

ИНТЕНЗИФИКАЦИЯ НА ТОПЛООБМЕНА В КОРАБНИТЕ ТОПЛООБМЕННИ АПАРАТИ  
ПОСРЕДСТВОМ ПРОМЯНА НА ХИДРОДИНАМИКАТА НА ПОТОКА

Николай М. Керемегчиев, ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", Варна

INTENSIFICATION OF THE HEAT EXCHANGE IN THE SHIPS HEAT EXCHANGERS  
BY MEANS OF STREAM'S HYDRODYNAMIC CHANGE

Nikolaj M. Keremedchiev, Naval Academy „N. Y. Vaptsarov“, Varna

**Abstract:** *A new method for improving the heat exchange in the ships heat exchangers is shown in the report. The results from the experiments are also shown. An analysis has been made and the consequent conclusions were also made.*

**Key words:** *heat exchanger, turbulence, boundary layer.*

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

При взаимодействието между твърда, непроницаема, топлопредаваща стена и обмиващия еднофазов поток, се образува пристенен граничен слой, който се явява и основното хидравлично съпротивление при топлопредаването. Колкото по-голяма е неговата дебелина, толкова топлоотдаването е по-слабо. Ето защо за ускоряването на процеса на топлообмена е необходимо да се въздейства на граничния слой така, че той или да бъде разрушен, или да се окаже възможно най-тънък.

Най-простият способ за интензификация на топлообмена се състои в увеличаването на скоростта на постъпващия флуиден поток. Увеличаването на тази скорост обаче е ограничено, тъй като с нарастването ѝ нараства силно и хидравличното съпротивление, което въпреки че е полезно (съпротивление от триене), води до увеличаване на мощността, необходима за преминаване на флуида през топлообменника.

От хидродинамиката е известно, че движението на флуида в тръба може да е ламинарно или турбулентно. Като критерий за вида на течението служи критерият на Рейнолдс:

$$Re = \omega \cdot d / \nu ,$$

където  $\omega$  е скоростта на флуида,  $m/s$ ;

$d$  - диаметър на тръбата, в която се разглежда течението,  $m$ ;

$\nu$  - коефициент на кинематичния вискозитет,  $m^2/s$ .

Критерият на Рейнолдс е безразмерна величина и характеризира отношението на силите на инерция и вискозитет. По неговата стойност се съди за характера на флуидното течение: при  $Re < 2\,300$  движението е ламинарно; при  $Re > 10\,000$  - турбулентно, а при  $2\,300 < Re < 10\,000$  - преходно (от ламинарно към турбулентно). Между двата вида движение съществува

голяма разлика както по отношение на скоростния профил на напречното сечение на потока, така и по отношение на пренасянето на топлина от флуида към стената на тръбата, или обратно. Това се дължи на интензивното разместване на флуидните частици при турбулентния режим.

Необходимо е да се знае, че колкото по-ниска е стойността на  $Re$ , при която ще се постигне устойчива турбулизация в граничния слой, толкова по-големи са възможностите за интензификация на конвективния топлообмен, чрез увеличаване на скоростта на потока, като толкова по-ефективна е и интензификацията от гледна точка на понижаването на загубата на напор, изразходван за достигане на съответната висока интензивност на топлообмена.

Основните методи за интензификация на конвективния топлообмен включват: методи с увеличения на топлообменната повърхност; методи с хидродинамично въздействие върху потока; методи с механично въздействие върху топлообменната повърхност; методи, при които се въздейства върху потока посредством електрическо и/или магнитно поле.

### 2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Способът за интензификация на топлообмена, разглеждан в настоящия доклад, е от групата методи, при които върху флуидния поток се въздейства хидродинамично - един нов начин за организиране на топлообменния процес, който понастоящем не е изследван достатъчно задълбочено.

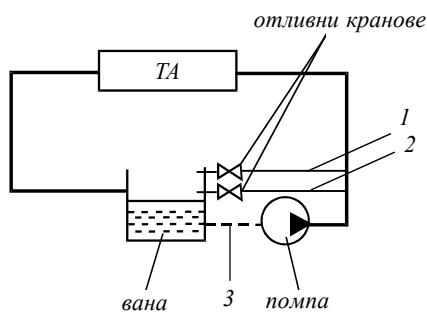
Проблемът за намаляването на дебелината или за разрушаването на ламинарния слой, образуван при обтичане на топлообменна повърхност, може да бъде решен и по следния начин: чрез атакуване на пристенния слой с еднороден флуиден поток. Този поток се влива по перпендикулярно направление спрямо движението на основния поток на топлоносителя (флуид, в конкретния случай - вода), който обмива надлъжно награвната повърхност. Образуваните по

## Направление "Морско инженерство"

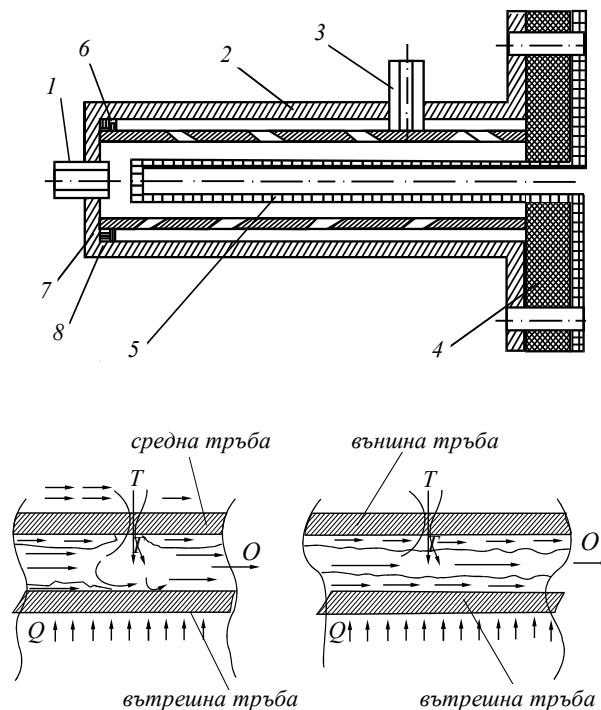
този начин вихри предизвикват изтъняване на ламинарния слой и при определени условия - разрушаването му.

Предложеният модел на топлообменен апарат (ТА) се състои от три тръби с различен диаметър, които са разположени една в друга. В най-вътрешната тръба, чийто диаметър е най-малък, е поместен електрически нагревател, осигуряващ постоянен топлинен поток през стените ѝ. Тръбата с най-голям диаметър, която е и външна, се явява корпусната. Средната тръба, разпробита с определен брой отвори с зададен диаметър, се явява турболизатор на потока.

Всички проведени опити са извършени с едно и също количество вода, циркулиращо в опитната уредба, чиято схема е представена на фиг. 1. На фиг. 2 е представен общият чертеж на ТА.



Фиг. 1. Схема на опитната уредба. Тип линии: рециркуляционна отливна (1), нагнетателна (2), всмукателна (3)



Фиг. 2. Общ чертеж на топлообменния апарат:  
1 - щуцер изходен; 2 - корпус; 3 - щуцер входен;  
4 - уплътнение; 5 - тръба нагревател; 6 - пръстен поддържащ; 7 - тръба турболизираща

Движението на потока флуид вътре в ТА на представената опитна уредба се осъществява както следва:

- След помпата, потокът постъпва в топлообменника през входящия щуцер, след което флуидът се разделя на два по-малки потока, условно обозначени на фиг. 2 с "О" и "Т".

Поток "О" е основният. Той обмива тръбата, в която е поместен нагревателя, т.е. този поток се движи между тръбите с най-малък и среден диаметър.

Поток "Т" е турболизиращият поток, който преминавайки през отворите на средната тръба създава вихри в относително спокойният основен поток.

И така в крайна сметка се получава последователно вливане на части от поток "Т" в поток "О", като през всеки един отвор се оформя струя, която смесвайки се с основния, го турболизира.

Основните параметри, от които зависи струйното вихрообразуване около топлообменната повърхност са следните: 1. Пад на налягане на флуида между вход и изход на ТА; 2. Дебитите на потоците "О" и "Т"; 3. Геометричните размери на тръбите; 4. Формата, размерите, стъпката и взаимното разположение на отворите по средната тръба.

### Данните за уредбата са:

1. Тръба стоманена безшевна (нагревател), фиг. 2, елемент 5

Външен диаметър  $D = 34 \text{ mm}$

Вътрешен диаметър  $D_{\text{от}} = 26 \text{ mm}$

Дебелина на стената  $\delta = 4 \text{ mm}$

Дължина  $L = 1000 \text{ mm}$

**Забележка:** В тази тръба е поместен нагревателят.

2. Тръба стоманена безшевна (турболизираща), фиг. 2, елемент 7

#### Вариант 1

Външен диаметър  $D_1 = 57 \text{ mm}$

Вътрешен диаметър  $D_{1\text{от}} = 49 \text{ mm}$

Дебелина на стената  $\delta_1 = 4 \text{ mm}$

Дължина  $L_1 = 1000 \text{ mm}$

Брой на отворите 50 броя

Ъгъл между отворите  $90^\circ$

#### Вариант 2

Външен диаметър  $D_2 = 60 \text{ mm}$

Вътрешен диаметър  $D_{2\text{от}} = 52 \text{ mm}$

Дебелина на стената  $\delta_2 = 4 \text{ mm}$

Дължина  $L_2 = 1000 \text{ mm}$

Брой на отворите 14 броя  
Ъгъл между отворите 90°

### Вариант 3

Външен диаметър  $D_3 = 60\text{ mm}$   
Вътрешен диаметър  $D_{3\text{ вт}} = 52\text{ mm}$   
Дебелина на стената  $\delta_3 = 4\text{ mm}$   
Дължина  $L_3 = 1000\text{ mm}$   
Брой на отворите 14 броя  
Ъгъл между отворите 180°

### 3. Тръба стоманена безшевна, фиг. 2, елемент 2

Външен диаметър:  $D_k = 76\text{ mm}$   
Вътрешен диаметър:  $D_{k.\text{вт}} = 70\text{ mm}$   
Дебелина на стената:  $\delta_k = 3\text{ mm}$   
Дължина:  $L_k = 1000\text{ mm}$

**Забележка:** Тази тръба представлява корпуса на ТА.

4. Нагревател електрически - мощност 1,5 kW, захранване с напрежение 220 V, 50 Hz.

### 5. Помпа циркулационна

Помпата е центробежна и има следните характеристики:

Дебит:  $Q = 40\text{ l/min}$   
Напор:  $H = 42\text{ m}$   
Входяща мощност:  $P = 0,37\text{ kW}$   
Честота на въртене:  $n = 2900\text{ min}^{-1}$   
Захранване: 220 V, 50 Hz

### 6. Ваня метална

Тя съдържа определено количество от работния флуид и е с размери: 405x350x185 mm.

7. Шлангове термоустойчиви - диаметър 20 mm, сумарна дължина - 327 mm.

**Забележка:** Шланговете свързват отделните елементи на опитната уредба.

### 8. Кранове сферичен тип 1/2 цола.

9. Измерватели - термометър лабораторен с обхват  $(-10 \div -110)^\circ\text{C}$ .

**При осъществяването на опити е спазена следната последователност:**

1. Запълване на ваната с 15 литра работен флуид (вода) - фиг. 1.

2. Измерване на температурата на водата във ваната.

3. Измерване на температурата на въздуха в помещението.

4. Включване на циркулационната помпа (фиг. 1) и проверка за наличие на неплътности по цялата система.

5. Включване на електрически нагревател.

6. Отчитане на температурата на водата във ваната на интервали от 5 минути в продължение на 55 минути. Измерването стартира след като температурата на водата достигне 21 °C.

7. След изтичане на времето на опита нагревателят се изключва. Водата се оставя да циркулира в системата още 2-3 минути.

8. Изключване на циркулационната помпа.

### Опитно установени данни без средна тръба

Температура на околния въздух 16 °C, дебит на помпата: 34,3 l/min, отдадена към водата топлина: 163,05 kJ/kg).

### Опитно установени данни със средна тръба № 1

Температура на околния въздух, °C	Диаметър на отворите, mm	Дебит на помпата, l/min	Отдадена към водата топлина, kJ/kg	Нарастване на топлообмена, %
17	2	30	163,05	0
17	2,5	33	163,145	1,28
17	3	33	163,05	0
17,5	3,5	34	170,166	4,36
17,5	4	34	163,05	0

### Опитно установени данни със средна тръба № 2

Температура на околния въздух, °C	Диаметър на отворите, mm	Дебит на помпата, l/min	Отдадена към водата топлина, kJ/kg	Нарастване на топлообмена, %
18	3	32,6	170,166	4,366
19	3,5	31,6	158,87	- 2,57
19	3,5	21,4	175,61	7,7
19	3,5	19,5	170,584	4,62
19	4	33,3	170,584	4,62
19,5	4	21,4	177,705	8,99
19,5	4	20	165,145	1,28
19,5	4,5	33,43	166,4	- 2,05
19,5	4,5	22,22	175,561	7,7
19,5	4,5	20	158,87	- 2,5

## Направление "Морско инженерство"

### Опитно установени данни със средна тръба № 3

Температура на околния въздух, °C	Диаметър на отворите, mm	Дебит на помпата, l/min	Отдадена към водата топлина, kJ/kg	Нарастване на топлообмена, %
18	3	32,6	177,6	7,08
19	3,5	31,6	167,24	2,57
19	3,5	21,4	170,584	4,62
19	3,5	20	169,85	3,85
19,5	4	33,3	167,24	- 2,57
19	4	21,4	175,61	7,7
19,5	4	20	173,515	6,42
<b>19,5</b>	<b>4,5</b>	<b>33,33</b>	<b>170,584</b>	<b>4,62</b>
19,5	4,5	22,22	163,88	<b>0,5</b>
19,5	4,5	20	173,467	6,4

### 3. ИЗВОДИ

*Анализът на резултатите от осъществените експерименти е основание за следните изводи:*

1. Най-голямо нарастване на топлообмена (8,99%) се получава при средна тръба - вариант 2, на която са разпробити 14 отвора с диаметър 4 mm и дебит на помпата  $Q = 20 \text{ l/min}$ .

2. Добри са и получените резултати при средна тръба - вариант 2, на която са разпробити 14 отвора с диаметър 4,5 mm и дебит на помпата  $Q = 22,22 \text{ l/min}$  (топлообменът нараства със 7,7%) и при средна тръба - вариант 3, на която са разпробити 14 отвора с диаметър 4 mm и дебит на помпата  $Q = 32,6 \text{ l/min}$  (топлообменът нараства със 7,7%).

3. При сумарно сечение на отворите от  $175,80 \text{ mm}^2$  и  $222,54 \text{ mm}^2$  нарастването на топлообмена е най-голямо.

*Наред с цитираните положителни резултати, трябва да се има предвид и че:*

1. в местата на отворите е налице ускорено ерозионно износване, с оглед на което цялата средна тръба трябва да бъде изработена от качествена износоустойчива стомана;

2. по сравнително малките отвори е възможно насляване на отлагания, влошаващи работата на ТА;

3. при определени условия наличието на средна тръба може да доведе до намаляване на КПД на ТА в сравнение с КПД на ТА без средна тръба

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. К э й с, В. М., А. Л. Лондон. Компактные теплообменники. М., Энергия, 1967.
2. Л ы к о в, А. В. Тепломассообмен. Справочник. М., Энергия, 1978.
3. С е н д о в, С. Х., П. В. Йорданов. Интензифициране на топлообмена. С., Техника, 1981.