

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **НАУКОВІ ПРАЦІ**

**ВИПУСК 37**



**ОДЕСА**

**2010**

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО КРИТЕРІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЛОЧНОГО ГРАФІТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА

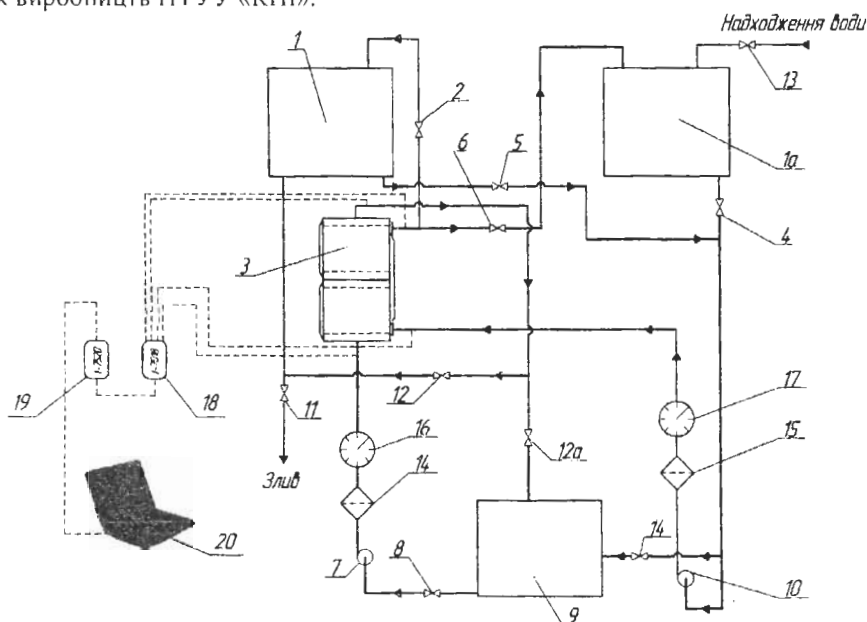
к.т.н. доцент Сидоренко С.В., ст. викл. Вознюк Т.А., магістрант Волков Н.В.  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

В статті розглядається схема лабораторного стенда з використанням комп'ютера та спеціально розробленої програми для розрахунку процесу теплообміну з подальшим виведенням показника ефективності роботи – узагальнюючого техніко-економічного критерія.

This article demonstrates the scheme of laboratory stand using specially developed computer program for calculating heat transfer process with the subsequent withdrawal of performance indicators - generalizing the technical and economic criteria.

**Ключові слова:** графітовий теплообмінник, коефіцієнти тепловіддачі, теплопередачі, теплове навантаження, критерій оптимальності, узагальнюючий техніко-економічний критерій ефективності.

Дослідження техніко-економічного критерія ефективності роботи теплообмінного обладнання здійснено на діючому лабораторному стенді (рис. 1) кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв НТУУ «КПІ».



1, 1а – ємності холодної води; 2, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 12а, 13 – вентилі; 3 – блочний графітовий теплообмінник; 7, 10 – відцентрові насоси; 9 – ємність гарячої води; 14, 15 – фільтри; 16, 17 – витратоміри; 18 – аналогово-цифровий модуль І-7018; 19 – інтерфейсний модуль І-7520; 20 – ПК.

Рис. 1 – Схема лабораторного стенда

Детальний опис стенда та принцип його роботи представлено в публікаціях [2, 3, 4, 5].

Вихідними даними, що використовувались для розрахунків в ПК були технічні дані теплообмінника та трубопроводів і експериментальні дані, що поступали в реальному часі: вхідні та вихідні температури теплоносіїв, їх витрати, втрати гідравлічного тиску при перекачуванні теплоносіїв в магістральних гілках та теплообміннику для обох теплоносіїв і відповідні величини напруги та сили струму, що подавались на електродвигуни насосів.

За допомогою розробленої програми безперервно розраховувались наступні параметри: температури (середні теплоносіїв, стінок з обох сторін розділюючої теплоносії поверхні); різниці температур (між теплоносіями, між стінкою і теплоносієм); теплофізичні параметри у вигляді функції від температури; критерії Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Нусельта; потужності, що витрачались двигунами (теоретичні

і дійсні); коефіцієнти тепловіддачі і теплопередачі (теоретичні і дійсні); теплове навантаження як по холодному так і по гарячому теплоносіям; техніко-економічний критерій оптимальності.

Експериментальні дані по тепловим навантаженням і коефіцієнтам теплопередачі представлені в роботах [2, 3].

Для розрахунку техніко-економічного критерія оптимальності була розроблена удосконалена програма, за допомогою якої визначався узагальнюючий критерій ефективності  $Y_k$  і його оптимальне значення в інтервалі змін температур від 5 до 60 °С та широкому інтервалі зміни гідродинамічних режимів руху теплоносіїв (від ламінарного до розвинутого турбулентного).

Для розрахунку цього критерія було враховано такі складові витрат: капітальні (вартість теплообмінника та його монтаж), витрати на електроенергію окремо для гарячого та холодного теплоносіїв і об'ємні витрати обох теплоносіїв з урахуванням вартості кожного з них, відрахування на заробітну плату, ремонтні роботи, утримання обладнання та амортизаційні витрати.

Відповідна формула для розрахунку приведеного узагальнюючого техніко-економічного критерія ефективності роботи теплообмінника (грн/Дж) представлена нижче

$$Y_k = \frac{K_o}{Q} \cdot 3600 \quad (1)$$

де  $Q$  — кількість переданого тепла, Вт;

$K_o$  — критерій оптимальності по суті є приведеними витратами (сума експлуатаційних та капітальних витрат, віднесених до одного року нормативного терміну окупності, грн/рік, в нашому випадку – до одної години роботи, грн/год).

Критерій оптимальності розраховується наступним чином [1, 4]

$$K_o = \left[ \frac{B_m \left( 1 + \frac{B_n}{100} \right) + B_u \left( 1 + \frac{B_c}{100} \right)}{T_n \cdot T_{роб}} + C_z + H_{zp} \right] + (N_1 + N_2) \cdot K_n + (G_c \cdot n_c + G_g \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \cdot x) \quad (2)$$

де  $B_m$  — ринкова вартість теплообмінника, грн;

$B_n$  — вартість робіт по монтажу обладнання, амортизаційні відрахування, ремонтні роботи, % від вартості обладнання;

$B_u$  — ринкова вартість насосів (сумарна), грн;

$T_n$  — термін експлуатації, рік;

$T_{роб}$  — кількість робочих годин в одному календарному році;

$C_z$  — заробітна плата за годину роботи, грн;

$H_{zp}$  — відрахування на заробітну плату за годину, грн;

$N_1, N_2$  — дійсні потужності насосів під час роботи, кВт;

$K_n$  — вартість одиниці установленної потужності насосів, грн/(кВт·год);

$G_c, G_g$  — відповідно витрати холодного та гарячого теплоносіїв, м<sup>3</sup>/год;

$n_c$  — вартість холодного теплоносія, що витрачається, грн/м<sup>3</sup>;

$\rho$  — густина гарячого теплоносія, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  — теплоємність гарячого теплоносія, Дж/(кг·К);

$\Delta t$  — різниця температур між початковими температурами гарячого та холодного теплоносіїв, К;

$x$  — вартість 1 джоуля тепла, грн/Дж.

По експериментальним даним одержано графік залежності узагальнюючого критерія оптимальності до кількості переданого тепла (рис. 2).

Аналіз формули (2) та графічної залежності (рис. 2) дозволяє зробити висновок про достатньо інформативний характер застосованого приведеного техніко-економічного критерія ефективності  $Y_k$ , розмірність якого грн/Дж (тобто кількісне значення витрат до переданої одиниці тепла). Чим менше значення цього коефіцієнта, тим кращі показники роботи обладнання.

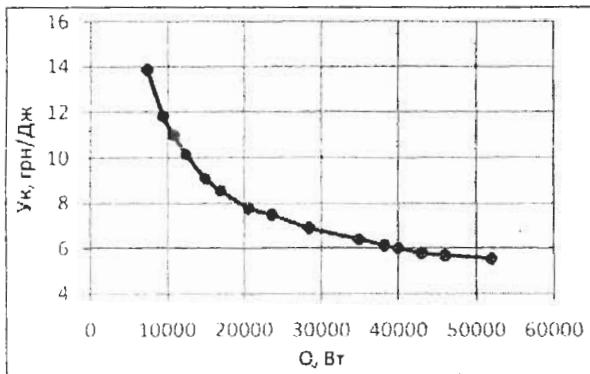


Рис. 2 – Залежність експериментально визначеного узагальнюючого критерія ефективності від переданого тепла

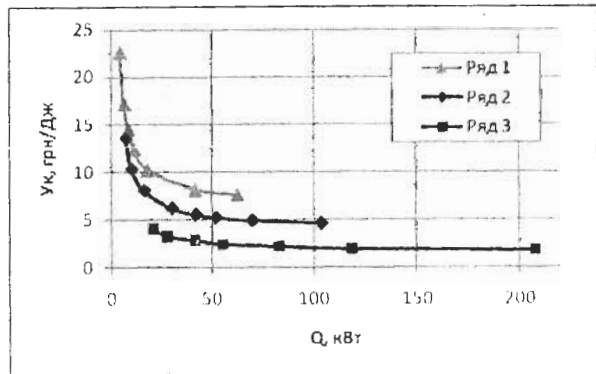


Рис. 3 – Залежність розрахункового узагальнюючого критерія ефективності від переданого тепла при різних температурних і гідродинамічних режимах

Для перевірки спроможності математичної моделі за допомогою програми виконувати теоретичні розрахунки були отримані значення критерія  $U_k$  для 3-х інтервалів температур (як для холодного так і для гарячого теплоносіїв) при зміні режимів руху теплоносіїв (табл. 1) і на рисунку 3 приведені три відповідних кривих.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку узагальнюючого критерія ефективності

Ряд	Температури				Re хол		Re гар	
	хол		гар		min	max	min	max
	вх	вих	вх	вих				
1	10	13	40	37	800	12000	874	13100
2	10	15	40	35	820	12300	856	12800
3	30	50	90	70	1130	11300	1250	12500

### Висновки

— характер кривих, представлених на рисунках 2 і 3, аналогічний, що свідчить про правильно вибрану математичну модель, закладену в програму, і можливість її застосування для різних вхідних даних як по температурам, витратам так і теплоносіям

— взаємне положення кривих дозволяє зробити висновок: мінімальне (тобто найкраще із приведених даних) значення узагальнюючого критерія ефективності  $U_k$  відповідає найбільшому перепаду температур і навпаки. Отже отримані в експериментах та розрахунках графічні залежності показують, що економічно доцільним є режими роботи теплообмінника, коли передається значна кількість тепла, що буде мати місце для великогабаритних теплообмінників, для значних перепадів температур між теплоносіями та великих швидкостях руху теплоносіїв.

### Література

1. Маньковский О.Н., Толчинский А.Р., Александров М.В. Теплообменная аппаратура химических производств. М.Л., Химия, 1976.
2. Виноградова Т.В., Сидоренко С.В. Експериментальне дослідження оптимальних режимів роботи нормалізованого блочного графітового теплообмінника//Зб. тез доповідей уч. X Міжнар.наук. – практ.конф., «Екологія. Людина. Суспільство»\Уклад. Бенатов Д.Е.. К.: НТУУ «КПІ», 2007.
3. Івачкін Я.О., Сидоренко С.В. Дослідження критерія ефективності роботи теплообмінника з теплоносіями без фазових перетворень//Зб. тез доповідей уч. XI Міжнар.наук. – практ. конф., «Екологія. Людина. Суспільство»\Уклад. Бенатов Д.Е.. К.: НТУУ «КПІ», 2008.
4. Н.В. Волков, А.М. Задольський, С.В. Сидоренко. Експериментальне дослідження технікоекономічного узагальнюючого критерія ефективності роботи теплообмінника з графіту// Зб. тез доповідей IV Наук. – практ. конф., «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» К.: НТУУ «КПІ», 2009.
5. Сидоренко С.В., Вознюк Т.А., Волков Н.В., Виноградова Т.В., Івачкін Я.О.. Експериментальне дослідження ефективності роботи блочного графітового теплообмінника. Науковий вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження» №1 (5) 2010, К.: НТУУ «КПІ», 2010.