефективні в енергоефективних системах вентиляції.

Відомі теплообмінні апарати кожухотрубного типу, як поверхні теплообміну використовуються пучки труб з шаховим або коридорним розміщенням. У статті запропоновано нову конструкцію теплообмінного пристрою, яка відрізняється від традиційних пристроїв і передбачає використання нової покращеної конструкції пучка труб. У пропонованій конструкції теплообмінника використана максимально компактна система трубних пучків, що дозволяє суттєво покращити масогабаритні показники.

На рис. 1 і 2 представлено загальний вигляд і схема експериментальної установки. Як робоче середовище вибрано нагріте повітря, яке охолоджується водою підземних свердловин. Принцип роботи експериментальної установки такий. Зовнішнє повітря надходить в установку за допомогою відцентрового вентилятора 1 В006-300№3,15. Частоту обертання вентилятора з приводним електродвигуном АИР63А2У2 регулювалось частотним перетворювачем 11 типу 3GJX-A4075-TF. Перед входом в теплообмінний апарат 3 встановлено ТЕНи 2 для нагрівання повітря. Потужність ТЕНів становить 9 кВт. Нагріте повітря надходить до теплообмінника в міжтрубний простір пучка труб, де в результаті теплообміну на поверхні пучка труб, в якому протікає вода, яка є холодним теплоносієм. Для

визначення статичного і динамічного тисків на вході та виході з теплообмінного апарату використовувались трубки Піто-Прандтля 8 з мікроманометрами ММН-2400(5)-(1). Для визначення швидкості потоку повітря використовувався анемометр 13 типу JT-816. Для подачі холодної води в теплообмінний апарат на вході і виході якого стоять вентиля 4 та манометри 7 для вимірювання тиску. Прокачка води забезпечувалась циркуляційним насосом 5 марки SPRUT 25-8S. В трубному пучку вода нагрівається і проходить через витратомір 9. Для вимірювання температури використовувались датчики 6 марки DS18B20 з розташуванням, яке показано на рис. 3, 4. Температурні показники з датчиків знімалось з використанням 14 цифрового USB термометра MP707. Регулювання нагрівання ТЕНів здійснювалось 2-х канальним виконавчим пристроєм 12 (термостатом) MP2211.

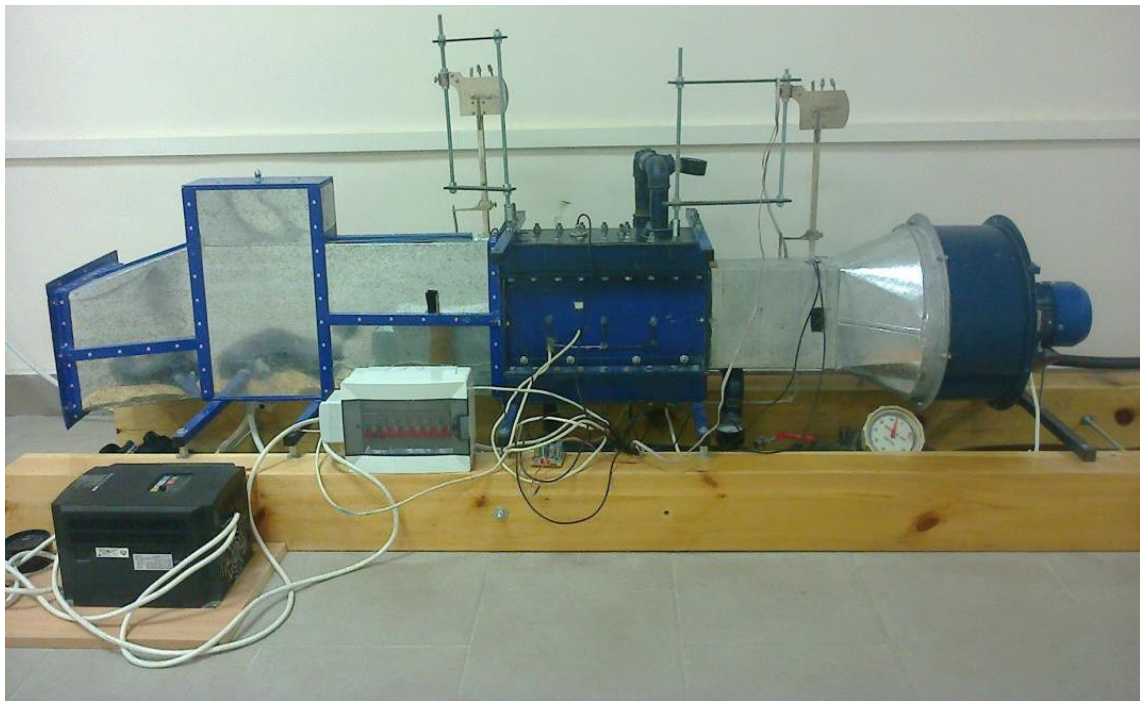


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки для підтримання нормованого мікроклімату пташника

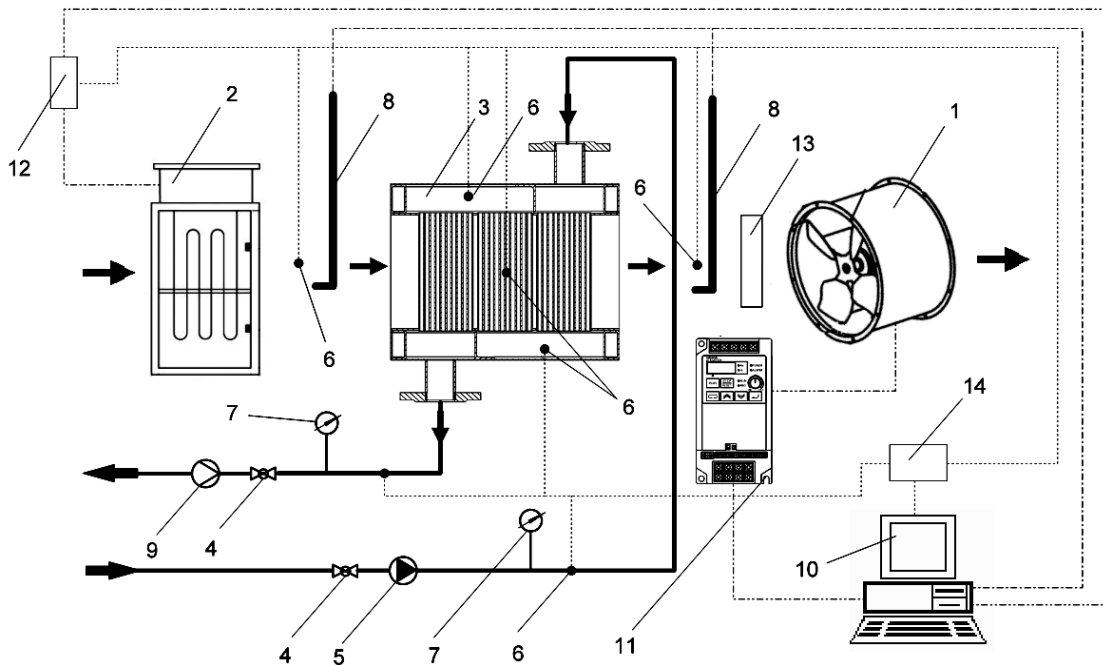


Рис. 2. Тепло-гідравлічна схема експериментальної установки для підтримання нормованого мікроклімату пташника:

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

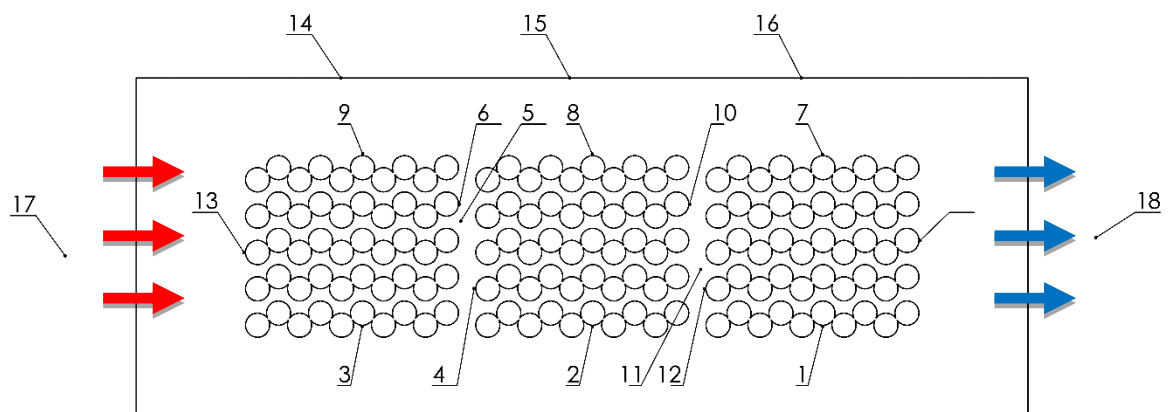


Рис. 3. Схематичне розташування датчиків температури в трубному пучку та на зовнішній стінці теплообмінного апарата

Датчики температури, які мають відповідну нумерацію від 1 до 13, розташовані всередині теплообмінного апарата на висоті 100 мм. Датчики температури 14-16, які необхідні для визначення втрат теплоти в навколишнє середовище, знаходяться на зовнішній стінці теплообмінника. Для вимірювання

температури повітря на вході і виході з теплообмінного апарата розташовані датчики 17, 18 (див. рис. 3). Також на вході та виході з ТА розташовані датчики 19 і 22 для вимірювання температури води (рис. 4). Крім того, в областях де відбувається змішування води, яка надходить від окремих секцій трубного пучка, а саме, між першим та другим, а також між другим і третім колектором розташовані датчики температури 20 і 21,

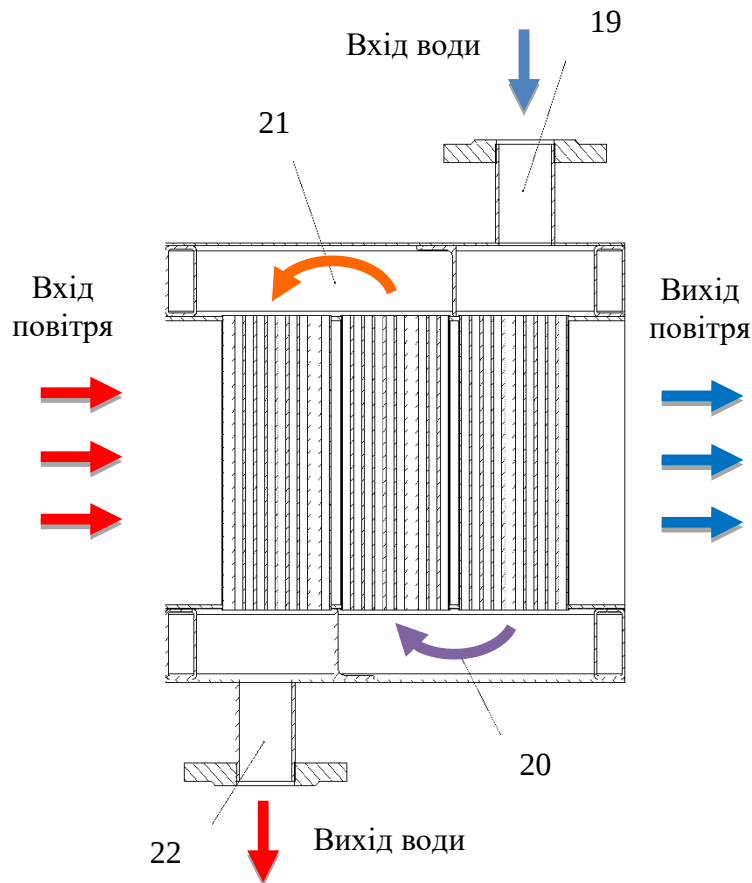


Рис. 4. Схематичне розташування датчиків температури в поперечному розрізі теплообмінного апарату

На рис. 5 наведена принципова електрична схема експериментальної установки. Для живлення електродвигуна вентилятора М2 використана зовнішня мережа 380 В при наявності автоматичного вимикача QF1 і частотного перетворювача (ЧП), який регулює частоту обертання вала електродвигуна. Для живлення циркуляційного насоса М1 використана зовнішня мережа 220 В з автоматичним вимикачем QF2. ТЕНи Rтен підключені через пристрій QF3-5 і катушки реле Rel1-3, які включаються за допомогою відповідного виконавчого

пристрою (термостата) MP2211. Для знімання показів температури з датчиків DS1-22 використовується цифровий USB термометр MP707. Результати вимірювання виводяться на монітор персонального комп'ютера ПК, як в графічному, так і в табличному вигляді. Живлення надходить із зовнішньої мережі 220 В через автоматичний вимикач QF6 та понижуючий трансформатор Tr1 і випрямляч UZ.

Загальний вигляд і поперечний розріз запропонованого теплообмінного апарату схематично зображений на рис. 5 і рис. 6б відповідно.

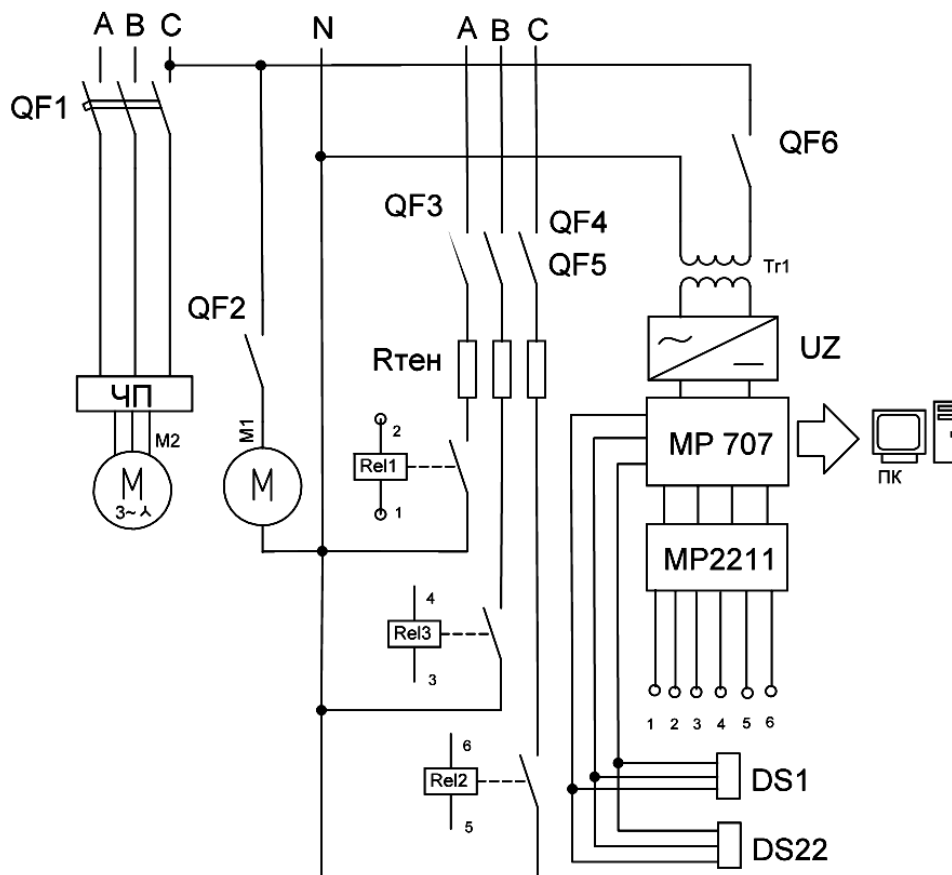


Рис 5. Принципова електрична схема експериментальної установки

На рис. 6, а представлена конфігурація трубного пучка, в якого трубки в пучку 1 дотикаються між собою та зміщені по осі ординат на відстань половину діаметра, утворюють криволінійний канал. Більш детальний опис та результати чисельного моделювання представлено в [14].

Теплообмінник складається з бічних стінок 5 і верхніх стінок 4, які загорнуті трубні решітки 2 (рис. 6, а); є 150 трубок із зовнішнім діаметром 10 мм і товщиною

стінок 1 мм, що утворюють три пучки труб 1 (див. рис. 6, а) . Висота труби 200 мм. Кожен ряд трубок пучка 1 має технологічний проріз (рис. 6, а, рис. 4), що розділяє ряд на три частини, оскільки теплообмінник теплоносія триконтурний і має вгорі роздільну перегородку 3 у верхній та нижній частині теплообмінника (рис. 6, б), висота яких становить 50 мм. Подача та відведення теплоносія здійснюється через фланець 7 та патрубков 6 (рис. 6, б). Корпус є суцільною жорсткою конструкцією і закритий з торців кутками 8 і 9.

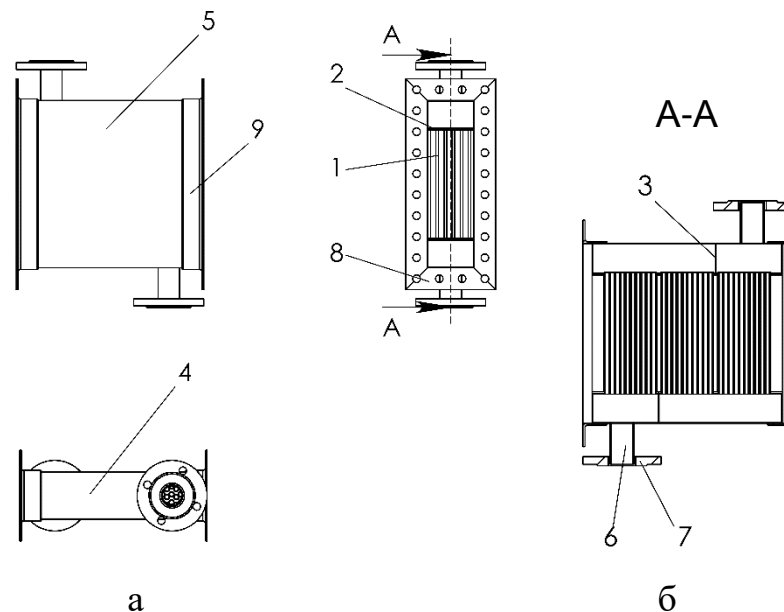


Рис. 6. Кожухотрубний теплообмінник: а – загальний вигляд, б – розріз в перерізі А-А

Результати досліджень та їх обговорення. При проведенні експериментальних досліджень, повітря, яке надходить в установку підігрівалося за допомогою ТЕНів, електрична потужність яких змінювалася в діапазоні від 1 до 9 кВт. Температура припливного повітря на вході відповідно рівна +27, +32 та +41 °С, швидкості припливного повітря варіювалися відповідно в межах 9,25, 11,1 та 12,85 м/с. При цьому в теплообмінник подавалася вода з температурою від +12 до +13 °С і витратою 40, 45 і 50 л/хв для охолодження повітря, що подається. Усі результати проведених експериментів представлені у таблиці.

**Порівняльна таблиця результатів експериментального дослідження
та чисельного моделювання**

Параметри	Температура на вхід в теплообмінник, °C	Температура на вихід з теплообмінника, °C	Безрозмірна величина температур, $T_{\text{вх}}/T_{\text{вих}}$	Кількість теплоти переданої від повітря до води $Q_{\text{т}}$	Вхід в теплообмінник,	Критерій Рейнольдса	Критерій Нуссельта	Коефіцієнт тепловіддачі, $W/m^2 \cdot ^\circ C$	Перепад тисків на вхід та вихід теплообмінника кПа
Експериментальне дослідження	41,30	20,43	2,0215	5168	800	18150	111,3	307	6933
	41,50	20,43	2,0313	4507	680	15450	94,00	260	5340
	40,46	19,38	2,0877	3758	565	12880	83,70	231	3467
Чисельне моделювання [14]	40,00	20,10	1,9901	5000	800	18150	110,8	306	7042
	40,00	19,70	2,0305	4343	680	15450	93,10	257	5421
	40,00	19,32	2,0704	3687	565	12880	82,60	228	3539

Витрата води та швидкість повітря на вхід в теплообмінник, а також пов'язані з ними температури постійні. При збільшенні частоти струму електродвигуна вентилятора з 40 Гц до 50 Гц швидкість повітря на вхід в теплообмінник збільшується з 9 до 13 м/с. Дані про температуру повітря при температурі повітря, що всмоктується близько +41 °C, витраті води 53 л/хв, температурі води +12 °C і змінної швидкості всмоктуваного повітря, що прийняли значення 9,25, 11,1 і 12,85 м/с відповідно, які вводяться в графік порівняння.

Для перевірки результатів чисельного моделювання теплообмінника [14] було проведено порівняння одержаних чисельних результатів з результатами експериментальних випробувань. У результаті обробки результатів вимірювань було отримано графічні залежності, представлені на рис. 7-10 і у таблиці.

Залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса приведена на рис. 7. Як показує аналіз залежностей, наведених на рис. 7, величина числа Нуссельта зростає при збільшенні числа Рейнольдса. Збільшення коефіцієнта тепловіддачі на поверхні пучка труб, який приведений на рис. 8, може складати 33 %.

Зміна кількості теплоти, яка передається від повітря до води, наведена на рис. 9. Як впливає з графіка, сумарна кількість теплоти, яка передається від гарячого

теплоносія до холодного залежить від масової витрати повітря на вході в теплообмінний апарат.

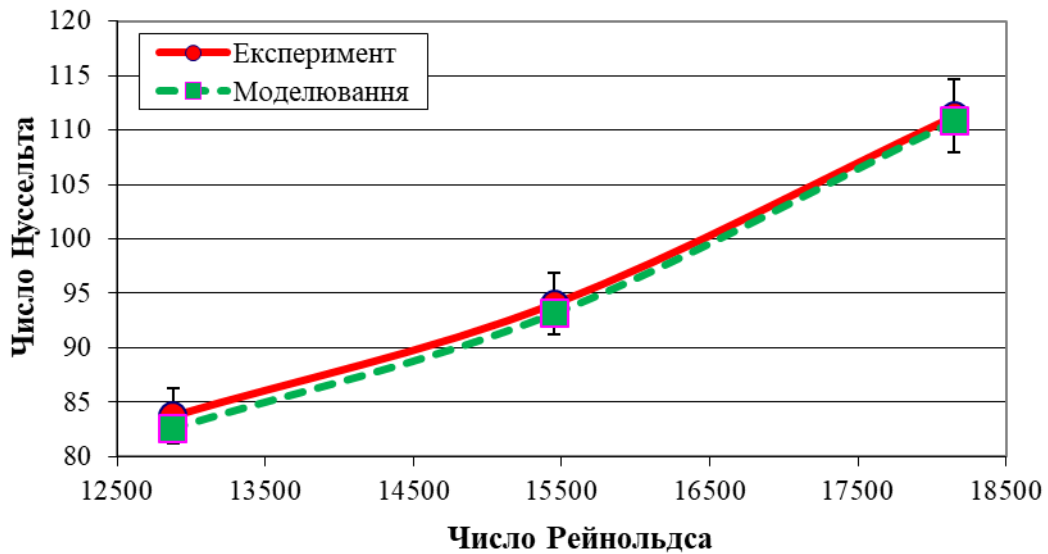


Рис. 7. Залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія

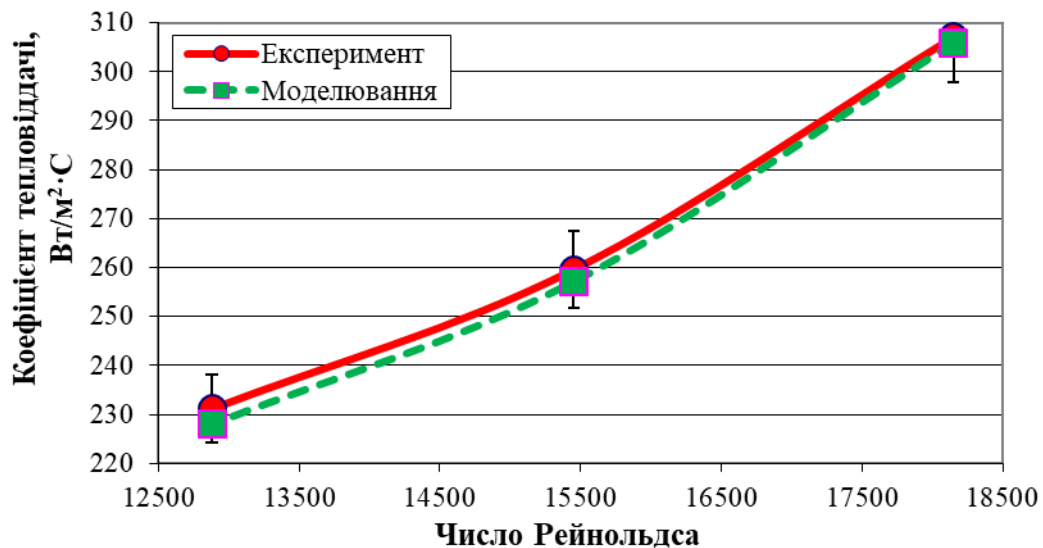


Рис. 8. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія

На рис. 10 наведені значення температури на вході та виході в канал, представлені в безрозмірному вигляді залежно від різної масової витрати повітря. Крім того, на рис. 10 наведені результати чисельного моделювання процесів теплообміну, які відбуваються в теплообміннику [14]. Як показує аналіз кривих для

безрозмірної температури, наведених на рис. 10, графічна залежність, яка отримана в математичній моделі близька до лінійної і відрізняється від експериментально знайденої кривої, що має нелінійний характер.

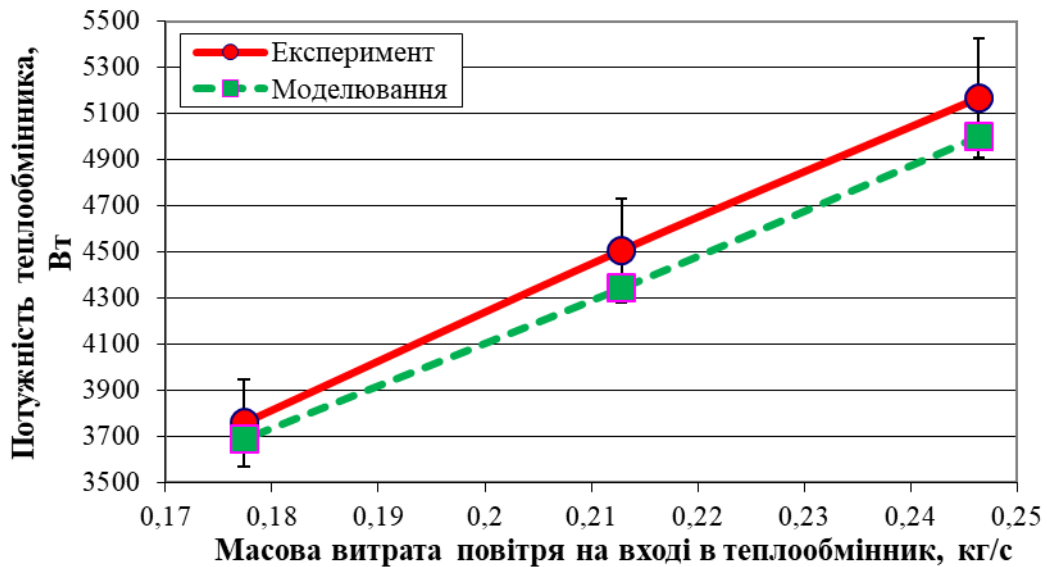


Рис. 9. Залежність кількості переданої теплоти від масової витрати води

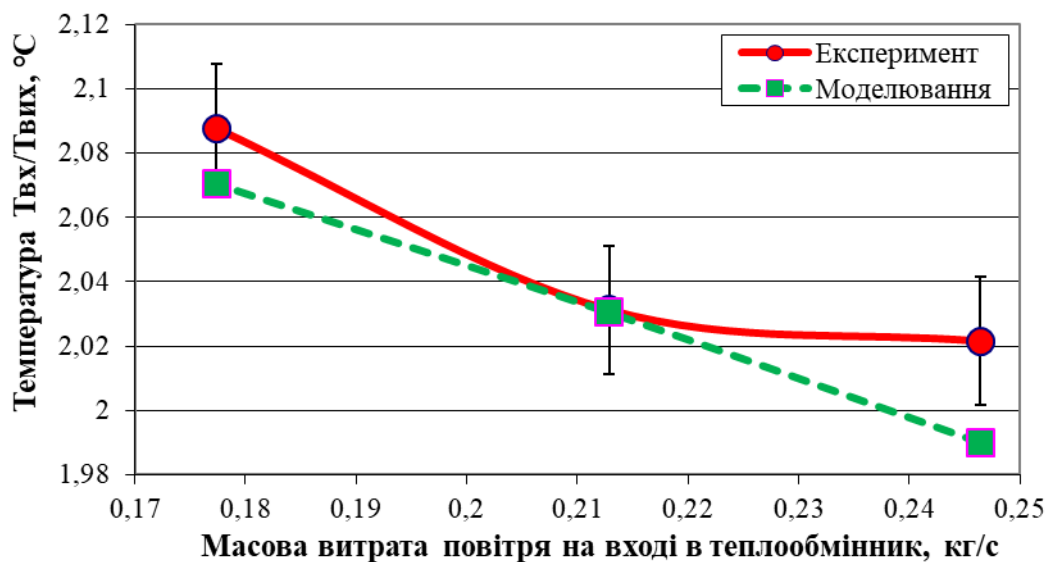


Рис. 10. Залежність безрозмірної температури повітря від масової витрати води

Різниця тисків на вході та виході теплообмінного апарата (див. табл.) збільшується до двох разів. При цьому підвищення тиску становить лише 3,5 кПа. Похибка, отримана в результатах чисельного моделювання та експериментальних випробувань, становить дещо більше 5 %.

Подяка.

Міністерству освіти та науки України за фінансову підтримку проєктів молодих вчених (Київ), № 110/1М-пр-2022.

Висновки та перспективи.

За результатами дослідження можна зробити такі висновки:

1. Розроблено і виготовлено експериментальну систему для охолодження повітря в пташнику, яка базується на використанні нової конструкції теплообмінника-рекуператора, у якому в якості охолоджуючого теплоносія використовується вода з підземних свердловин. Описано принципову схему установки та конструкції теплообмінника, а також приведені характеристики вимірювальних приладів.

2. Проведені експериментальні дослідження процесів теплообміну в теплообмінному апараті та визначено температурні розподіли в холодному і гарячому теплоносіях, знайдено число Нуссельта і коефіцієнт тепловіддачі на поверхні трубного пучка. Показано, що використання нової конструкції компактних трубних пучків дає можливість підвищити коефіцієнт тепловіддачі на 33 %.

3. На основі статистичного аналізу проведено порівняння результатів розрахунків чисельних моделей з експериментальними даними щодо теплопередачі пучків труб. Похибка, отримана в результатах чисельного моделювання, складає близько 5%.

Список використаних джерел

1. Hojjat M. Nanofluids as coolant in a shell and tube heat exchanger: ANN modeling and multi-objective optimization. *Applied Mathematics and Computation*. 2020. Вип. 365. 124710. [doi: 10.1016/j.amc.2019.124710](https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.124710).
2. Bichkar P., Dandgaval O., Dalvi P., Godase R., Dey T. Study of shell and tube heat exchanger with the effect of types of baffles. *Procedia Manufacturing*. 2018. Вип. 20, С. 195-200. [doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.028](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.028).
3. Wang C., Cui Z., Yu H., Chen K., Wang J. Intelligent optimization design of shell and helically coiled tube heat exchanger based on genetic algorithm // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2020. Вип. 159. 120140. [doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120140](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120140).
4. Tayyab M., Cheema T.A., Malik M.S., Muzaffar A., Sajid M.B., Park C.W. Investigation of thermal energy exchange potential of a gravitational water vortex. *Renewable Energy*. 2020. Вип. 162, С. 1380-1398. [doi: 10.1016/j.renene.2020.08.097](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.097).

5. Alam T., Kim M.H. A comprehensive review on single phase heat transfer enhancement techniques in heat exchanger applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Вип. 81. С. 813-839. [doi: 10.1016/j.rser.2017.08.060](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.060).
6. Riaz M.T., Cheema T.A., Tayyab M., Khan A.U.A., Amber K.P., Sajid M.B., Park C.W. Investigation of free and forced vortex induced thermal energy exchange potential. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. Вип. 52. 102107. [doi: 10.1016/j.seta.2022.102107](https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102107).
7. Feizabadi A., Khoshvaght-Aliabadi M., Rahimi A.B. Experimental evaluation of thermal performance and entropy generation inside a twisted U-tube equipped with twisted-tape inserts. *International Journal of Thermal Sciences*. 2019. Вип. 145. 106051. [doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.106051](https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106051).
8. Talebi M., Lalgani F. Assessment of thermal behavior of variable step twist in the elliptical spiral. *International Journal of Thermal Sciences*. 2021. Вип. 170. 107126. [doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107126](https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107126).
9. Jamil M.A., Goraya T.S., Shahzad M.W., Zubair S.M. Exergoeconomic optimization of a shell-and-tube heat exchanger. *Energy Conversion and Management*. 2020. Вип. 226. 113462. [doi: 10.1016/j.enconman.2020.113462](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113462).
10. Lim T.-W., Choi Y.-S. Thermal design and performance evaluation of a shell-and-tube heat exchanger using LNG cold energy in LNG fuelled ship. *Applied Thermal Engineering*. 2020. Вип. 171, 115120. [doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115120](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115120).
11. Gorobets V., Bohdan Y., Trokhaniak V., Antypov I. Experimental studies and numerical modelling of heat and mass transfer process in shell-and-tube heat exchangers with compact arrangements of tube bundles. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Вип. 240. 02006. [doi: 10.1051/mateconf/201824002006](https://doi.org/10.1051/mateconf/201824002006).
12. Gorobets V., Trokhaniak V., Bohdan Y., Antypov I. Numerical modeling of heat transfer and hydrodynamics in compact shifted arrangement small diameter tube bundles. *Journal of Applied and Computational Mechanics*. 2021. Вип. 7. №1. С. 292-301. [doi: 10.22055/JACM.2020.31007.1855](https://doi.org/10.22055/JACM.2020.31007.1855).
13. Trokhaniak V., Gorobets V., Shelimanova O., Balitsky A. Research of thermal and hydrodynamic flows of heat exchangers for different air cooling systems in poultry houses. *Machinery & Energetics*. 2023. Вип. 14. №1. С. 68-78. [doi: 10.31548/machinery/1.2023.68](https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.68).
14. Trokhaniak V., Gorobets V. Heat transfer and gas dynamics numerical modelling of compact pipe bundles of new design. *Machinery & Energetics*. 2023. Вип. 14. №3. С. 79-89. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2023.79>

References

1. Hojjat, M. (2020). Nanofluids as coolant in a shell and tube heat exchanger: ANN modeling and multi-objective optimization. *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 365, 124710. [doi: 10.1016/j.amc.2019.124710](https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.124710).
2. Bichkar, P., Dandgaval, O., Dalvi, P., Godase, R., Dey, T. (2018). Study of shell and tube heat exchanger with the effect of types of baffles. *Procedia Manufacturing*, Vol. 20, pp. 195-200. [doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.028](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.028).
3. Wang, C., Cui, Z., Yu, H., Chen, K., Wang, J. (2020). Intelligent optimization design of shell and helically coiled tube heat exchanger based on genetic algorithm.

International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 159, 120140. [doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120140](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120140).

4. Tayyab, M., Cheema, T.A., Malik, M.S., Muzaffar, A., Sajid, M.B., Park, C.W. (2020). Investigation of thermal energy exchange potential of a gravitational water vortex. Renewable Energy, Vol. 162, pp. 1380-1398. [doi: 10.1016/j.renene.2020.08.097](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.097).

5. Alam, T., Kim, M.H. (2018). A comprehensive review on single phase heat transfer enhancement techniques in heat exchanger applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 81, pp. 813-839. [doi: 10.1016/j.rser.2017.08.060](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.060).

6. Riaz, M.T., Cheema, T.A., Tayyab, M., Khan, A.U.A., Amber, K.P., Sajid, M.B., Park, C.W. (2022). Investigation of free and forced vortex induced thermal energy exchange potential. Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 52, 102107. [doi: 10.1016/j.seta.2022.102107](https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102107).

7. Feizabadi, A., Khoshvaght-Aliabadi, M., Rahimi, A.B. (2019). Experimental evaluation of thermal performance and entropy generation inside a twisted U-tube equipped with twisted-tape inserts. International Journal of Thermal Sciences, Vol. 145, 106051. [doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.106051](https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106051).

8. Talebi, M., Lalgani, F. (2021). Assessment of thermal behavior of variable step twist in the elliptical spiral. International Journal of Thermal Sciences, Vol. 170, 107126. [doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107126](https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107126).

9. Jamil, M.A., Goraya, T.S., Shahzad, M.W., Zubair, S.M. (2020). Exergoeconomic optimization of a shell-and-tube heat exchanger. Energy Conversion and Management, Vol. 226, 113462. [doi: 10.1016/j.enconman.2020.113462](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113462).

10. Lim, T.-W., Choi, Y.-S. (2020). Thermal design and performance evaluation of a shell-and-tube heat exchanger using LNG cold energy in LNG fuelled ship. Applied Thermal Engineering, Vol. 171, 115120. [doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115120](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115120).

11. Gorobets, V., Bohdan, Y., Trokhaniak, V., Antypov, I. (2018). Experimental studies and numerical modelling of heat and mass transfer process in shell-and-tube heat exchangers with compact arrangements of tube bundles. MATEC Web of Conferences, Vol. 240, 02006. [doi: 10.1051/mateconf/201824002006](https://doi.org/10.1051/mateconf/201824002006).

12. Gorobets, V., Trokhaniak, V., Bohdan, Y., Antypov, I. (2021). Numerical modeling of heat transfer and hydrodynamics in compact shifted arrangement small diameter tube bundles. Journal of Applied and Computational Mechanics, Vol. 7, no.1, pp. 292-301. [doi: 10.22055/JACM.2020.31007.1855](https://doi.org/10.22055/JACM.2020.31007.1855).

13. Trokhaniak, V., Gorobets, V., Shelimanova, O., Balitsky, A. (2023). Research of thermal and hydrodynamic flows of heat exchangers for different air cooling systems in poultry houses. Machinery & Energetics, Vol. 14, no. 1, pp. 68-78. [doi: 10.31548/machinery/1.2023.68](https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.68).

14. Trokhaniak, V., Gorobets, V. (2023). Heat transfer and gas dynamics numerical modelling of compact pipe bundles of new design. Machinery & Energetics, Vol. 14, no. 3, 79-89. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2023.79>

EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN HEAT EXCHANGERS OF A NEW DESIGN FOR COOLING SUPPLY AIR IN POULTRY HOUSES WITH WATER FROM UNDERGROUND WELLS

V. Trokhaniak, V. Gorobets

Abstract. *In this work, an experimental installation for cooling air in a poultry house was developed and manufactured using a new design of a heat exchanger-recuperator, in which water from underground wells is used as a cooling medium. The schematic diagram of the heat exchanger installation and device is described, and the characteristics of the measuring instruments are given.*

Experimental studies of heat exchange processes in the heat exchanger were carried out and the temperature distributions in the cold and hot coolants were determined, the Nusselt number and the heat transfer coefficient on the surface of the tube bundle were found. It is shown that the use of a new design of compact tube bundles makes it possible to increase the heat transfer coefficient by 33 %.

Based on the statistical analysis, the results of numerical model calculations are compared with experimental data on the heat transfer of pipe bundles. The error obtained in the results of numerical modeling is slightly more than 5 %.

Key words: *experiment, heat exchanger, heat transfer, intertube channels, weight and dimensions*