

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ЮСУПОВ ОТАБЕК РУСТАМОВИЧ

**Повышение материалосбережение теплообменных аппаратов на
основе эксергетического анализа**

**5A320303 - «Машины и агрегаты холодильный и криогенной техники,
систем кондиционирования»**

Кафедра: «Холодильная и криогенная техника»

**Руководитель:
д.т.н. проф. Закиров С.Г.**

Ташкент – 2017 г.

	.....	4
1.	.....	9
1.1.	.....	9
1.2.	.....	16
1.3.	.....	23
1.4.	.....	34
2.	.....	41
2.1.	.....	41
2.2.	.....	46
2.3.	.....	50
3.	.....	57
3.1.	.....	57
3.2.	.....	66
3.3.	.....	72
2.3.1.	.....	72
2.3.1.	.....	74
	.....	76
	.....	74

c ó ;
 D ó ;
 D_H ó ;
 d ó ;
 d_H ó ;
 d_3 ó ;
 d_1 - ;
 d_2 - ;
 F - ;
 G - ;
 h - ;
 L, l - ;
 p - ;
 Δp - ;
 Q - ;
 q - ;
 r - ;
 t - ;
 Δt - ;
 t, T - ;
 T_0 - ;
 V - ;
 α - ;
 K - ;
 δ - ;
 ρ - ;
 λ - ;
 μ - ;
 ω - ;
 ξ - ;
 E - ;
 e - ;
 β - ;
 D - ;
 S - ;
 Re - ;
 Pr - ;
 Nu - .

70 ó 80%,

[1]

- «
2017-2021 [2]»

ó

Актуальность работы.

Научная новизна

ó

ó

ó

ó

6

Практическая ценность.

1.

2.

3.

Публикации.

2

Структура и объем работы.

, 8 , 10 80 , 5

$\hat{0}$

,

.

,

,

.

,

.

-

,

,

.

,

$\hat{0}$

$\hat{0}$

.

-

,

,

.

(,

,

)

.

,

.

,

[7].

.

.

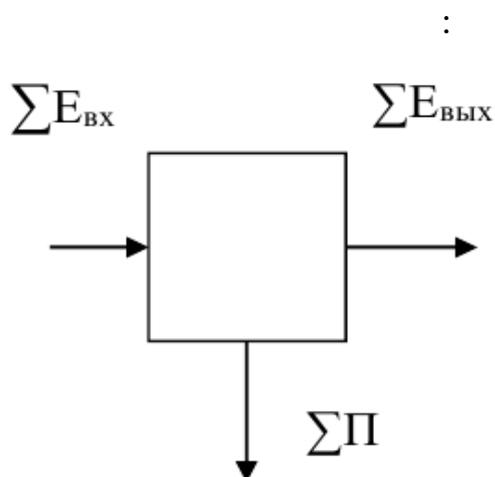
,

,

[4].

.1.1.1.

Энергия системы	Эксергия системы
	,
,	(,)
	;
,	



.1.1.1.

Эксергией () теплоты ()
 в цикле постоянных ,
 холодным является окружающая среда .

$$\eta_{\text{карно}}^{\text{max}} = \frac{A_{\text{расп}}^{\text{max}}}{q_1} = 1 - \frac{T_0}{T_1} \quad (1.2.1)$$

q_1 - , 1 кг .
 $(1 - \frac{T_0}{T_1})$ - коэффициентом
 эксергической ценности .

(1.2.1)

$$A_{\text{расп}}^{\text{max}} = q_1(1 - \frac{T_0}{T_1}) \quad (1.2.2)$$

- .
 ,
 , в идеальном случае
 . $T_1 = T_0$ ()

Следует напомнить, в циклах (располагаемая)
 равна абсолютной работе , :

$$A_{\text{расп}}^{\text{max}} = A_{\text{max}} \quad (1.2.3)$$

dq_1 ,

$$dA_{\text{max}} = dq_1(1 - \frac{T_0}{T_1}) \quad (1.2.4)$$

T_1 T_1

$$A_{\text{max}} = \int dq_1 - T_0 \int_{T_{1\text{нач}}}^{T_{1\text{кон}}} \frac{dq_1}{T} \quad (1.2.5)$$

обратимых $dq = TdS,$

$$A_{\max} = q_1 - T_0(S_{1\text{кон}}^{\text{обр}} - S_{1\text{нач}}^{\text{обр}}) \quad (1.2.6)$$

$$\Delta S_1^{\text{обр}} = S_{1\text{кон}}^{\text{обр}} - S_{1\text{нач}}^{\text{обр}}$$

$$A_{\max} = q_1 - T_0 \Delta S_1^{\text{обр}} \quad (1.2.7)$$

$$T_0 \Delta S_1^{\text{обр}} \text{ ó } ,$$

в обратимом

1)

2)

3)

*В равновесных изменения энтропии
одинаковы.*

процессов теплообмена

$$(\Delta S_{\text{окр}})$$

$$(\Delta S_{\text{сист}}):$$

$$\Delta S_{\text{необр}} = \Delta S_{\text{окр}} - \Delta S_{\text{сист}} \quad (1.2.8)$$

$$\Delta A_{\max} = T_0 \Delta S_{\text{необр}} \quad (1.2.9)$$

q ,

ΔS_H

·
один цикл

$$\Delta S_{\Sigma H} = \Delta S_{\text{необр}} + \Delta S_H \quad (1.2.10)$$

дополнительные

:

$$\Delta A_{\max} = T_0 \Delta S_{\Sigma H} \quad (1.2.11)$$

реальном

() ()

$$A_{\max}^{\text{необр}} = A_{\max} - \Delta A_{\max} = A_{\max} - T_0 \Delta S_{\Sigma H} \quad (1.2.12)$$

$$A_{\max}^{\text{необр}} = q_1 - T_0 (S_{1\text{кон}}^{\text{обр}} - S_{1\text{нач}}^{\text{обр}}) - T_0 \Delta S_{\Sigma H} \quad (1.2.13)$$

, анергия в циклах б часть подведенной q_1 ,

·
(1.2.13)

$$\text{анергия} = T_0 (S_{1\text{кон}}^{\text{обр}} - S_{1\text{нач}}^{\text{обр}}) + T_0 \Delta S_{\Sigma H} = T_0 \Delta S_1^{\text{обр}} + T_0 \Delta S_{\Sigma H} \quad (1.2.14)$$

$$\text{анергия} = T_0 (\Delta S_1^{\text{обр}} + \Delta S_{\Sigma H}) \quad (1.2.15)$$

(1.2.13) (1.2.15) , анергия б это потеря эксергии

теплоты,

сумму

$$T_0 \Delta S_1^{\text{обр}} = |q_2|, \quad q_2 \text{ б}$$

б

(

$$A_{\max}^{\text{необр}} \ll \dots$$

обратимых :

$$A_{\max}^{\text{необр}} = A_{\max} = ex_T \quad (1.2.16)$$

(1.2.13),

$$A_{\max}^{\text{необр}} = A_{\max} - T_0 \Delta S_{\Sigma H} \quad (1.2.17)$$

внеобратимом

$$(A_{\max}^{\text{необр}})$$

$$ex_T = A_{\max} = q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \quad (1.2.18)$$

T_1 ,

T_0 .

$$S_{1\text{кон}}^{\text{обр}} - S_{1\text{нач}}^{\text{обр}} = \frac{q_1}{T_1} \quad (1.2.19)$$

(1.2.13)

$$A_{\max}^{\text{необр}} = q_1 - T_0 \frac{q_1}{T_1} - T_0 \Delta S_{\Sigma H} \quad (1.2.20)$$

в необратимых

ex_T

$T_1 \quad T_0$.

()

$$\eta_{ex_T} = \frac{A_{\max}^{необр}}{ex_T} = \frac{A_{\max} - T_0 \Delta S_{\Sigma H}}{A_{\max}} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\Sigma H}}{ex_T} \quad (1.2.21)$$

$$\eta_{ex_T} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\Sigma H}}{ex_T} \quad (1.2.22)$$

, , , $\eta_{ex_T} = 1$.

$$q_{a-b} = \int_{S_a}^{S_b} T dS$$

q_{a-b}

q_1

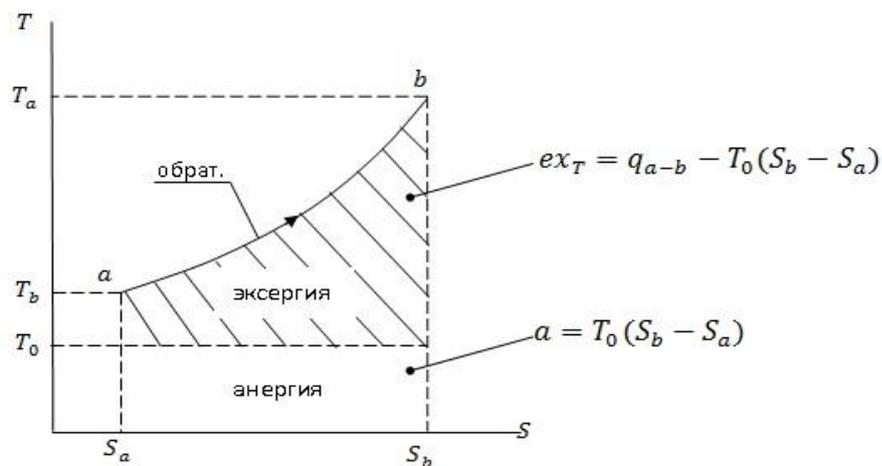
$$T_0, \quad (1.2.11)$$

$$ex_T = A_{\max} = q_{a-b} - T_0 \Delta S_{a-b}^{обр} \quad (1.2.23)$$

$$\Delta S_{a-b}^{обр} = S_a - S_b$$

$a-b$

$$a = T_0 \Delta S_{a-b}^{обр} \quad (1.2.24)$$



.1.2.1.

$a-b$.

(1.2.23) (1.2.24)

$$ex_T = q_{a-b} - a$$

(1.2.25)

.10, $T-S$

обратимый

$a-b$

[45].

, - ,
.
, ,
,
, .
:
,
,

ó
[5].

- [8]:
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
- , .

1.

.

,

[5-7]:

ó

(

)

;

ó

,

,

;

ó

;

ó

;

ó

.

2.

,

,

,

,

,

,

,

.

3.

,

,

,

,

.

4.

()

Re

[6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 22,]

Re

- [18, 20].

,

,

,

-

.

,

,

.

.

[23]:

1)

:

(

,

. .);

,

;

2)

,

-

:

(

,

),

,

:

1)

-

;

2)

.

,

.

.

[24, 25, 26, 27, 28, 29, 30].

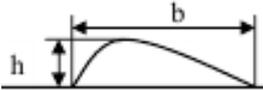
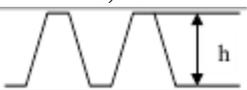
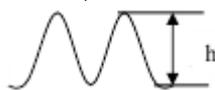
32]. [31, 1.3.1.

[33] Pr < 1, 1.3.2.

1.2 [33]. 1.3.1. 1.3.2,

1.3.1.

Способ интенсификации теплообмена	Относительная длина канала	Диапазон чисел Re	Среда
(0,35 < D/S < 1,76)	35,3 D	$1,7 \cdot 10^3$ ÷ $2 \cdot 10^4$	
(0,13 < D/S < 1,31)	35,3 D	$1,7 \cdot 10^3$ ÷ $2 \cdot 10^4$	
(0 < D/S < 0,25)	56,7 D	10^4 ÷ $64 \cdot 10^4$	
(d=0,052; 0,063; 0,072)	68 D	$3 \cdot 10^3$ ÷ $3 \cdot 10^5$	
(2,5 < D/S < 11)	20 D	160 ÷ 5000	
(3,16 < D/S < 9,5)	19 D	120 ÷ 5500	
(1,8 < D/S < 11)	20 D	$6 \cdot 10^3$ ÷ $1 \cdot 10^5$,

Автор	Q/Q_0	Re	Профиль выст упа	$Nu-Re^m$ и m	$\xi -Re^n$ и n	Вид канала
...	1,4	10^4	$h/R=0,19$ 	0,7		$D = 25$,
.	1,5 1,43	10^4 10^5	$h/R = 0,16$ 		0	$D = 50$,
.	1,3 1,17	10^4 10^5				
...	1,22 1,37	10^4 10^5	$h/R = 0,13$ 	0,92		
..	1,42 1,36	10^4 10^5	$h/R = 0,43$ 	0,8	0,25	$D = 10$,
.	1,5 1,36	10^4 10^5	$h/R = 0,105$ 		0,2	
...	1,51 1,46	10^4 10^5	$h/R = 0,12$ 	0,87		$D = 20$, ($D = 10$)
..	1,42 1,50	10^4 10^5	$h/R = 0,781$ 	1	0	
...	1,36 1,17	10^4 10^5	$h/R = 0,04$ 		0	
...	1,5 1,18	10^4 10^5	$h/R = 0,04$ 	0,8		$D = 20$,
.. , ...	1,67	10^4				

[9],

$$(Nu/Nu_0) = f(Re), \tag{1.3.1}$$

«0»

(1.3.1)

.1.3.1.

[6,24,27,34,35]

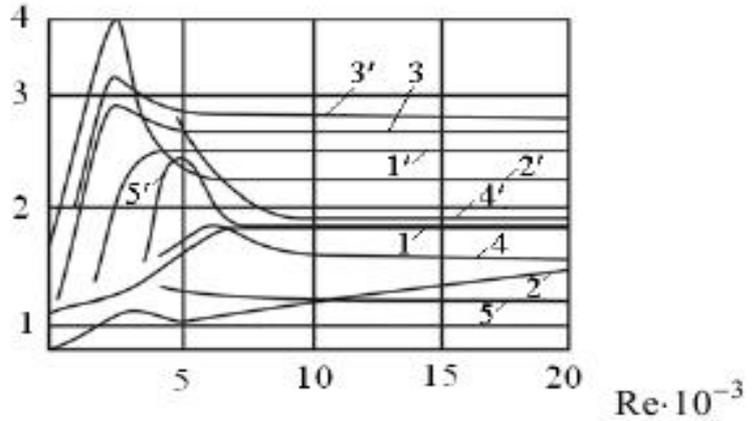
Nu/Nu_0

$Re,$

.1.3.1,

Re 3000, . .

$$\overline{Nu} / \overline{Nu}_0$$



. 1.3.1.

: 1, 1' - , = 45
 75 [27]; 2, 2' - , $d/D = 0,983$ 0,875 [30]; 3, 3' -
 , $S/D = 3,25$ 1 [34]; 4, 4' -
 , $S/D = 2,17$ 0,724 [35]; 5, 5' - , $S/D =$
 19 3,16 [24].

$$Nu/Nu_0$$

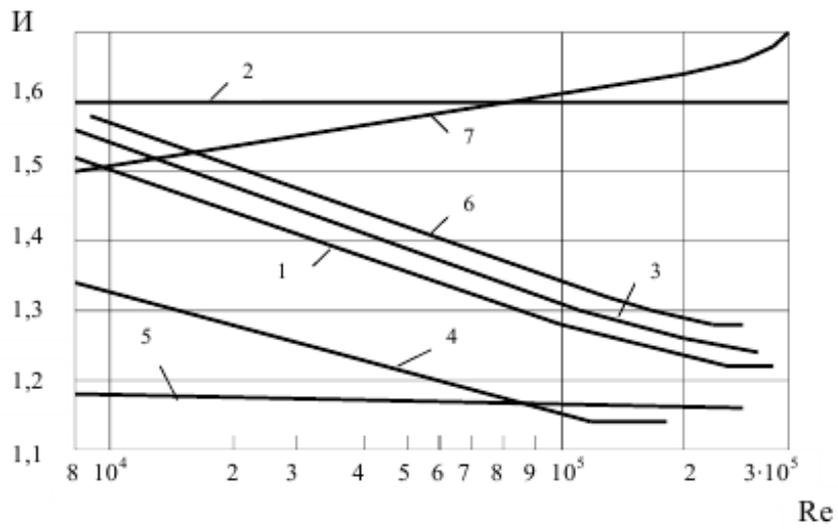
$$Re > 8000$$

(, . .),

$$(Nu / Nu_0) / (/ o) = f (Re),$$

[37],

1.3.2. $\eta = (\text{Nu} / \text{Nu}_0) / (S/S_0)$.



1.3.2.

: 1-7 -

:

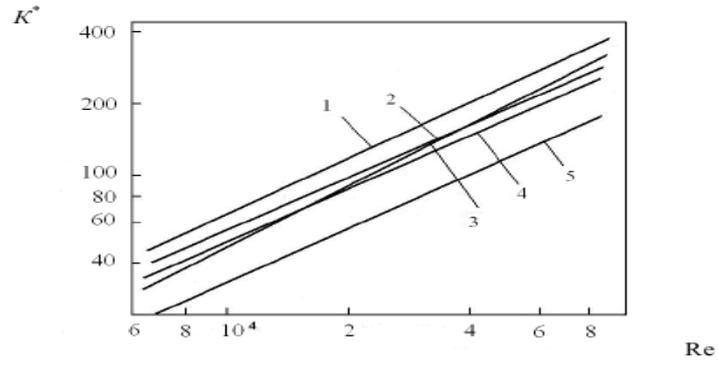
[36]

1.3.3.

K^*

Nu.

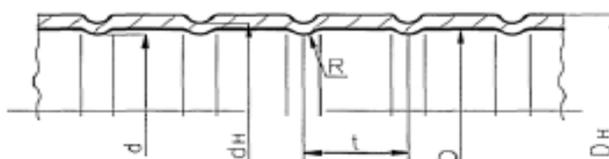
.3,



.1.3.3.

- : 1 -
- ; 2 -
- ; 3 -
- ; 4 -
- ; 5 -

1.4. Интенсификация теплообмена в каналах с кольцевыми турбулизаторами



.1.4.1.

(. 1.4.1.).

$$(Nu / Nu_0) > (x / x_0)$$

$$Nu / Nu_0 = 2.65, 2.82, 3.12,$$

$$Re = 10^4, 10^5, 4 \cdot 10^5.$$

$$Nu / Nu_0 = 4.09 \quad 3.39 \quad = 0.7 \quad R$$

$$= 10^4 \quad 10^5$$

1,5-2

$$R \text{ (.4).}$$

$$(\quad R /$$

D).

$$(Re, d / D, t / D).$$

Интенсификация теплообмена при использовании периодически кольцевых выступов.

[5].

$1/D$

$Re,$
 $d/D.$

[6].

Тепловая эффективность труб с внутренними выступами.

Re

[9-

34].

(

)

(

)

(

)

(

),

Re [8].

24%.

(

) £

25%.

1,4
- 1,33 [37].

h/D

t/h

()

« »

(3,8-4,3)

$d/D = 0,6 \quad t/h = 10$ (d -

).

25-40%

$$0,1 > 2h/D >$$

0,02,
 h/D

$$- \quad 25 > t/h > 10, \\ t/h,$$

$$Re = 10^4 - 10^5.$$

$$h/d_3 = 0,01 - 0,03,$$

$$- h/d_3 = 0,05 - 0,025 [6-26].$$

1.

$$l/h = 2-12$$

$$l/h = 8-10$$

$$: /_0 = min,$$

$$- \quad : Nu/e = max,$$

$$l/h = 4-12$$

$$(d/D = 0,94-0,96; t/h = 9-12; Re = 3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4),$$

[5,6,7].

[6]:

) ,

;

)

;

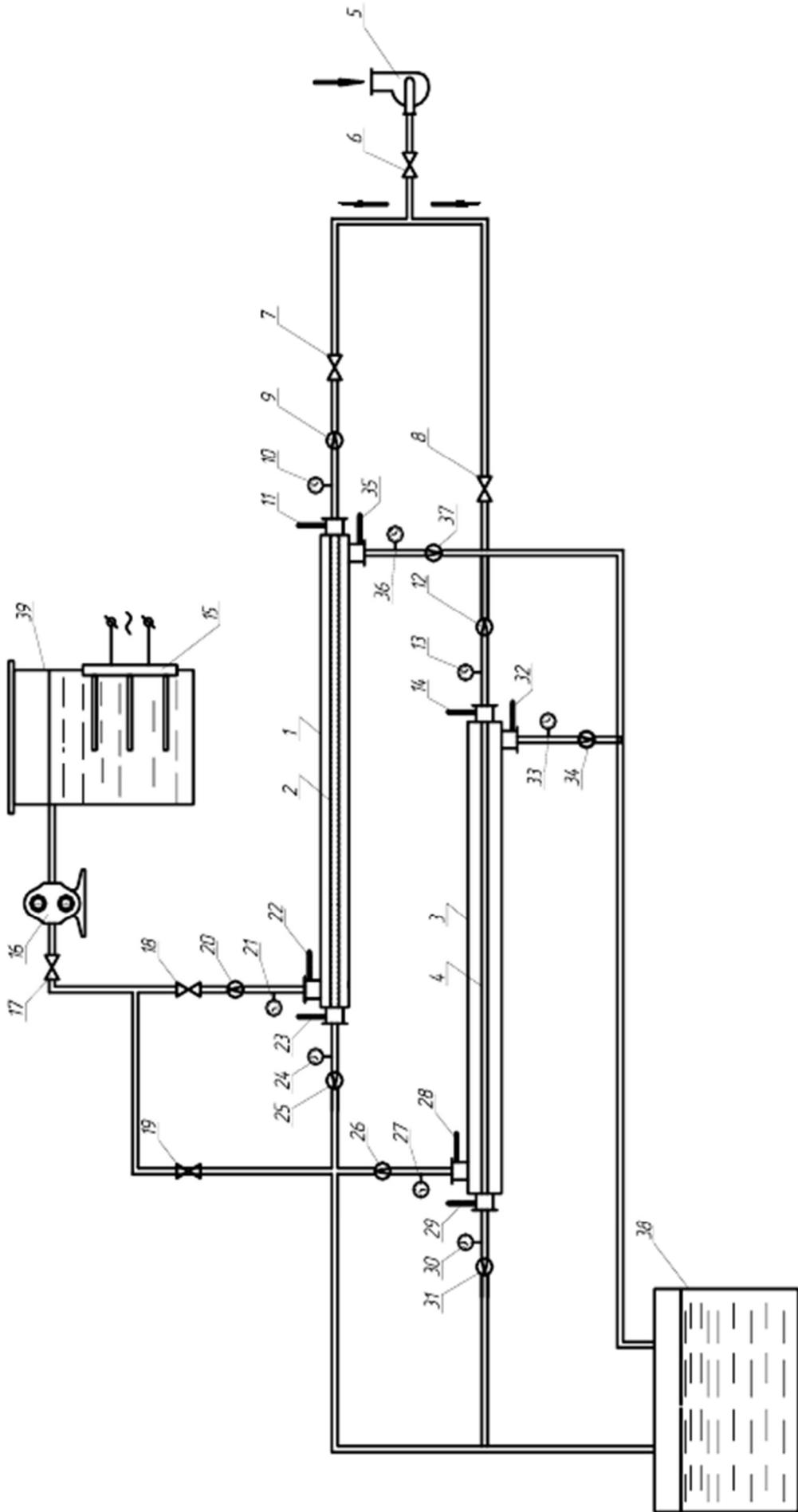
)

;

) ()
,
;
)
,
;
) - ()
);
) , ,

15%.

,
,
,
.
.
:
,
,
()
; . [9].



.2.1.1.

12×2×2000

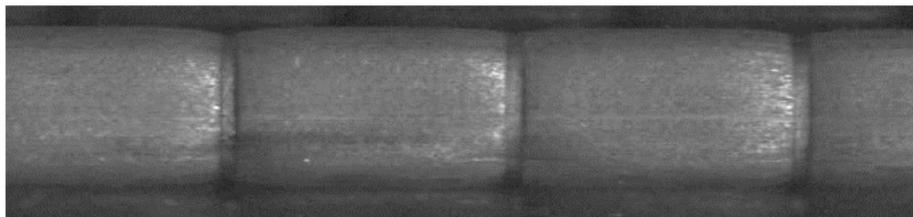
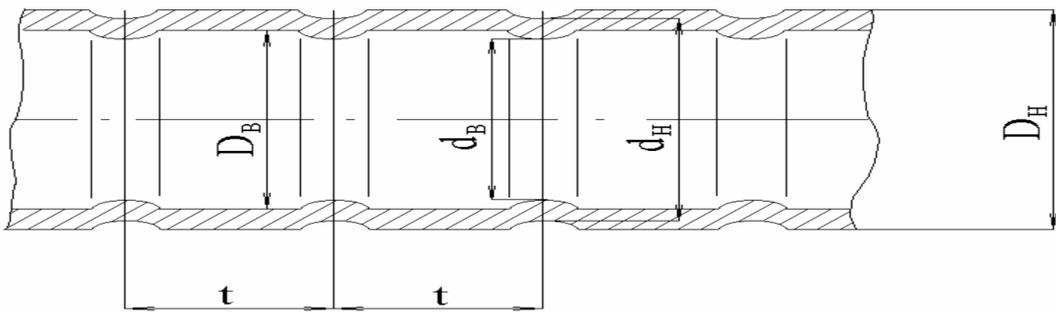
$$F=0,06908^2$$

: 2300 < Re < 10000.

2.1.1, 2.1.2

2.1.1.

D ,	D ,	t/D	d / D	L,
12	10	1	0,91	2000



2.1.2.

: 40690⁰ ,
: 20670⁰ . 0,2

():

(5)

(6).

(9) (12),

(7) (8).

(10) (13).

(11) (14)

.

:

(25) (31),

(24), (30)

(23), (29).

.

():

-

(15)

(39),

(1) (3)

(16)

(17), (18) (19).

(20) (26).

(21) (27).

(22) (28)

.

:

(32) (35),

(33) (36)

,

(34) (37)

(38).

$$\Delta p = \Delta p_{21} \tag{2.2.3}$$

$$Q = \alpha \Delta t \pi D l \quad Q_{21} = \alpha_{21} \Delta t_{21} \pi D l_{21} \quad (\quad \alpha \quad -$$

$$; \Delta t \quad - \quad ; D \quad -$$

$$; l \quad - \quad)$$

$$(\Delta t = \Delta t_{21}),$$

(2.1.1)

$$\alpha l / \alpha_{21} l_{21} = 1 \tag{2.2.4}$$

$$\pi D l = \pi D_{21} l_{21},$$

$$Q / Q_{21} = \alpha / \alpha_{21} \tag{2.2.5}$$

$$Nu / Nu_{21} \quad \xi / \xi_{21} \quad ,$$

$$\acute{o} \quad Nu_{21} \quad \xi_{21} \quad .$$

Re ξ

[46]:

$$\frac{Nu}{Nu_{zn}} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \left\{ 3 - 2 \exp \left[\frac{-18,2(1 - d/D)^{1,13}}{(t/D)^{0,326}} \right] \right\} \quad (2.2.6)$$

(2.2.6) $d/D=0,88 \text{ i } 0,98$ $t/D=0,25 \text{ i } 0,8$.

$d/D=0,88 \text{ i } 0,98$ $t/D=0,8 \text{ i } 2,5$:

$$\frac{Nu}{Nu_{zn}} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{30} \right] \left[\left(3,33 \frac{t}{D} - 16,33 \right) \frac{d}{D} + 17,33 - 3,33 \frac{t}{D} \right] \quad (2.2.7)$$

Re

$d/D=0,9 \text{ i } 0,97$ $t/D=0,5 \text{ i } 10$

:

$$\frac{Nu}{Nu_{zn}} = \left(1 + \frac{\lg Re_w - 4,6}{7,45} \right) \left(\frac{1,14 - 0,28 \sqrt{1 - \frac{d}{D}}}{1,14} \right) \times \exp \left[\frac{9(1 - d/D)}{(t/D)^{0,58}} \right] \quad (2.2.8)$$

Re_w

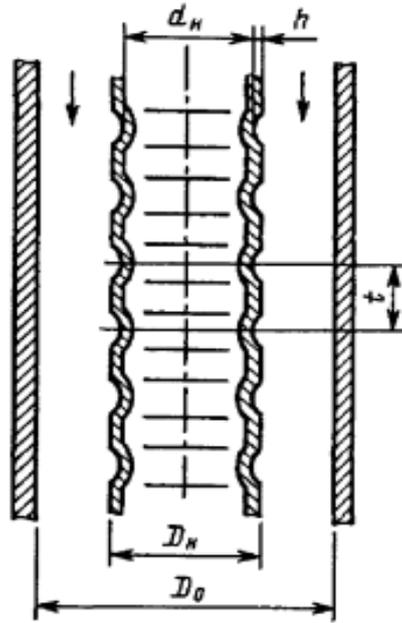
:

$$Nu_{zn} = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \quad (2.2.9)$$

:

$d/D=0,9 \text{ i } 0,97$ $t/D=0,5 \text{ i } 10$

$$\frac{\xi}{\xi_{zn}} = \left(1 + \frac{100(\lg Re - 4,6)(1 - d/D)^{1,65}}{\exp(t/D)^{0,3}} \right) \times \exp \left[\frac{25(1 - d/D)^{1,32}}{(t/D)^{0,75}} \right] \quad (2.2.10)$$



2.2.2.

$D = 12$

$D_0 = 16$

6

Nu/Nu_{27}

$d_H/D_H \quad t/D_H$

$(h/d_3 \quad t/d_3):$

$$\frac{Nu}{Nu_{zt}} = 1 + 0,64[1 - \exp(-35,8h/d_3)](1 - 0,274t/d_3) \quad (2.2.11)$$

$$h/d_3, t/d_3, D_H/D_0$$

d_3 :

$$Re \leq 3 \cdot 10^3$$

$$\xi/\xi_{zt} = 1 \quad (2.2.12)$$

$$Re = 3,1 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^4$$

$$\xi/\xi_{zt} = 1 + \{(7,55h/d_3)(\lg Re - 3,5) - 0,035 \sin[(1 - 22,44h/d_3)\pi]\}(1,4 - 0,488t/d_3) \quad (2.2.13)$$

Re=2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000; 5500; 6000; 6500; 7000; 7500;
8000; 8500; 9000; 9500; 10000.

: $d/D=0,91$.

«2»

«1».

2.3.1.

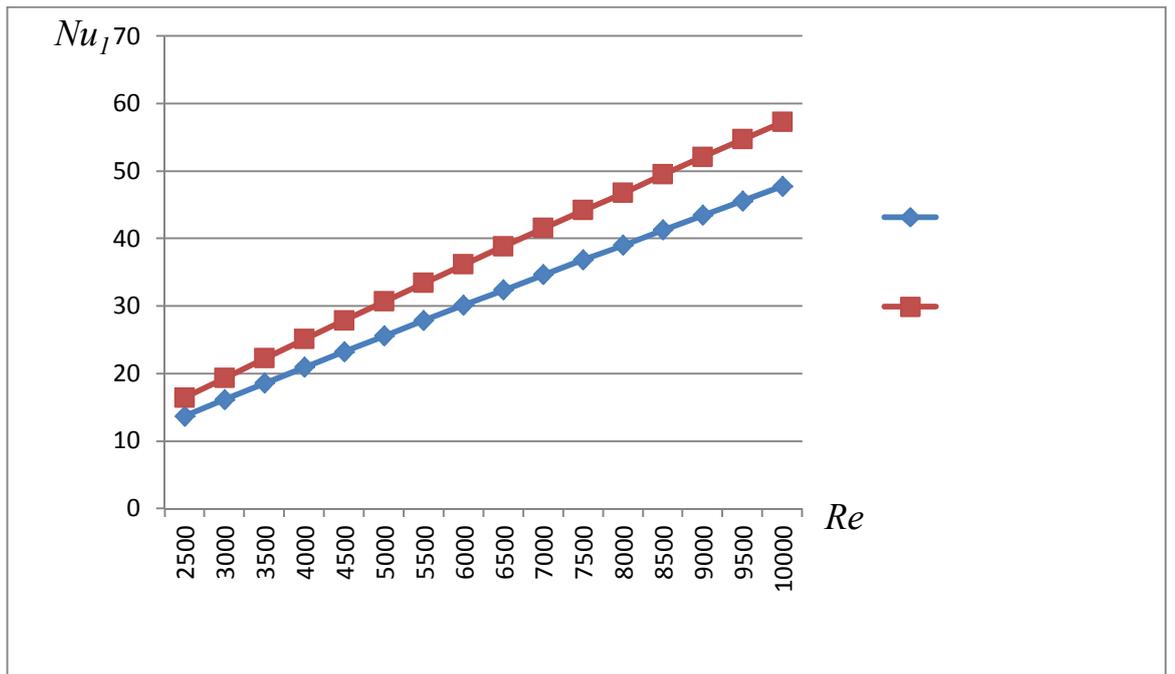
$d/D=0,91, t/D=1, h=0,45 \cdot 10^{-3} \quad d=4$

Re								
	Nu_{2n1}	$\alpha_{2n1},$ Bm/m^2K	Nu_{2n2}	$\alpha_{2n2},$ Bm/m^2K	Nu_1	$\alpha_1,$ Bm/m^2K	Nu_2	$\alpha_2,$ Bm/m^2K
2500	13,72	2291	16,46	1053	16,46	2749	34,23	2191
3000	16,16	2698	19,4	1241	19,35	3238	40,5	2592
3500	18,57	3101	22,3	1427	22,28	3721	46,67	2986
4000	20,94	3497	25,13	1608	25,12	4196	52,69	3372
4500	23,28	3887	27,94	1788	27,93	4665	58,67	3754
5000	25,6	4275	30,72	1966	30,72	5130	64,66	4138
5500	27,89	4657	33,47	2142	33,46	5589	70,5	4512
6000	30,16	5036	36,2	2316	36,19	6044	76,38	4888
6500	32,41	5412	38,9	2483	38,89	6495	82,19	5260
7000	34,65	5786	41,6	2662	41,58	6943	87,98	5630
7500	36,87	6157	44,25	2832	44,24	7388	93,67	5994
8000	39	6513	46,89	3001	46,8	7815	99,36	6359
8500	41,27	6892	49,52	3163	49,52	8270	104,98	6718
9000	43,45	7256	52,14	3337	52,14	8707	110,7	7084
9500	45,6	7615	54,74	3503	54,72	9138	116,32	7444
10000	47,77	7977	57,32	3668	57,3	9573	121,86	7799

2.3.2.

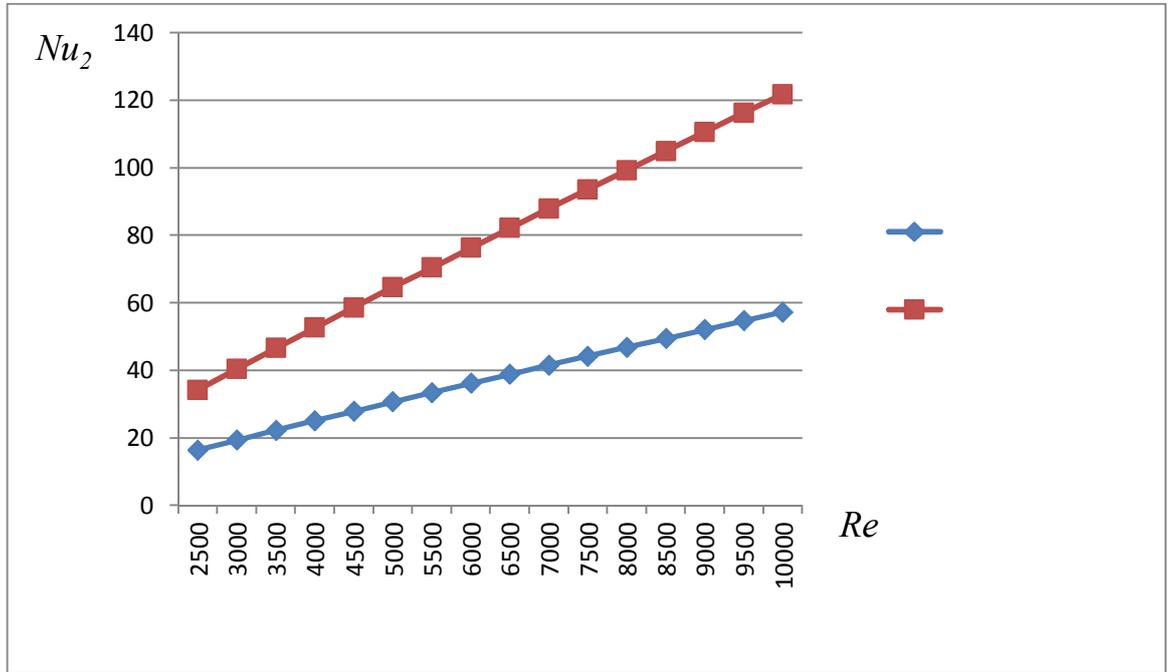
$d/D=0,91, t/D=1, h=0,45 \cdot 10^{-3} \quad d=4$

	, Re															
	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
$\frac{Nu_2}{Nu_{212}}$	2.07	2.087	2.093	2.096	2.099	2.105	2.106	2.1099	2.11	2.115	2.1168	2.119	2.1199	2.12	2.125	2.126
$\frac{\xi_2}{\xi_{212}}$	2.073	2.1	2.2	2.34	2.52	2.61	2.7	2.78	2.85	2.93	3.01	3.2	3.31	3.5	3.71	3.89



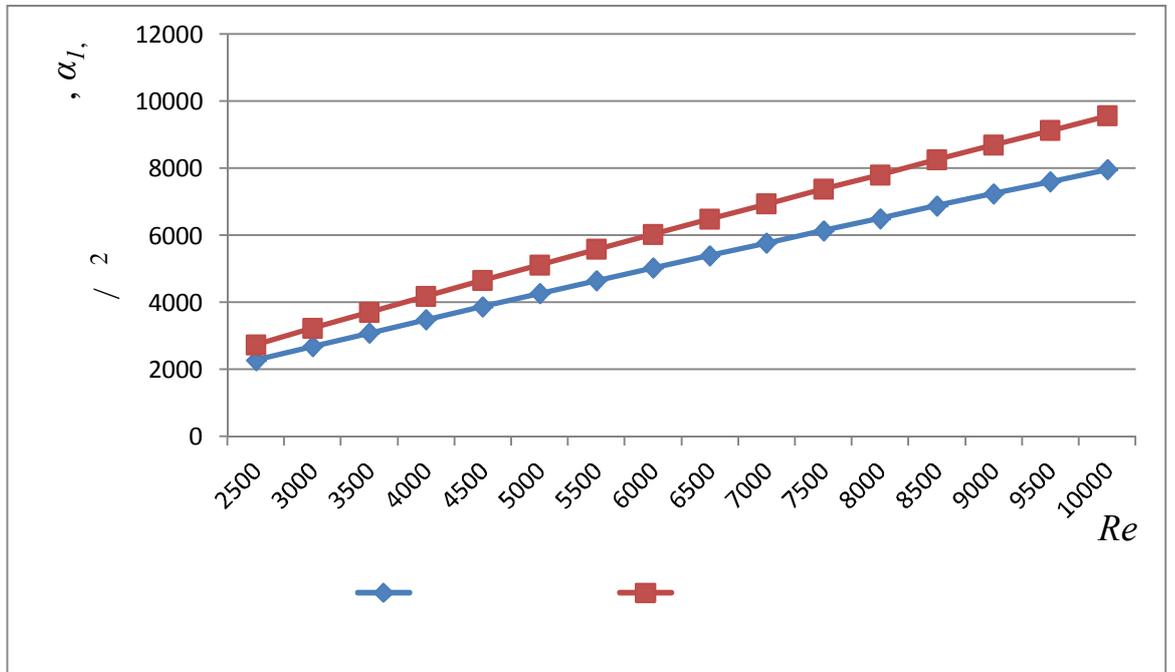
2.3.1.

() Re.



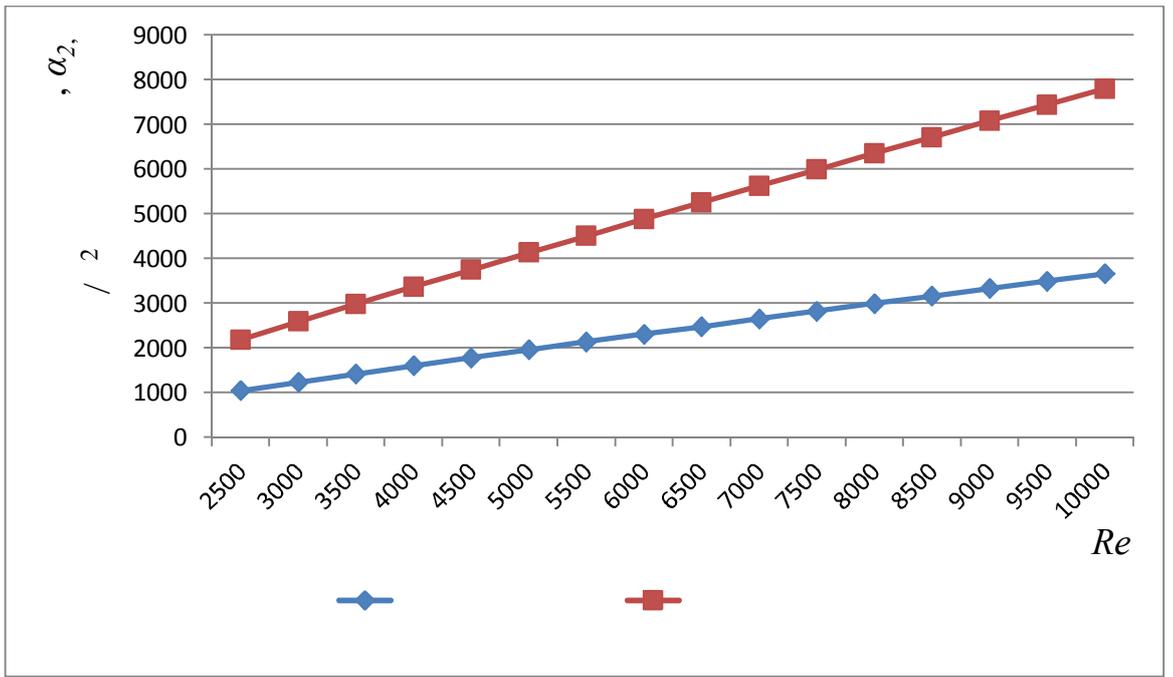
2.3.2.

Re .



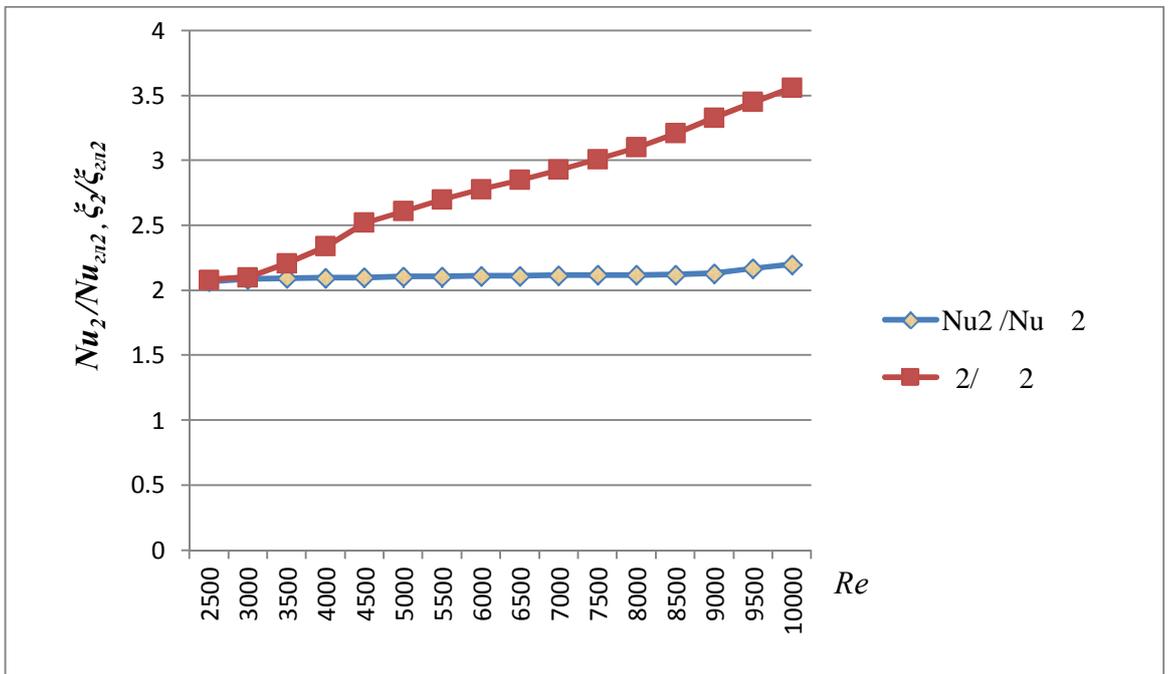
2.3.3.

Re .



. 2.3.4.

Re.



. 2.3.5.

Re.

Re=230065500

: $d/D=0,91$, $t/D=1$

Re

$d/D < 0,92$, . . .

[46].

,

,

.

-

.

,

,

,

,

,

.

,

-

,

,

-

,

.

,

,

.

.

,

,

.

(

,

,

).

$$Q = G_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = G_2 c_{p2} (t_2'' - t_2'), \quad (3.1.1)$$

G_1, c_{p1}

G_2, c_{p2}

; t_1', t_1'' t_2', t_2''

()

c_p

(3.1.1)

$$t' - t''.$$

$$Q = W_1(t_1' - t_1'') = W_2(t_2'' - t_2'), \quad (3.1.2)$$

$$W = Gc_p -$$

/ .

,

k

F ,

,

$$Q = k \left(\frac{1}{F} \int \Delta t dF \right) F = k \bar{\Delta t} F, \quad (3.1.3)$$

k -

$/(\text{ }^{2*}); \quad \bar{\Delta t}$ -

, ; F -

, 2 .

Q (

)

F

k

$\bar{\Delta t}$.

$2300 < Re < 10000$:

$$Nu_{21} = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \quad (3.1.4)$$

k

1

2

,

R_w

$R_{3_1} \quad R_{3_2}$.

()

$$k_{\bar{a}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_{\bar{a}}}{2\pi\lambda_w} \ln \frac{d_i}{d_{\bar{a}}} + \frac{d_{\bar{a}}}{\alpha_2 d_i}} \quad , \quad / \quad 2^* \quad (3.1.5)$$

$$k_{\bar{a}} \quad d_{\bar{a}} .$$

$$(3.1.3) \quad F = F_{\bar{a}} = \pi d_{\bar{a}} l \quad , \quad l - .$$

$$k_i = \frac{1}{\frac{d_i}{\alpha_1 d_{\bar{a}}} + \frac{d_i}{2\lambda_w} \ln \frac{d_i}{d_{\bar{a}}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad , \quad / \quad 2^* \quad (3.1.6)$$

$$k_i \quad d_i \quad , \quad F = F_i = \pi d_i l$$

$$, \quad d_i / d_{\bar{a}} < 2 \quad 4\% ,$$

$$\delta = (d_i - d_{\bar{a}}) / 2$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad , \quad / \quad 2^* \quad (3.1.7)$$

k

$$F = F_{\bar{N}_p} = \pi \frac{d_i + d_{\bar{a}}}{2} l .$$

(,)

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}} \quad , \quad (3.1.8)$$

$$: \Delta t' = t_1' - t_2' ; \Delta t'' = t_1'' - t_2''$$

$$: \Delta t' = t_1' - t_2'' ; \Delta t'' = t_1'' - t_2'$$

()

$t_{1\bar{n}\delta} \quad t_{2\bar{n}\delta}$

$\alpha_1 \quad \alpha_2 ,$

$$k \cdot \overline{\Delta t}.$$

$$t_{1\bar{n}\delta} \quad t_{2\bar{n}\delta}$$

δ ,

$$\overline{\Delta t}.$$

$$W_1 > W_2$$

$$t_{1\bar{n}\delta} = \frac{t_1' + t_1''}{2}; \quad t_{2cp} = t_{1cp} - \overline{\Delta t} \quad (3.1.9)$$

$$\delta_1 \quad \delta_2.$$

()

$$t_{w1} = t_{1\bar{n}\delta} - \frac{Q}{\alpha_1 F}; \quad t_{w2} = t_{2\bar{n}\delta} - \frac{Q}{\alpha_2 F} \quad (3.1.10)$$

$$Q - \quad (3.1.3).$$

()

$$t_{w_a} = t_{1\bar{n}\delta} - \frac{k_a \overline{\Delta t}}{\alpha_1},$$

$$t_{w_i} = t_{2\bar{n}\bar{d}} + \frac{k_{\hat{a}} \bar{\Delta t}}{\alpha_2} \frac{d_{\hat{a}}}{d_i}, \quad (3.1.11)$$

$$k_{\hat{a}} \quad (3.1.5).$$

$$\Delta p = \Sigma \Delta p_T + \Sigma \Delta p_M + \Sigma \Delta p_y + \Sigma \Delta p_c \quad (3.1.12)$$

$$\Sigma \Delta p_T -$$

$$\Delta p_T = \xi \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2}, \quad (3.1.13)$$

l - ; d -
 () ; ξ - ;
 ρ w - .
 (3.1.11) $\Sigma \Delta p_M$ -

(,
 . .)

$$\Delta p_M = \zeta \frac{\rho w^2}{2}, \quad (3.1.14)$$

ζ - .
 (1.20) $\Sigma \Delta p_y$ - ,

$$\Delta p_y = \rho_2 w_2^2 - \rho_1 w_1^2 \quad (3.1.15)$$

ρ_1, w_1 ; ρ_2, w_2 -

(3.1.11) $\Sigma \Delta p_c$ - ,

$$\Delta p_c = \pm g(\rho_0 - \rho)h,$$

g - ; ρ_0 ρ -
 ; h -

$$N = \frac{\Delta p G}{\rho \eta_k}, \quad (3.1.16)$$

η_k - .

, . . . , . , . - .

3.2. Методика эксергетического анализа теплообменного аппарата с кольцевыми турбулизаторами

$F, t_1, t_2, Q, q, Re,$

$t_0, T_0, \hat{\epsilon}$

Re, ξ

[46]:

$$\frac{Nu}{Nu_{zi}} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \left\{ 3 - 2 \exp \left[\frac{-18,2(1 - d/D)^{1,13}}{(t/D)^{0,326}} \right] \right\} \quad (3.2.1)$$

(2.2.6) $d/D=0,88 \text{ í } 0,98 \quad t/D=0,25 \text{ í } 0,8.$

$d/D=0,88 \text{ í } 0,98 \quad t/D=0,8 \text{ í } 2,5 :$

$$\frac{Nu}{Nu_{zi}} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{30} \right] \left[\left(3,33 \frac{t}{D} - 16,33 \right) \frac{d}{D} + 17,33 - 3,33 \frac{t}{D} \right] \quad (3.2.2)$$

Re

$d/D=0,9 \text{ í } 0,97 \quad t/D=0,5 \text{ í } 10$

:

$$\frac{Nu}{Nu_{zi}} = \left(1 + \frac{\lg Re_w - 4,6}{7,45} \right) \left(\frac{1,14 - 0,28 \sqrt{1 - \frac{d}{D}}}{1,14} \right) \times \exp \left[\frac{9(1 - d/D)}{(t/D)^{0,58}} \right] \quad (3.2.3)$$

Re_w

$$d/D=0,91 \quad 0,97 \quad t/D=0,51 \quad 10$$

$$\frac{\xi}{\xi_{z1}} = \left(1 + \frac{100(\lg Re - 4,6)(1 - d/D)^{1,65}}{\exp(t/D)^{0,3}}\right) \times \exp\left[\frac{25(1 - d/D)^{1,32}}{(t/D)^{0,75}}\right] \quad (3.2.4)$$

ó

$$d_H/D_H \quad t/D_H$$

Nu/Nu_{z1}

$(h/d_3 \quad t/d_3):$

$$\frac{Nu}{Nu_{z1}} = 1 + 0,64[1 - \exp(-35,8h/d_3)](1 - 0,274t/d_3) \quad (3.2.5)$$

$$h/d_3, \quad t/d_3 \quad D_H/D_0$$

$d_3:$

$$Re \leq 3 \cdot 10^3$$

$$\xi/\xi_{z1} = 1 \quad (3.2.6)$$

$$Re = 3,1 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^4$$

$$\xi/\xi_{z1} = 1 + \{(7,55h/d_3)(\lg \text{Re} - 3,5) - 0,035 \sin[(1 - 22,44h/d_3)\pi]\}(1,4 - 0,488t/d_3) \quad (3.2.7)$$

Эксергетический анализ теплообменного аппарата

$$\eta_{\text{ЭКС}} = E_{\text{ВЫХ}} / E_{\text{ВХ}}, \quad (3.2.8)$$

$$E_{\text{ВЫХ}} = G_1 e''_1 + G_2 e''_2 \quad ;$$

$$E_{\text{ВХ}} = G_1 e'_1 + G_2 e'_2 \quad ; G_1 \quad G_2 \quad ;$$

$$e_i = cP_i (T_i - T_0) - T_0 (cP_i \ln T_i/T_0 - R_i \ln P_i/P_0) \quad ; e''_1 \quad e''_2, e'_1 \quad e'_2 \quad ;$$

$$e_i = cP_i (T_i - T_0) - T_0 (cP_i \ln T_i/T_0 - R_i \ln P_i/P_0). \quad (3.2.9)$$

$$e_i = cP_i (T_i - T_0) - T_0 (cP_i \ln T_i/T_0 - R_i \ln P_i/P_0 + \Delta s_{\text{СМ}}) \quad (3.2.10)$$

$$cP_i \quad ; T_i \quad T_0 \quad ; P_i \quad P_0 \quad ; \Delta s_{\text{СМ}} \quad ;$$

:

$$e_i = cP_i (T_i - T_0) - T_0 [(cP_i \ln T_i/T_0 - \beta (P_i - P_0)/\rho_i), \quad (3.2.11)$$

$$\beta \acute{o} \quad (\quad) \quad , \quad ^{-1};$$

$$\rho_i \acute{o} \quad , \quad / \ 3; \ P_i - P_0 = \Delta P \acute{o}$$

,

,

,

.

.

- :

$$D_i = T_0 \Delta S_i \quad (3.2.12)$$

$$\Delta S_i = G_i \Delta s \acute{o} \quad , \quad i-$$

$$/ ; D_i \acute{o} \quad i- \quad , \quad i-$$

:

$$D_i = T_0 S_i , \quad (3.2.13)$$

$$S_i \acute{o} \quad ,$$

$$i- \quad , \quad / .$$

:

$$D_{\Delta T}, \quad D ,$$

$$D ,$$

.

,

:

$$\sum D = D_{\Delta T} + D_{\Delta P} + D_{OC}, \quad (3.2.14)$$

$$D_{\Delta T} - \quad , \quad ; D_{\Delta P} -$$

$$, \quad ; D_{OC} -$$

.

,

$$D_{\Delta T} = T_0 \Delta S_{\Delta T} = T_0 Q \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} = T_0 Q \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \quad (3.2.15)$$

Q ó T_1 T_2 ó T_0 ó

(, , . .)
()
).

$$D_{\Delta P} = Z_1 + Z_2, \quad (3.2.16)$$

$$D_{\Delta P_1} = T_0 G_1 \Delta S_{\Delta P_1} = T_0 G_1 - \frac{\beta_1 (P_1'' - P_1')}{\rho_1} \quad (3.2.17)$$

Z_1 Z_2 ó 1 2, .

$$D_{\Pi 3} = D_{\Pi 31} + D_{\Pi 32} = Q_{\Pi 31}^{\text{ПOT}} \kappa_1 + Q_{\Pi 32}^{\text{ПOT}} \kappa_2 = Q_{\Pi 31}^{\text{ПOT}} \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right) + Q_{\Pi 32}^{\text{ПOT}} \left(1 - \frac{T_0}{T_2} \right), \quad (3.2.18)$$

$Q_{\Pi 31}^{\text{ПOT}}$ $Q_{\Pi 32}^{\text{ПOT}}$ ó T_1 T_2 -

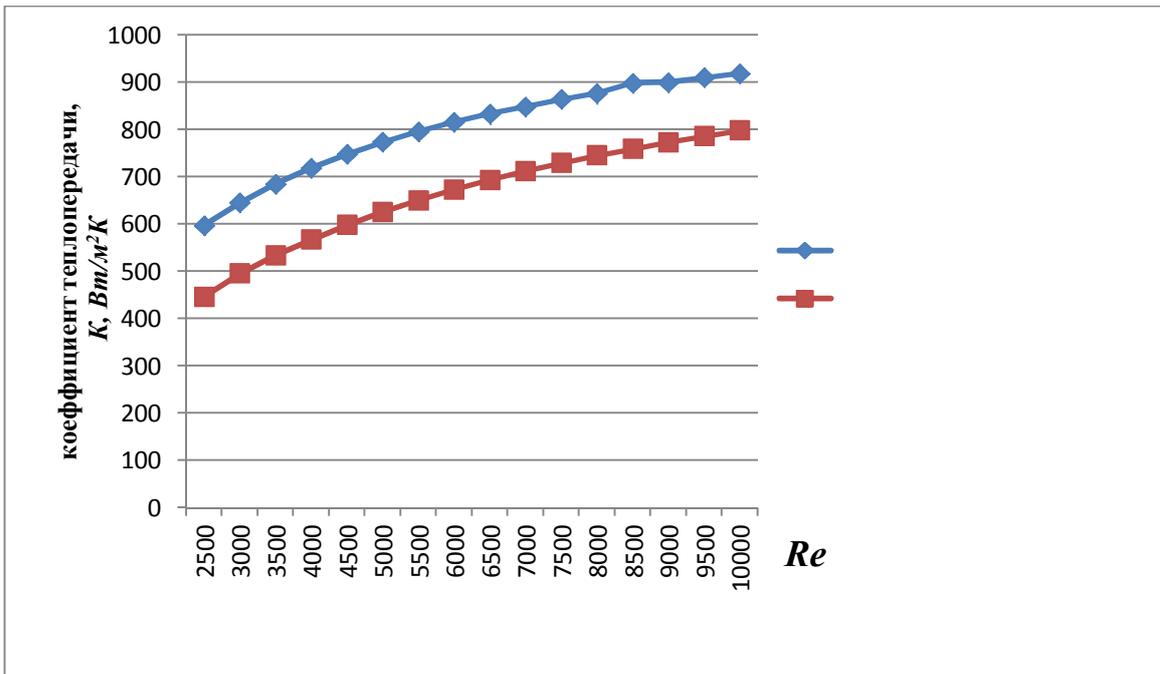
(, . . .
, -
, ,
, . .)

,

.

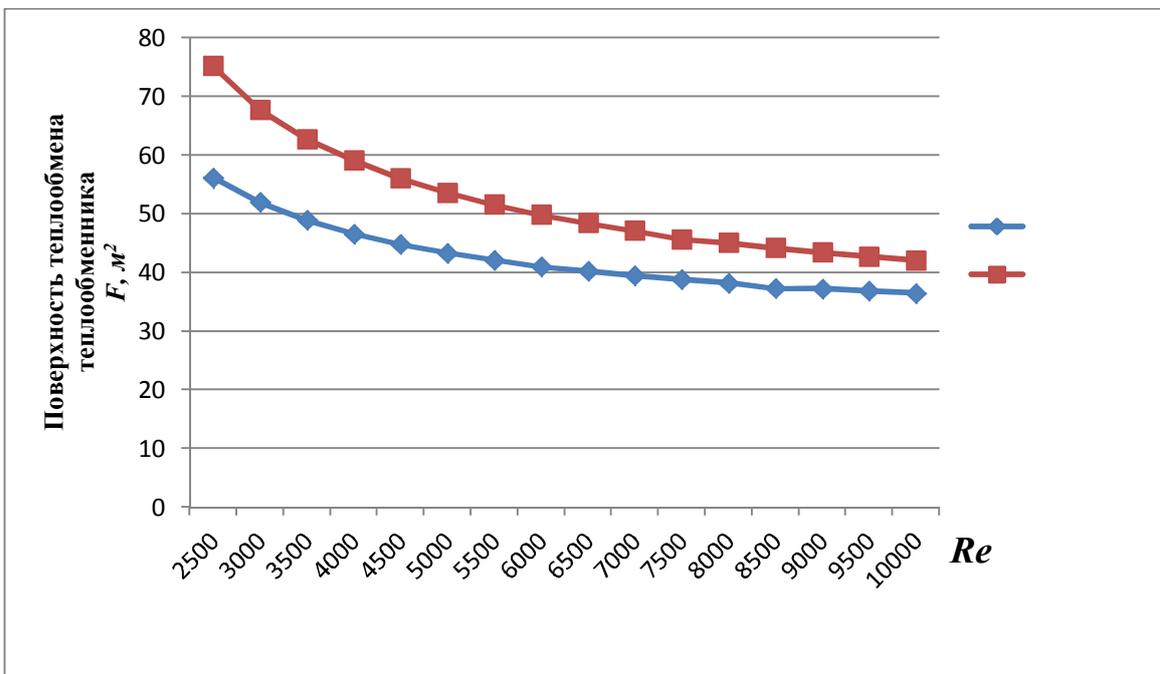
3.3.2.

ΣD_{Bm}	$D_{\Delta OC}$ Bm	$D_{\Delta T}$ Bm	$D_{\Delta P}$ Bm	$K,$ $Bm/m^2 K$	F, m^2	, Re
298561	100640	133000	64921	597	56,14	2500
309322	100640	133000	75682	645	51,96	3000
322274	100640	133000	88634	685	48,9	3500
326285	100640	133000	92645	719	46,6	4000
345981	100640	133000	112341	748	44,8	4500
359104	100640	133000	125464	774	43,3	5000
369515	100640	133000	135875	796	42,1	5500
379213	100640	133000	145573	816	41	6000
387098	100640	133000	153458	834	40,2	6500
402392	100640	133000	168752	849	39,48	7000
409891	100640	133000	176251	864	38,79	7500
415204	100640	133000	181564	877	38,2	8000
424894	100640	133000	191254	899	37,28	8500
432181	100640	133000	198541	900	37,24	9000
435096	100640	133000	201456	910	36,83	9500
448227	100640	133000	214587	919	36,47	10000



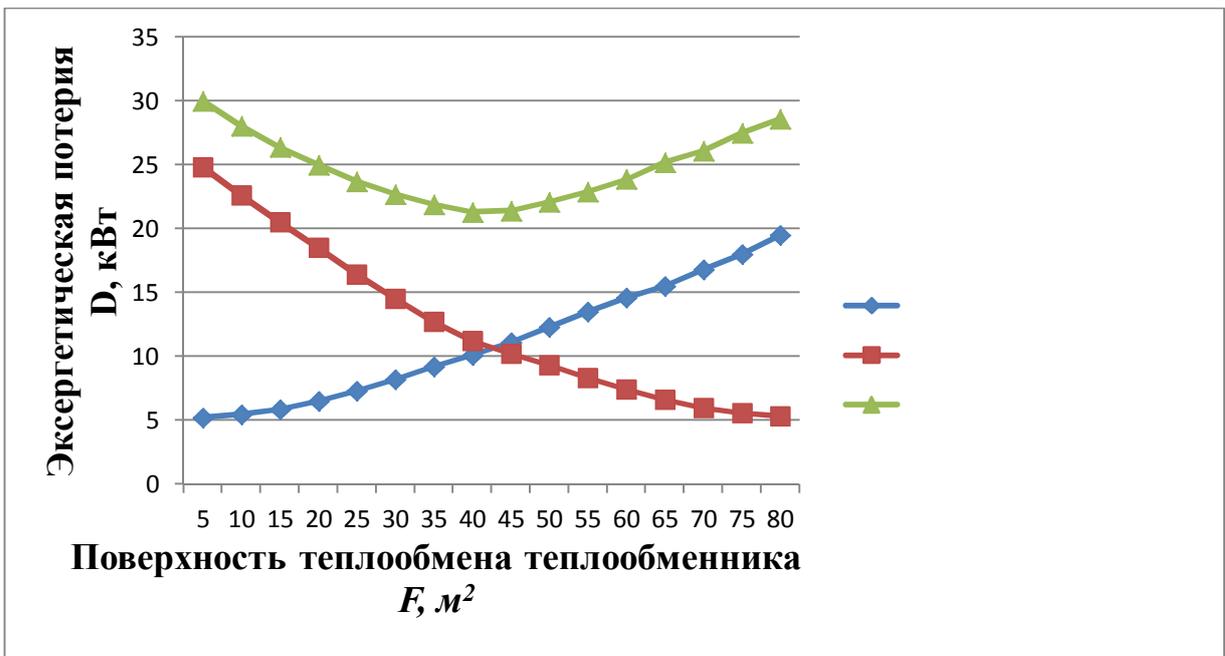
. 3.3.1.

Re .

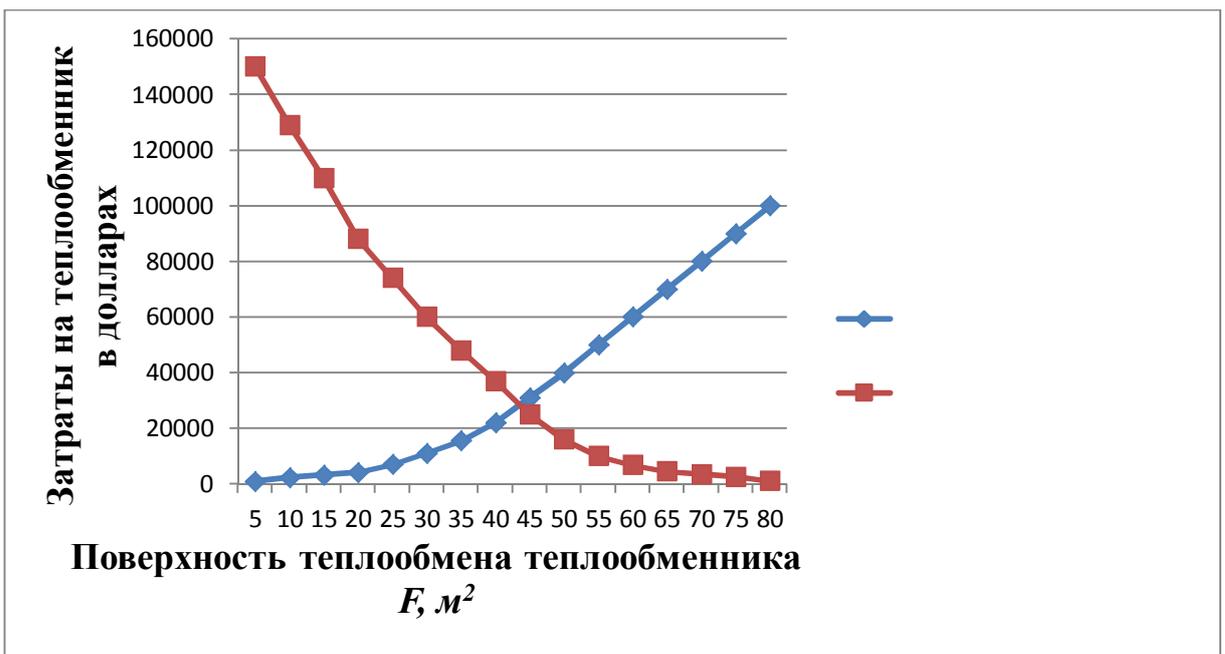


. 3.3.2.

Re .



3.3.3.



3.3.4.

ó

« »;

ó

ó

ó

.

.

,

,

,

.

.

,

.

,

.

,

,

.

.

,

,

.

1. . . .
 . . . : ð . . . , 2017 .
2. . . . ð . . .
3. . . . 2017 7 .
 . . . : . 1988. - 288 .
4. . . . «
 » . . . ó 4- .,
 . ó : , 1983.
5. : 2. / . . .
 , . . . , . . . ; . . .
 . . . : , 1988, 188 .
6. . . . «
 » : , 1973, 296 .
7. . . . « » . . . ó1968.
8.
 . M, 2000. ó 297 ., .
9. . . . , . . .
 . . . -
 . ó : « » , 2011. ó 335 .
10. . . .
 . ó : , 1966.
11.
 . ó : , 1987. ó . 32-36.
12. ó :
 , 1973. ó 95 .

13. ...
 ... ó : - .
 ... , 1999. ó 176 .
14. - / . . ,
 ... - , . . [.]. ó :: « -
 », 2003.
15. . . , . .
 . ó :: , 1986.
16. . . . ó :
 , 1982.
17. . .
 . ó :: , 1987. ó 263 .
18. . .
 // . ó 1979. ó . 38. ó 2. ó . 239-244.
20. . . , . .
 , . ó :: ,
 1983. ó 175 .
21. . .
 . ó :: , 1980. ó 240 .
22. Deissler R. Analysis of turbulent heat transfer, mass transfer and friction in smooth tubes at high Prandtl and Schmidt numbers. ó NACARep., 1959. ó V.1210.
23. . . . ó ::
 , 1982. ó 472 .
24. . .
 // . ó
 1960. ó . 3. ó 11. ó . 52-57.

25. . . , . . , . . .
 // . ó 1961. ó 7. ó . 57-60.
26. .
 // . ó 1973. ó . . ó 4. ó . 134-136.
27. . . , . . .
 // . ó 1968. ó 6. ó . 81-84.
28. . , .
 // . ó 1968. ó 1. ó . 91-103.
29. . , .
 // . ó 1964. ó 1. ó . 84-96.
30. Koch R. Druckverslut and und W rme bergang bei verwirbelter sr mung // VDI. Forschungsheft. ó 1958. ó Bd 24. ó P. 52-60.
31. . . .
 // ó 1967.
 ó 2. ó . 14-19.
32. . . , . . .
 //
 ó 1980. ó 3. ó . 51-53
33. . . .
 . ó .: , 1980. ó 144 .
34. . . .
 // . ó 1968. ó 11. ó . 31-
35. . . , . . .
 // . ó 1964. ó 9. ó . 60-63.

36. ó
/ . . . , . . . , . . .
[.]// . ó 1992. ó 2. ó . 53-55.
37. . .
. ó .: , 1987. ó 263 .
38. . .
.: . 1973. - 296 .
39. . , . .
. // . . .
1985. - 1. - . 60 - 65.125
40. . , . , . .
,
./ / . . . 1972. - . 15, 7. - . 59 - 66.
41. . .
. .: . -367 .
42. , . , . , . , . , . .
.
:
- . ó , 2005. -104 .
43. . , . , . .
,
:
2013, . 5.
44. . , . .
. ó .: , 1986.
45. . , . , .
(
-): . - .: - , 2008. - 720 : .

46. . . , . . , . . ð
 ö 2014.
47. . . , . . , . .
 :
 . ó 12- 1987 . ó . :
 « . . » , 2005. ó 575 .
48. . . , . . , -
 : .
 / - . , 2007. 44 . ISBN
49. Мар А. В. :
 : ó . : , 1989.ô
 200 . :
50. . . , . . , . .
 ():
 . - . : - , 2008. - 720 : .
51. . . .
 . : . 1973. - 296 .
52. ð
 ö 1983. ó 258 .
53. : . - 1977. 346 .
54. . . , . .
 . , 1981-234 .
55. . . .
 . ó . 1991-320 .
56. . . , . .
 ó 1991-320 .
57. Дзюбенко, Б.В. Интенсификация теплообмена в каналах с искусственной турбулизацией потока / Б.В. Дзюбенко, Г.А. Дрейцер, Р.И. Якименко // Труды Первой Российской национальной конференции по теплообмену. — М.: Изд-во МЭИ, 1994. — Т.8. — С. 64 – 69.

58. Калинин, Э.К. Влияние чисел Рейнольдса и Прандтля на эффективность интенсификации теплообмена в трубах / Э.К. Калинин, С.А. Ярхо // ИФЖ. – 1966. –Том 11. – № 4. – С. 426-432.

59.
// . ó 1968. ó 11. ó .

31-33.

60. //
. ó 1976. ó 2. ó . 170.

61.
//
. ó 1990. ó 9. ó . 101-103.

62.
//
. ó 1990. ó 2. ó . 169-172.

63.
. ó .: ., 1980. ó 144 .

64.
// . ó 1978. - 2. ó . 20-23.

65.
// . ó 1987. ó 8. ó . 66-68.

66.
// .- . . . ó 1972. ó . 22. ó 2. ó . 248.

67.
. ó .: ., 1986.

68.
. ó : ., 1976.

69.
. ó . 5- , .
. ó .: ., 1979.

70.
. ó : , 1984.
71.
. ó :: , 1972.
72.
. ó :: , 1990. ó 367 .
73.
. ó :: « » , 2011. ó 335
74. Deissler R. Analysis of turbulent heat transfer, mass transfer and friction in smooth tubes at high Prandtl and Schmidt numbers. ó NACA Rep., 1959. ó V.1210.
75. Prandtl L. Berich tuberunters uchungen zuraus gebil detentur bulenz // Z. Angew, Math. Mech. ó 1925. ó Band 5. ó S. 136-139.
76.
. ó :: , 1983.
ó 175 .
77.
, 1982. ó 472 .
78.
n // .
ó 1960. ó . 3. ó 11. ó . 52-57.
79.
// . ó 1961. ó 7. ó . 57-60.
80. :
- www.Ziyonet.uz