

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння,
установок та технічної експлуатації



ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Міжнародна науково-практична конференція
11-12 березня 2024 року (онлайн)



**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

**Кафедра двигунів внутрішнього згоряння,
установок та технічної експлуатації**



**УЗАГАЛЬНЕНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОВІДДАЧІ ТА ОПОРУ ПОВІТРЯ
ДЛЯ ПУЧКІВ ПЛОСКО-ОВАЛЬНИХ ТРУБ
З ГРУПОВИМ ОРЕБРЕННЯМ ПЛАСТИНАМИ**

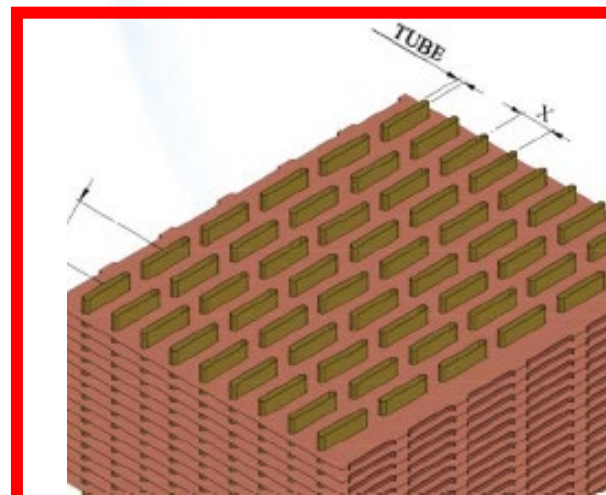
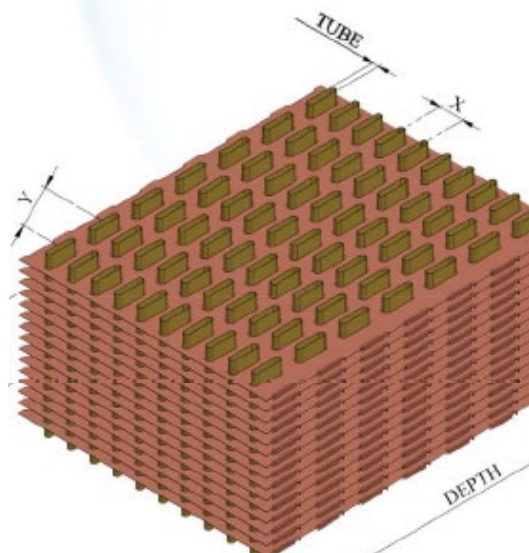
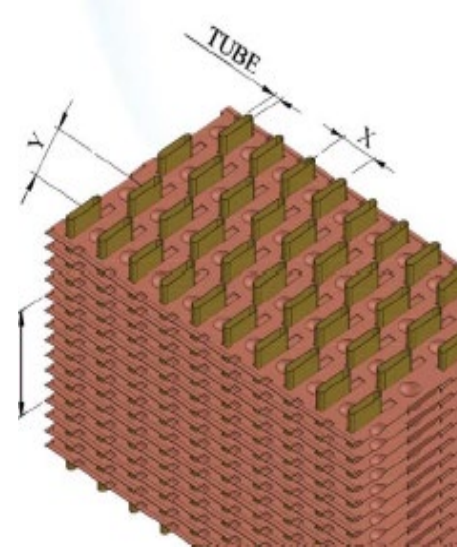
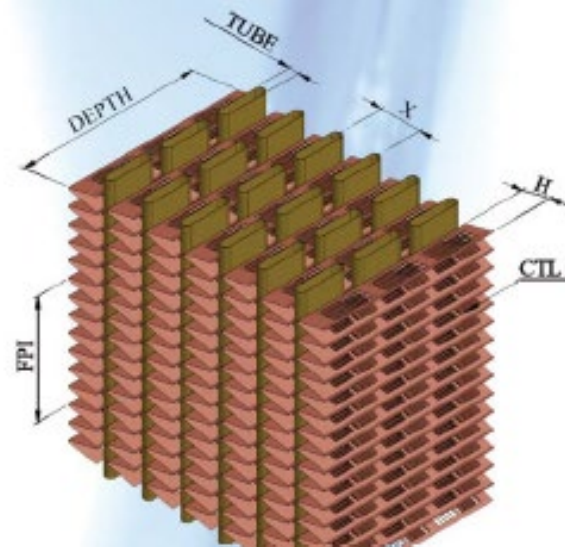
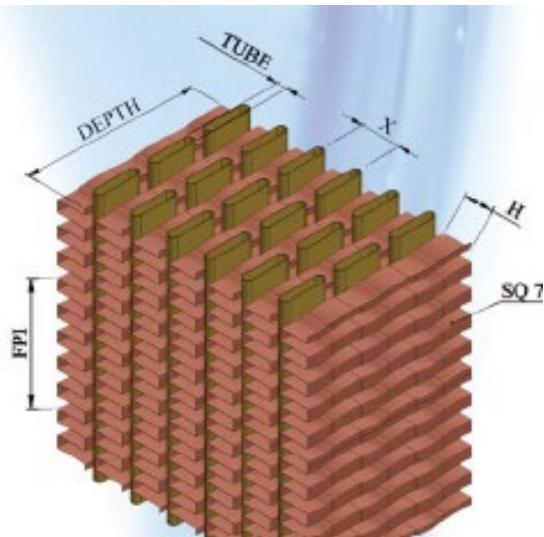
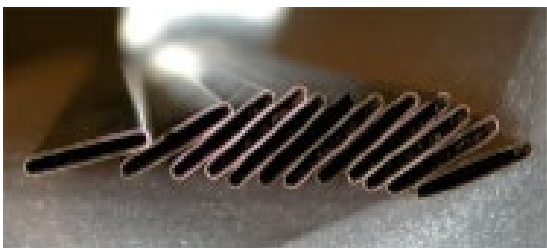
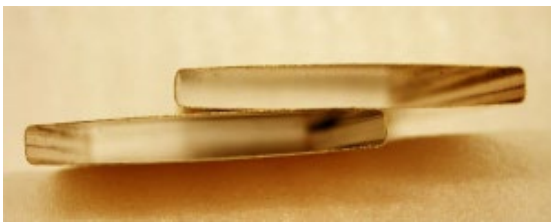
Мошенцев Юрій Леонідович, канд. техн. наук, професор

Гогоренко Олексій Анатолійович, канд. техн. наук, в.о.
завідувача каф. ДВЗ, У та ТЕ

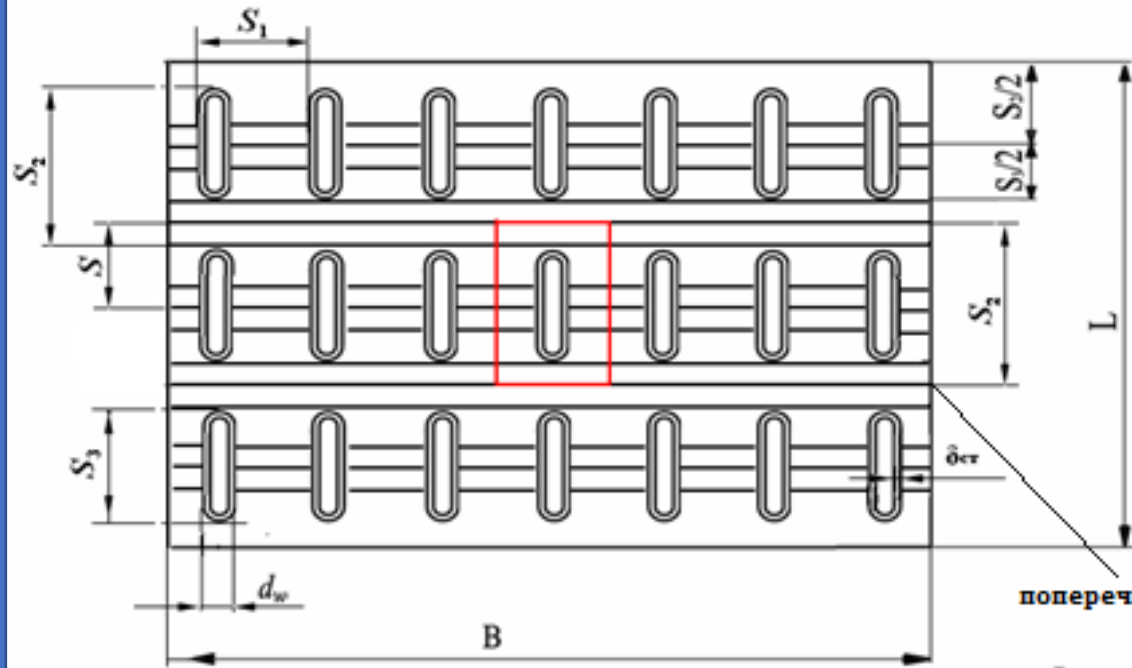
Немченко Андрій Володимирович, аспірант каф. ДВЗ, У та ТЕ



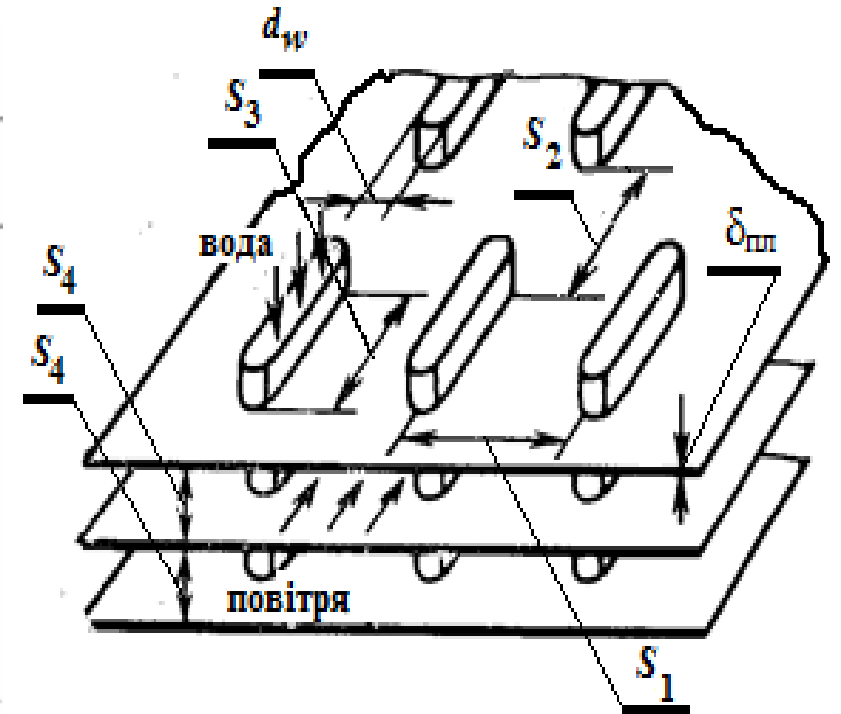
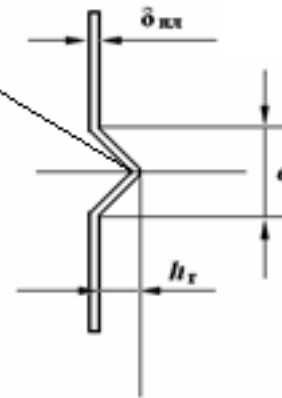
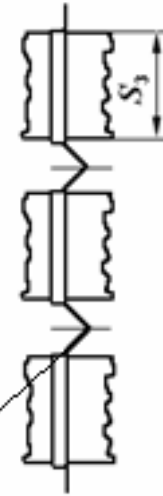
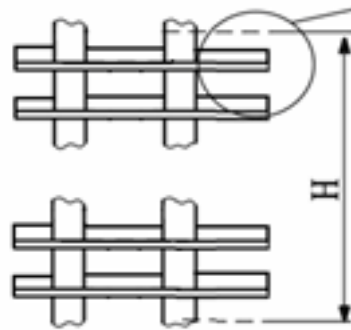
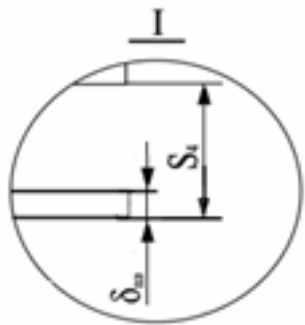
Сучасні трубчасто-пластинчасті поверхні теплообміну



ПТ на основі пучка
плоско-овальних труб
коридорного
розташування,
оребраних поперечними
плоскими колективними
пластинами



поперечна виштаповка



Детальна схема ПТ на основі пучка з коридорним розташуванням плоскоовальних труб, оребрених поперечними колективними плоскими ребрами з поперечними гофрами (виштаповками) на них



Узагальнена залежність для визначення конвективних коефіцієнтів тепловіддачі, α_k , при коридорному розташуванні трубок

для чисел $Re_{dw} = 400 \dots 20000$

$$Nu_{kd_w} = 0,0512 \cdot \left(\frac{d_w}{S_4} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{S_2 - S_3}{S_4} \right)^{-0,14} \cdot Re^{0,73} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(1 + 1,9 \frac{h_r e}{S^2} \right) \quad (1)$$

Узагальнена залежність для визначення опору за повітрям

для чисел $Re_{de} = 400 \dots 2000$

$$Eu \cdot Re^2 = 2,754 \cdot \left(\frac{d_w}{d_e} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{S_2 - d_w}{S_1 - d_w} \right)^{0,68} \cdot Re_{de}^{1,3} \cdot \left(1 + 1,9 \cdot \frac{h_r e}{S^2} \right) \cdot 1,65^{\lg Re_{de} - 2,53} \quad (2)$$

для чисел $Re_{de} = 2000 \dots 20000$

$$Eu \cdot Re^2 = 0,062108 \cdot \left(\frac{d_w}{d_e} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{S_2 - d_w}{S_1 - d_w} \right)^{0,68} \cdot Re_{de}^{1,85} \cdot \left(1 + 1,9 \cdot \frac{h_r e}{S^2} \right) \quad (3)$$



Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова



DOLPHIN

Dolphin Manufacturing LLC

NORENTM

THERMAL SOLUTIONS

MAKING THE WORLD A COOLER PLACE

CuproBraze[®]
Heat Exchanger Technology

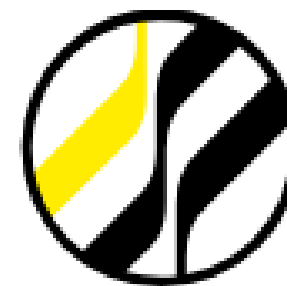
MODINE[®]
Engineering a Cleaner, Healthier World

MZW  **OTO**

HAUGG

ADV
Cool The World

Kelvion

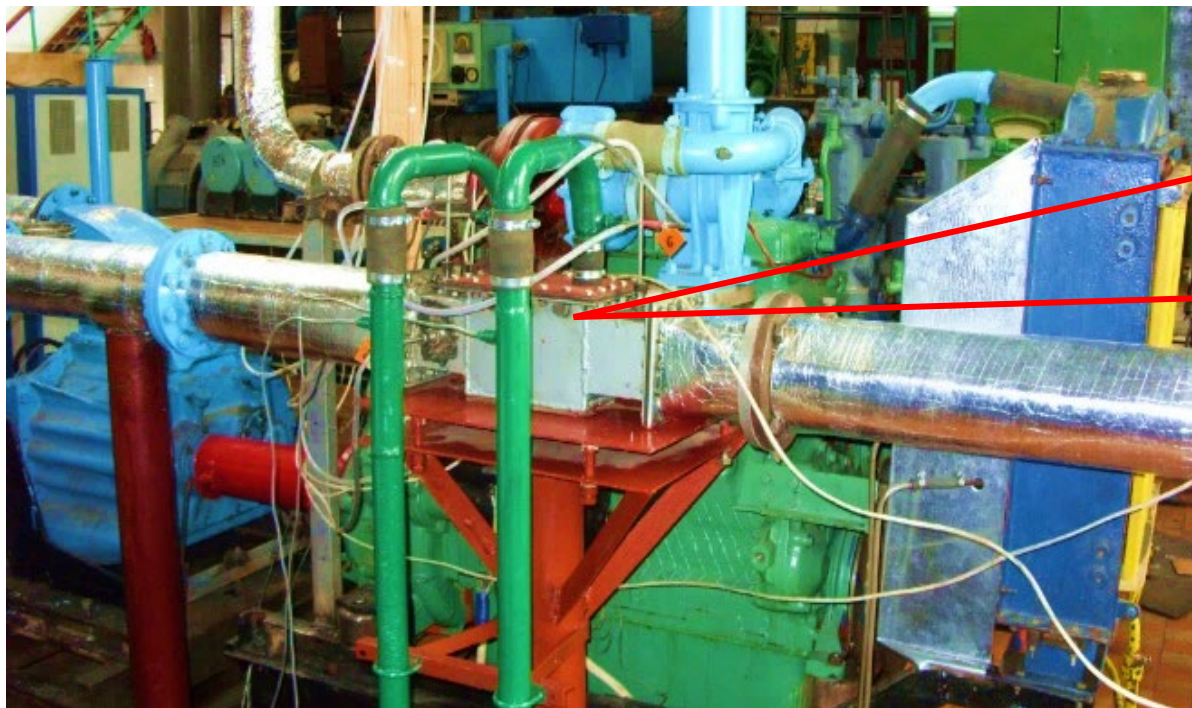


Kelvion Holding GmbH

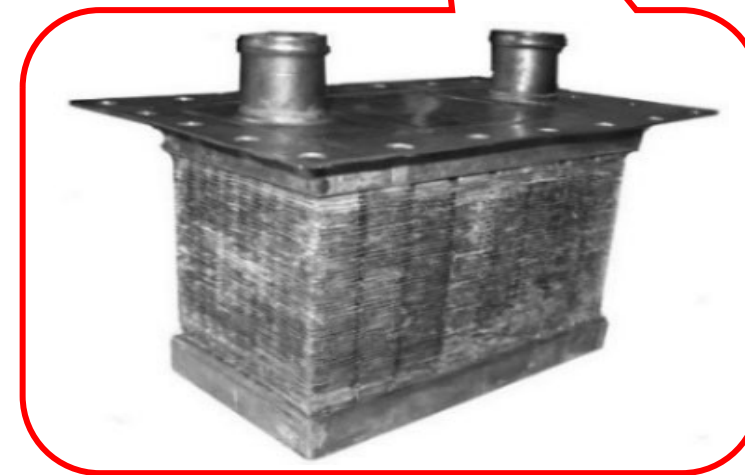
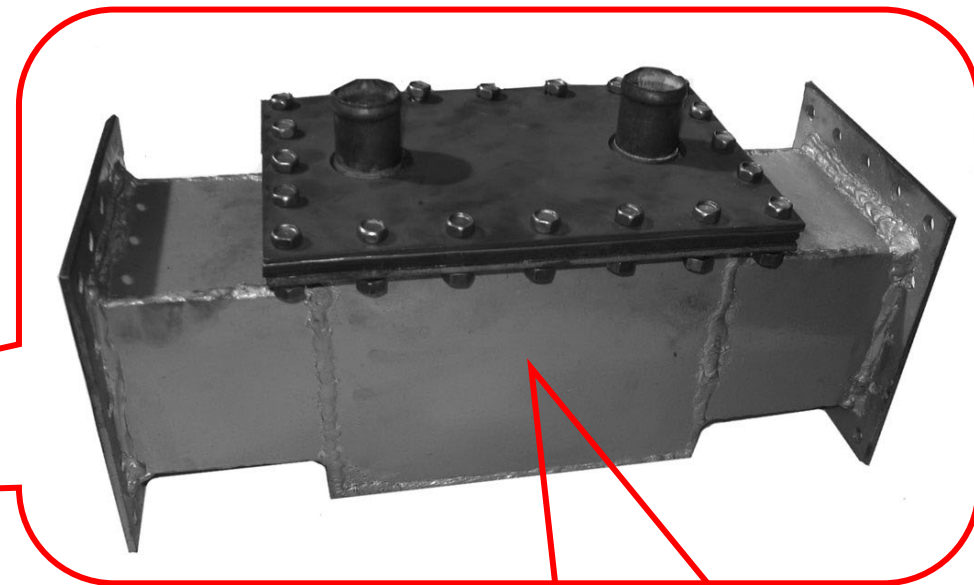


Мета дослідження

Полягає у корекції експериментальних залежностей з теплообміну (1) та опору (2) і (3). Передбачається коригування цих залежностей експериментальним шляхом. На цій підставі змінюються чисельні коефіцієнти, при цьому структура формул залишається незмінною. Водночас дослідження виконується для подальшого вдосконалення методики отримання подібних залежностей.



Загальний вигляд дослідного стенду для випробувань ОНП



Загальний вигляд
експериментальних пучків ОНП

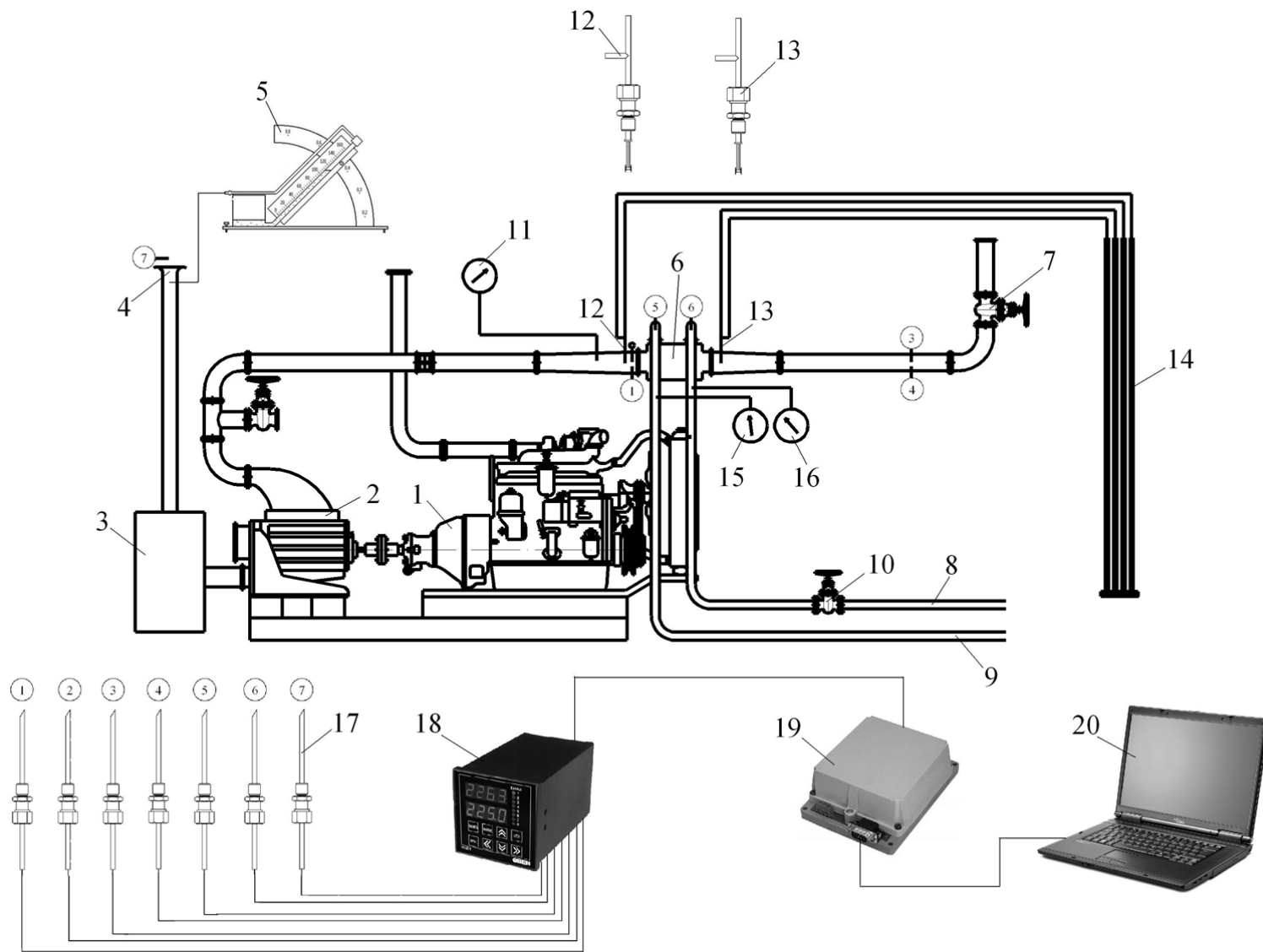
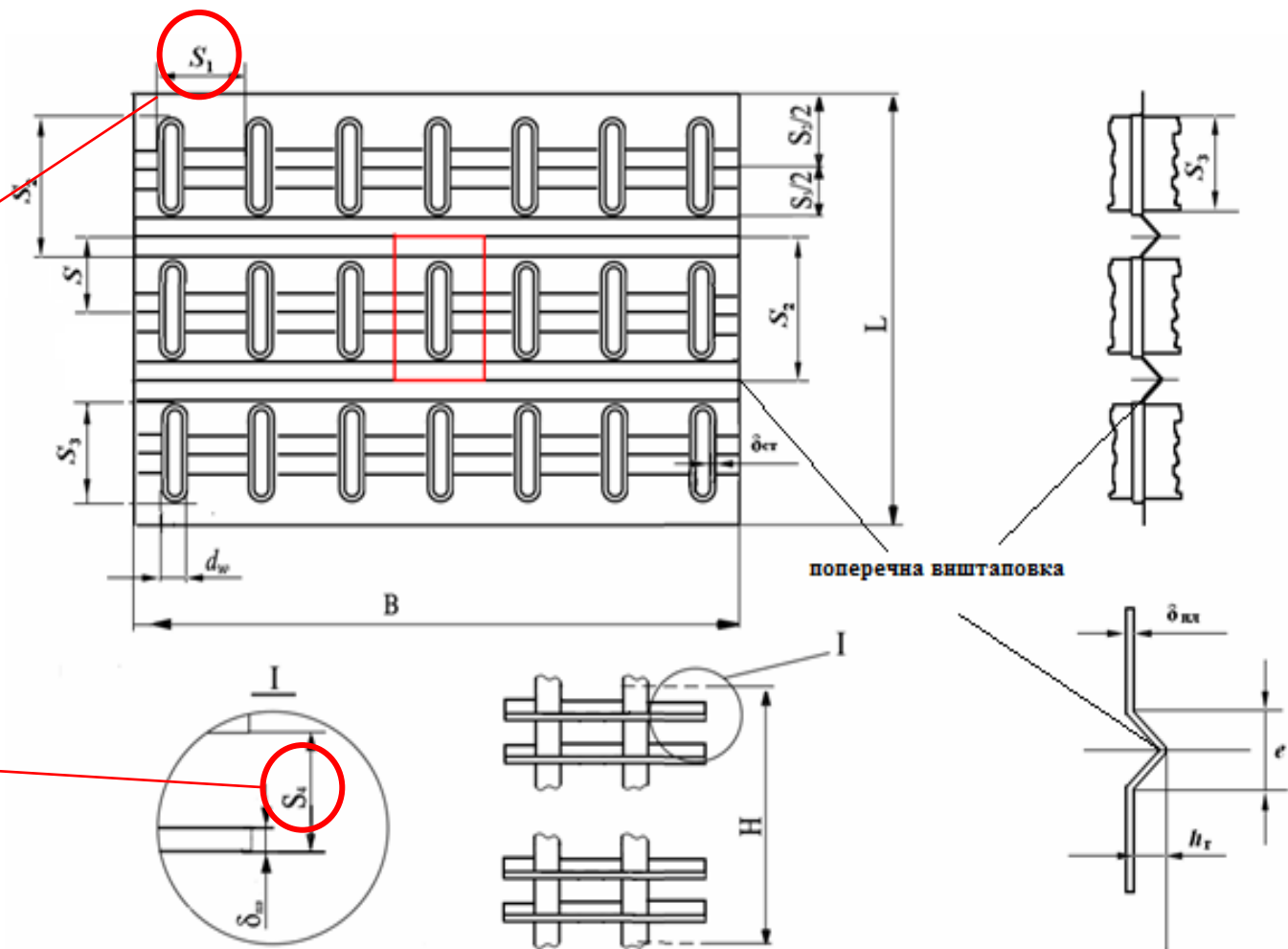


Схема експериментального стану:
1 – дизельний двигун СМД-19;
2 – роторно-лопатевий компресор;
3 – бак-заспокоювач; 4 - лемніската;
5 – мікроманометр ММН-240;
6 - експериментальний ОНП;
7 – дросельний клапан; 8 - підвідний трубопровід води до ОНП;
9 - відвідний трубопровід води від ОНП; 10 – засувка регулювання витрати води через ОНП; 11, 15, 16 - зразкові манометри; 12, 13 – приймачі статичного тиску;
14 - блочний водяний п'єзометр;
17 - хромель-копелеві термомпари;
18 - восьмиканальний пристрій контролю температур «ОВЕН» УКТ38-Щ4;
19 – мережевий адаптер ОВЕН АС-2;
20 – персональний комп'ютер.



Таблиця 1 Геометричні параметри експериментальних пучків

Параметр	Од.- виміру	Значення		
		Номер пучка теплообмінника		
		I	II	III
L_n	мм	184		
B_n	мм	100		
H_n	мм	110		
b_{WT}	шт.	4		
$b_{WГ}$	шт.	1		
d_w	мм	2,5		
S_1	мм	10	8	8
S_2	мм	23		
S_3	мм	17		
S_4	мм	2,05	2,54	1,91
δ_{CT}	мм	0,25		
δ_{nn}	мм	0,08		
h_r	мм	2,5		
e	мм	4		
S	мм	23		
Z_{2r}^1	шт.	2		
Z_1	шт.	10		
Z_2	шт.	8		
Z	шт.	80		
Схема		3		
F	м ²	2,34	1,57	1,98



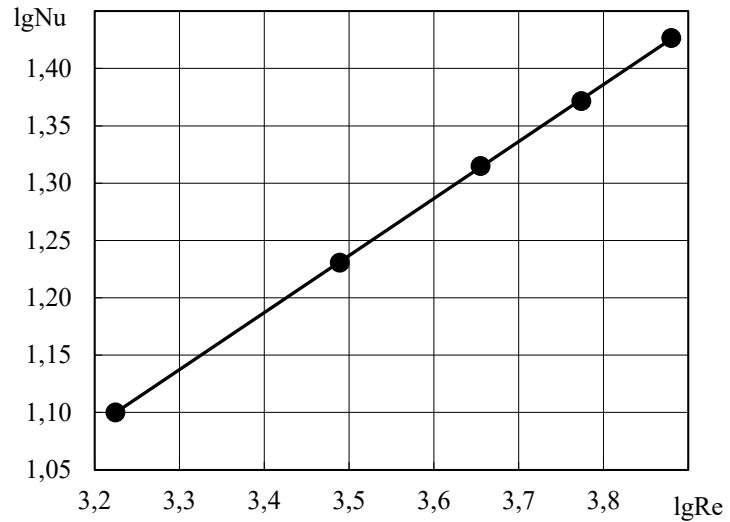
Детальна схема ПТ на основі пучка з коридорним розташуванням плоско-овальних труб, оребрених поперечними колективними плоскими ребрами з поперечними гофрами (виштаповками) на них



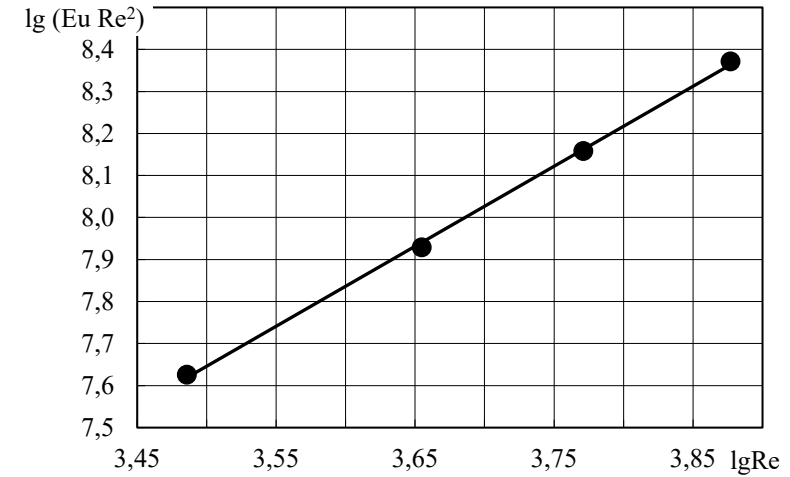
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Параметр	Од. виміру	Теплообмінник	Номер режиму				
			1	2	3	4	5
G_b	кг/с	I	0,105	0,199	0,299	0,392	0,505
		II	0,092	0,202	0,300	0,385	0,520
		III	0,088	0,180	0,310	0,402	0,510
G_w	кг/с	I, II, III	2,26				
t_{b1}	°C	I	104,0	115,0	120,6	117,5	118,9
		II	108,3	109,6	113,9	112,3	117,6
		III	108,7	110,4	117,9	114,4	120,1
t_{b2}	°C	I	33,8	43,2	50,7	55,4	61,0
		II	43,9	55,2	63,4	67,5	75,0
		III	39,4	49,6	61,5	65,1	72,5
t_{w1}	°C	I	31,5	32,6	34,1	35,3	37,0
		II	34,1	35,6	37,1	38,5	40,6
		III	31,5	32,6	34,1	35,3	37,0
t_{w2}	°C	I	32,3	34,1	36,3	37,9	40,1
T_{wf}	K	I	304,9	306,4	308,2	309,6	311,6
T_{rf}	K	I	325,0	340,9	349,8	352,7	357,5
P_1	кПа	I	153,836	152,268	156,188	151,484	154,620
		II	153,231	152,310	154,170	152,388	155,500
		III	153,500	152,937	157,150	153,934	157,335
R_f	(м ² ·К)/Вт	I, II, III	2,2·10 ⁻⁰⁶				
w_w	м/с	I, II, III	3,52				
Re_w	–	I	15587,59	16067,25	16681,63	17147,33	17817,27
Re_{dw}	–	I	1679,6	3066,1	4515,3	5881,4	7498,2
Nu_{kdw}	–	I	15,36	16,89	20,55	23,29	26,43
$lg Re_{dw}$	–	I	3,23	3,49	3,65	3,77	3,87
$lg Nu_{kdw}$	–	I	1,1	1,22752	1,312863	1,367099	1,422121
k	Вт/(м ² ·К)	I	156,96	177,61	215,82	242,29	273,15
α_n	Вт/(м ² ·К)	I	167,12	190,46	234,65	265,92	302,89
α_k	Вт/(м ² ·К)	I	174,23	199,65	248,51	283,62	325,74
η	–	I	0,968	0,871	0,808	0,755	0,707
		II	0,865	0,733	0,657	0,607	0,548
		III	0,881	0,768	0,667	0,614	0,568
Eu	–	I	–	4,673	4,170	4,144	4,165
$Eu \cdot Re^2$	–	I	–	43928552,6	85025759,3	143355485,6	234173388,3
$lg Eu$	–	I	–	0,670	0,620	0,617	0,620
$lg Re$	–	I	–	3,487	3,655	3,769	3,875
$lg(Eu \cdot Re^2)$	–	I	–	7,643	7,930	8,156	8,370
Δp	мм вод. ст.	I	–	205	420	760	1290
		II	107	468	1022	1702	3026
		III	110	402	1165	1996	3218

Таблиця 2
Режими випробування
теплообмінників I, II, III
та отримані параметри



Експериментальні точки
та лінія тренду для визначення
залежності по тепловіддачі



Експериментальні точки
та лінія тренду для визначення
залежності з опору за повітрям



Узагальнена залежність для визначення конвективних коефіцієнтів тепловіддачі, α_k , при коридорному розташуванні трубок

для чисел $Re_{dw} = 400 \dots 9000$

$$Nu_{kd_w} = 0,39 \cdot \left(\frac{d_w}{S_4}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{S_2 - S_3}{S_4}\right)^{-0,14} \cdot \left(1 + 1,9 \frac{h_r e}{S^2}\right) \cdot Re_{dw}^{0,495} \quad (4)$$

Узагальнена залежність для визначення опору за повітрям

значення коефіцієнту $m = 1,3$

$$Eu \cdot Re_{dw}^2 = \Phi_{1dw} \cdot Re_{dw}^m \cdot Z_2 \quad (5)$$

для чисел $Re_{de} > 2000$

$$\Phi_{1dw} = 0,535 \cdot \left(\frac{dw}{d_3}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{S_2 - d_w}{S_1 - d_w}\right)^{0,68} \cdot \left(1 + 1,9 \frac{h_r e}{S^2}\right) \quad (6)$$

для чисел $Re_{de} < 2000$

$$\Phi_{1dw} = 41,114 \cdot \left(\frac{d_w}{d_3}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{S_2 - d_w}{S_1 - d_w}\right)^{0,68} \cdot \left(1 + 1,9 \frac{h_r e}{S^2}\right) \cdot 1,65^{\lg Re - 2,53} \quad (7)$$



Таблиця 3 Порівняння даних експерименту і розрахункових даних основних параметрів

Найменування параметра, од. виміру	Теплообмінник	Номер режиму				
		1	2	3	4	5
Опір за повітрям, Δp , мм вод. ст.	Дані експерименту					
	I	–	205	420	760	1290
	II	107	468	1022	1702	3026
	III	110	402	1165	1996	3218
	Дані розрахунку					
	I	–	193,7	398,2	714,7	1185,9
II	102,6	444,5	966,1	1602,4	2785,9	
III	105,8	383,7	1106,9	1887,5	2979,8	
Відхилення $\delta \Delta p$	I	–	0,055	0,052	0,060	0,081
	II	0,041	0,050	0,055	0,059	0,079
	III	0,038	0,045	0,050	0,054	0,074
Температура повітря на виході з ОНП, t_{B2} , °C	Дані експерименту					
	I	33,8	43,2	50,7	55,4	61,0
	II	43,9	55,2	63,4	67,5	75,0
	III	39,4	49,6	61,5	65,1	72,5
	Дані розрахунку					
	I	33,98	43,40	50,69	55,45	61,29
II	44,11	55,33	63,41	67,56	75,27	
III	39,65	49,75	61,51	65,12	72,75	
Відхилення Δt_{B2} , °C	I	0,18	0,20	0,01	0,05	0,29
	II	0,21	0,13	0,01	0,06	0,27
	III	0,25	0,15	0,01	0,02	0,25



Таблиця 4 Співставлення даних розрахунку
і експерименту по температурі та опору

Найменування параметра, од. виміру	Значення	
	Експ.	Розрах.
Опір за повітрям, Δp , мм вод. ст.	420	362,9
Відхилення $\delta \Delta p$	0,136	
Температура повітря на виході з ОНП, $t_{в2}$, °C	50,7	55,31
Відхилення $\Delta t_{в2}$, °C	4,61	

$$L \times B \times H = 184 \times 100 \times 110 \text{ мм.}$$



$$L \times B \times H = 345 \times 68 \times 50 \text{ мм.}$$





Висновки

Отримані залежності дозволяють проводити розрахунки теплообмінників, серцевини яких виготовлені з сучасної поверхні теплообміну. Можливість використання цих залежностей підтверджена експериментальними дослідженнями. На відміну від відомих залежностей подібного характеру, запропоновані залежності надаються в єдиному комплексі, який варто використовувати у сучасних методиках розрахунку теплообмінників. Особливості отримання таких залежностей розкриті з урахуванням сучасних можливостей проведення досліджень.