

и др. - динамичен коефициент на съпротива при температура  $T$  и на разбъркване и за температурата на стената. Ражд

$\alpha_c$  - коефициент на топлоотдаване откъм страната на разбъркването.  $W / m^2 K$ ;  
 $\nu$  - коефициент, отчитащ изкачването на импелери ( $\nu = 0,82$ );

$V$  и  $E$  - степенни показатели на  $Re$  и  $Ni$

Съкращения:

$$Vi = \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} ; \text{Рытун} - (RT) ; \text{Фарисе} - (NS) ; \text{Елеро} - 1 - 1 - (E1)$$

IV. Използвана литература:

- [ 1 ] Steck F., J. Karch, Heat transfer to Newtonian fluid in stirred tank, NS, Volume 11, Congress - Mixing - IX, Paris, 1997
- [ 2 ] Крайчев Сми., Р. Цекюв, Изследване на топлообмен в реактор с механично разбъркване и топлообменни тела триъгълни призма и - отбойници, Доклад на Научна конференция ЕМФ при ТУ - София, Варна, 27.06.2000.
- [ 3 ] Стренц Ф., Перемешивание и аппараты мешалками, Изд. Химия - Ленинградское отделение, 1985
- [ 4 ] VDI - Wärmeatlas, 7<sup>te</sup> Auflage, 1998

Изследване на топлообмен в реактор с механично разбъркване и топлообменни тела триъгълни призма и - отбойници

Стоян Крайчев, Росен Цекюв

Технически Университет - София, бул. Асфски 95

Abstract:

In this paper there are presented results from the investigating of the heat transfer in reactor with mechanical stirring, as instead of usual divers-lamellae that participate in the standard configuration of a vessel, there are mounted 4 triangular prism with height of  $h = 0,1 T$ , that perform simultaneously as heat exchangers. The volume of the prism is filled with hot water, heating the mixed fluid in the vessel.

Key words: mixing, stirring, stationary heat transfer, heat transfer coefficient.

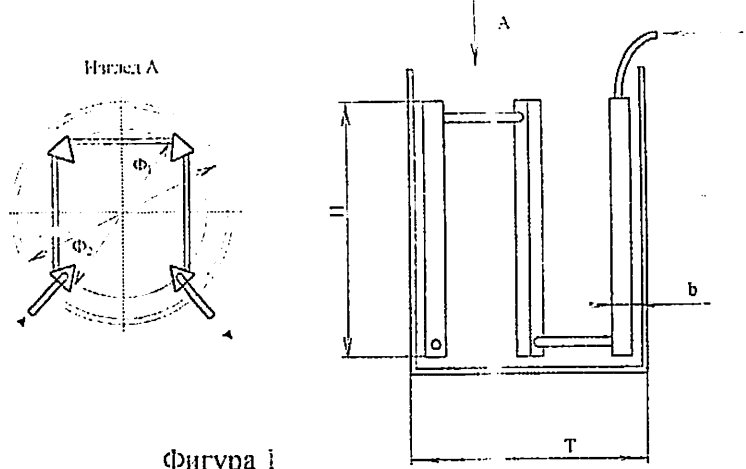
### 1. Въведение и цел на изследването

Една основна конфигурация на топлообменни тела в реактори с механично разбъркване представляват триъгълни серпентини, навити хоризонтално на определен диаметър ( $d$ ), с определена стъпка ( $t$ ). Такава модификация са и серпентини, изпълнени също от триъгълни, но поставени вертикално в реактора. Хоризонтално навитите серпентини, показват по-висок коефициент на топлоотдаване ( $\alpha$ ), откъм страната на разбъркването, в сравнение с вертикално монтирани серпентини или кожух [1]. Това ни даде основание да изготвим нов вид топлообменно тяло, което да изпълнява едновременно и ролята на отбойник в съда. Такова тяло се оказа триъгълна призма с височина  $h = 0,1T$ . Тези триъгълни топлообменни тела са представени на фиг.1 в две проекции. Разположени са на диаметър ( $\Phi_1$ ), вътрешно до диаметър ( $\Phi_2$ ) на реактора. Механичната бъркачка се монтира в оста на симетрия на реактора. Създаването на топлообменните тела по вода е последователно, поради което се достига "устойчиво смесен ток" при работа на реактора в стационарен режим.

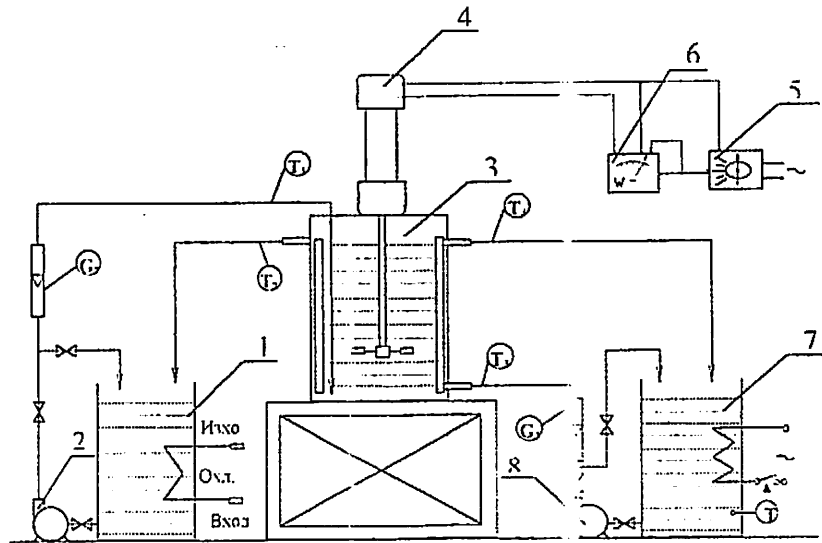
Вход и изход на вода са показани на фиг.1 - изглед А със стрелки). Реакторът разбърква вода или диетиленагликол, които се загряват, а в контура на серпентината се използва само гореща вода - топлоносител.

### 2. Описание на опитния спенг

Опитният спенг е показан на фиг.2, а съставът на апаратите в него е представен като текст под фигурата. Реакторът поз.3 е свързан с прайвотоклов електродвигател и оборотите му могат да се избират и задават безстепенно с вентилаторформатора поз.5. Измерва се честотата на въртене ( $N$ ) с релвен електронен прибор, който не е показан на схемата. Отчита се и консумираната мощност от двигателите на реактора (Във Ватове) с помощта на ватметра в Измерват се дебитите на топлоносителите  $G_1$  и на разбърквателите и циркулярната мощност в реактора  $G_2$ , както и техните температури последователно на входа и на изхода, означени са с  $T_1$  до  $T_7$ . Изследвани бяха три вида бъркачки - турбинна бъркачка, NS - импелер (2) и "Елерова" (3).



Фигура 1



Фигура 2 Схема на опитен стэнд

Поз.1 и 7 -борници за течности, участващи в топлообмена; 2 и 8 помпи-циркуляционни; 3 –реактор за изследване на топлообмена; 4 -ел.двигател с променливи обороти; 7 –автотрансформатор; 6 -ватметър;

### 3. Методика на изследването и опитни резултати

Изследван е коефициентът на топлоотдаване ( $\alpha_1$ ) откъм страната на разбъркването и на негова база е определен критерият на Нуселт ( $Nu_1$ ) също откъм страната на разбъркването. За целта е използван балансовият метод за определяне на общия коефициент на толопреминаване ( $k$ ), а коефициентът на топлоотдаване откъм страна на толоносителя ( $\alpha_1$ ) е изчисляван с помощта на  $Nu_1$  от уравнение (5), което описва толообмен при движение на флуиди в пръби и канали. Отчитана е корекция  $\epsilon_m$  на температурната разлика за наличие на "усредно смесен ток" [4]. Данните от изследванията са обработени с компютърна програма по следния алгоритъм:

а) определяне на топлинния поток

$$\dot{Q} = G_1 \cdot C_1 \cdot \Delta t_1 \quad ,W \quad (1)$$

б) определена е активно участващата толообменна повърхност на 4 - те призми ( $A=0,147 \text{ m}^2$ )

в) за всеки опит се определя  $\Delta t_{cp}$  ( по формулите на противоток и отчитане  $\epsilon_m$  )

г) изчислява се коефициентът на толопреминаване

$$K = \frac{\dot{Q}}{A \Delta t_{cp} \cdot \epsilon_m} \quad ,W/m^2 \cdot K \quad (2)$$

д) определя се  $Nu_1$  за канал с триъгълно сечение, за което еквивалентният диаметър  $d_{equiv}$  е :

$$d_{equiv} = \frac{A}{4U} \quad ,m \quad (3)$$

е) изчислява се и скорост на водата в триъгълното сечение  $W_s$ - m/s :

ж) изчислява се и  $Re_{equiv}$ :

$$Re_{equiv} = \frac{W_s \cdot d_{equiv}}{\lambda_B} \quad (4)$$

з) работим в турбулентната област на  $Re_{equiv} > 10000$ , поради което за  $Nu_1$  :

$$Nu_1 = 0.021 \cdot Re_{equiv}^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \frac{Pr}{Pr_s} \quad (5)$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{equiv}} \quad ,W/m^2 \cdot K \quad (6)$$

и) изчислява се  $\alpha_2$  при известни (5) и (6).

Използва се зависимостта за падане в стени  $\lambda_{ст} = \lambda_{ст} \cdot \text{Pr}^{-0.14}$ .

$$\alpha_s = \frac{k \alpha_s}{a - k} \quad \text{W/m}^2 \text{K} \quad (7)$$

приема се  $\lambda_{ст} = \lambda_{ст} \cdot \text{Pr}^{-0.14}$  като стенимата е от  $\text{MgO}$  ( $\text{Cu}$ ) с  $\lambda_{ст} = 1 \text{ mm}$  и  $\lambda_{ст} = 2 \text{ (W/m}^2 \text{K)}$  - т.е. 0.001/0.20).

(8) изглежда се зависимост за  $Nu_2$  по уравнението:

$$Nu_2 = \frac{\alpha_s \cdot d_s}{\lambda_2} \quad (8)$$

зависимост за различните видове изследвани бъркачки, като функции на  $Re_2$ ,  $Pr_2$  и геометричните особености на бъркачките и реактора получихме в следния вид:

(9) за турбина "Рытлин"

$$Nu_2 = 0.74 \cdot Re_2^{0.67} \cdot Pr_2^{0.4} \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0.14} \left( \frac{D}{T} \right)^{0.58} \quad (9)$$

(10) за двояк импелер "NS - импелер":

$$Nu_2 = 0.28 \cdot Re_2^{0.67} \cdot Pr_2^{0.43} \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0.14} \cdot \psi \quad (10)$$

където  $\psi$  е коефициент, отчитащ изкачането ( $s$ ) на наклон на импелера и броя на лопатките ( $z$ ) за "NS - импелер"  $\psi = 0.82$ .

(11) за турбина тип "Елерон-1", описана в [3] зависимостта за  $Nu_2$  има вида:

$$Nu_2 = 0.5 \cdot Re_2^{0.67} \cdot Pr_2^{0.4} \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0.14} \left( \frac{D}{T} \right)^{0.58} \quad (11)$$

Уравнения (10) и (11) се отнасят за ефикасността на бъркачки, които имат коефициент на мощност  $Eu < 1.3$ .

#### 4. Заключение

Изследван и описан е типичният за три типа механични бъркачки за ниски или топлинни обмени метал - притъркани пръчки, изработени с едновременно ротора на лопатки в реактор със стандартна конфигурация. Лучишките уравнения от (9) (10) и (11) показват резултатни значимости по отношение на  $Nu_2$  в сравнение с известните, описани в [5] уравнения за хоризонтални бъркачки.

5. Означения в текста и фигурише:

$T$  - диаметър на съда - m;

$D$  - диаметър на бъркачката - m;

$H$  - ниво на течността - m;

$N$  - честота на въртене -  $s^{-1}$ ;

$\beta$  - ширина на отбойника - m;

$\phi_1$  и  $\phi_2$  - диаметри в  $s^{-1}$  - m;

$d_s$  - диаметър на въвеждане на серпентината - m;

$t$  - стъпка на серпентината - m;

$Nu_1$  и  $Nu_2$  - число (Кригер) на Нуселт, отиващо по отношение;

$k$  - коефициент на топлоотдаване -  $W/m^2K$ ;

$\sigma$  - коефициент на топлоотдаване -  $W/m^2K$ ;

$Re_0$  - число на Рейнолдс при разбъркване;

$Pr_0, Pr_1, Pr_2$  - число на Прандтл за температурата на флуида и при температурата на стената;

$\mu, \mu_{ст}$  - динамичен вискозитет на разбъркваната течност за температурата на флуида и за температурата на стената -  $Pa \cdot s$ ;

$\lambda$  - коефициент на топлопроводност -  $W/mK$ ;

$s$  - означение за размер - m;

$\psi$  - коефициент, отчитащ изкачането на импелера. ( $\psi = 0.82$ )

#### 6. Използувана литература

- [1] Strek F., J.Karich., Heat transfer to Newtonian fluid in a stirred tank, №51, Volume 11, Elsevier - MIXING IX, Paris, 1997.
- [2] ПАТЕНТ №60197/07.02.1995.
- [3] Крайчев Ст., К.Стоков, Енергийни характеристики на нов тип механична бъркачка "ЕЛЕРОН" стр. V-30 до V-32. BIOPROCESS SYSTEMS '97, София, 14-16 Окт.
- [4] Павлов К.Ф., П.П.Романков, А.А.Носков. Примери и задачи по процесен и апарати в химическата технология, Техника, София, 1985.
- [5] VDI-Wärmeatlas, 7<sup>te</sup> Auflage, 1998.