

УДК 628.322 : 661.43

**І. Тимофєєв\*, В. Скіра\*, А. Молчанов \*\*, І. Карпінська \*\***

\*Національний університет “Львівська політехніка”,

кафедра теплотехніки та теплових електричних станцій,

\*\*Вармінсько-Мазурський університет в Ольштині (Польща),

кафедра техногенно-екологічної безпеки

## **КОНДИЦІОНУВАННЯ ВОДИ АБСОРБЦІЄЮ КИСНЮ У КРАПЛИННОМУ РЕЖИМІ**

© Тимофєєв І., Скіра В., Молчанов А., Карпінська І., 2003

**The executed researches of hydrodynamics and kinetics process of absorption of oxygen by drops of water. Dependence between diameter of drops and diameter of apertures in a nozzle, dependence between speed of falling of drops and their diameter is established. The certain numerical values of factors weight of feedback for two modes of process of absorption for different diameters of apertures in a nozzle.**

### **Постановка проблеми**

Жодна галузь промисловості і сільського господарства, жодний населений пункт не можуть обійтись без води – найважливішої мінеральної сировини та головного природного ресурсу, споживання якого значно перевищує споживання палива. В наш час більшість джерел, в тому числі і підземних, забруднено [1], тому в умовах економічних труднощів актуальною є проблема не тільки кондиціонування води, тобто забезпечення її якісних характеристик відповідно до вимог стандартів, технічних умов, санітарних норм та правил, але і розроблення ресурсозберігаючих процесів та апаратів [2, 3].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У Західному регіоні України використовуються переважно підземні джерела води, які вважаються найякіснішими. Але й вони мають природні домішки, серед яких розчинені гази  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , що викликають корозію та заростання сталевих та залізобетонних труб, дають неприємні запахи та присмаки питній воді, а двовалентне залізо  $\text{Fe}^{2+}$ , окислюючись в живих організмах, викликає хвороби печінки та нирок. У хімічних і харчових виробництвах (хімічні волокна, барвники, світлочутливі плівки, напої тощо) наявність заліза призводить до браку продукції. Останнім часом зафіксована поява в підземних водах нафтопродуктів. Найпоширеніші методи фінішного окислення домішок води озonom дорого через малий ККД та необхідність використання дефіцитних матеріалів: міді і нержавіючої сталі [4]. Тому для ресурсозбереження доцільно використовувати процеси попереднього часткового кондиціонування води в найпростіших безнасадкових апаратах для абсорбції  $\text{O}_2$ , десорбції  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  і окислення  $\text{Fe}^{2+}$  з розбризкуванням води під невеликими напорами з малих висот падіння крапель і стікання плівок та подальшим фільтруванням.

### **Формулювання цілей статті**

У цій роботі досліджувалась гідродинаміка і кінетика процесу абсорбції кисню краплинами води у безнасадковому апараті. З цією метою застосовувався напірний циліндр з органічного скла діаметром 40 мм зааввишки 800 мм зі змінними насадками в днищі з отворами діаметром  $d_0 = 2, 4, 6$  мм для одержання краплин різного розміру. Циліндр закріплювався на певній (змінній за умов експерименту) висоті від збірника води під ним. Сутність всіх дослідів з гідродинаміки полягала у визначенні діаметрів крапель та їх залежності від діаметра отворів у насадці, швидкості їх руху та часу подолання висоти  $H$  (часу експозиції).

### Виклад основного матеріалу

Експерименти по визначенню залежності діаметра крапель  $d_k$  від діаметра отворів у насадці виконано шляхом виливання певного об'єму води з певної висоти та визначення кількості крапель методом фотографування на темному фоні з імпульсним освітленням при відповідній експозиції. Порахувавши кількість крапель, розраховували діаметр краплі як сфери об'ємом  $V$ . Для забезпечення крапельного режиму витікання рідини з отвору необхідна очевидна умова  $W_k < W_c$ , тобто, щоб витрата води через отвір забезпечувала цю умову. Відомо, що швидкість витікання струмини  $W_c$  та витрата  $Q$  залежать від напору  $h$  води у циліндрі і на виході з отвору. Для умов  $d_0 = 2 - 6$  мм,  $h = 0,25$  м і мінімальному значенні числа Рейнольдса  $Re = 10^4$  крапельний режим забезпечується при [5]:

$$W_k < W_c < \varphi \sqrt{2gh}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

де  $\varphi = 0,95$  – коефіцієнт швидкості.

В результаті проведених експериментів одержано такі результати (середні для трьох вимірювань):

$d_0$ , мм	1	2	4	6
$d_k$ , мм	4,3	4,7	5,3	5,8

Як бачимо, діаметри краплин мало залежать від діаметрів отворів, тому недоцільно виготовляти розбризкувачі з діаметром отворів менше 6 мм через більшу вартість виготовлення та більшу вірогідність заростання малих отворів осадами.

Швидкість падіння краплин вираховували по часу їх падіння з висоти 20 м. При цьому залежність середньої швидкості  $W_k$  від  $d_k$  також була прийнята лінійною. Крім того, виявилось, що краплі більших діаметрів падають з меншою швидкістю, що можна пояснити більшою їх деформацією та відповідним зростанням опору. Так, для краплин з  $d_k = 4,3$  мм час падіння становив 2,4, а для краплин з  $d_k = 5,8$  мм – 3,2 с.

Для проведення дослідів з кінетики процесу абсорбції використовувалась знекиснена дистильована вода. Оцінка ефекту абсорбції полягала у зіставленні початкових  $C_{п}$  і кінцевих  $C_k$  концентрацій кисню у рідині, яка змінювалась під час падіння крапель води, які утворювались при витіканні її через отвори у насадці, з різної висоти  $H$ .

З дослідів встановлено, що кінцева концентрація кисню у воді  $C_k$  і ступінь її насичення істотно залежать від діаметра отвору. При зменшенні  $d_0$  з 6 до 2 мм (3 рази)  $C_k$  збільшується майже у 2 рази при незначному зменшенні діаметра крапель. Цей факт можна пояснити двома причинами:

- в процесі формування краплі струмина поділяється на відрізки, при цьому відношення поверхні відрізка струмини до поверхні краплі для отворів малих діаметрів більше і деякий час абсорбція відбувається з більшої поверхні, ніж поверхня краплини;
- у процесі формування крапель менших розмірів та падінні з більшою швидкістю більша інтенсивність руху води в них.

Аналіз одержаних залежностей свідчить, що існує два режими абсорбції:

- інтенсивний при падінні з висоти 4 – 6 м, коли краплі формуються і їх швидкість стабілізується;
- регулярний, при падінні з висоти більше 6 м.

Істотно більшу швидкість абсорбції на перших 4 – 6 м висоти падіння можна пояснити більшою турбулізацією води в процесі формування краплі.

Для визначення коефіцієнтів масовіддачі для першого і другого режимів абсорбції було застосоване рівняння Фіка [6]:

$$\frac{dM}{d\tau} = \beta F(C_s - C), \quad (2)$$

де  $M$  – маса речовини, яка перейшла з газової фази в рідку (кг) за час  $\tau$  (с);  
 $\beta$  – коефіцієнт масовіддачі в рідині, м/с;

$F = \pi d_k^2$  – поверхня масообміну (поверхня кулі), м<sup>2</sup>;

$C_s$  – концентрація насичення рідини компонентом газової фази, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  – середня по об'єму краплин концентрація газу у будь-який час  $\tau$  (поточна концентрація), кг/м<sup>3</sup>.

Маса розчиненого газу в краплі сферичної форми діаметром  $d_k$ :

$$M = V_k \cdot C = \frac{\pi d_k^3}{6} C, \quad (3)$$

де  $V_k$  – об'єм краплі, м<sup>3</sup>.

Після диференціювання рівняння (3) і підставлення  $dM$  і  $F$  у рівняння (2), одержимо

$$\frac{d_k}{6} \cdot \frac{dC}{d\tau} = \beta_1 (C_s - C) \quad (4)$$

або

$$\frac{dC}{C_s - C} = \frac{6}{d_k} \beta_1 d\tau, \quad (5)$$

де  $\beta_1$  – коефіцієнт масовіддачі в рідині при рушійній силі  $(C_s - C)$ , м/с.

Інтегрування цього рівняння дає такий вираз:

$$\ln \frac{C_s - C_{\Pi}}{C_s - C_k} = \frac{6}{d_k} \beta_1 d\tau, \quad (6)$$

де  $C_{\Pi}$  і  $C_k$  – відповідно початкова і кінцева концентрації газу у краплині, кг/м<sup>3</sup>.

Це рівняння прямої лінії, тангенс кута нахилу якої  $\operatorname{tg} \alpha = 6\beta_1/d_k$ . За цим рівнянням був визначений коефіцієнт масовіддачі для першого режиму абсорбції. Для другого режиму абсорбції було використано рівняння масовіддачі з середньою рушійною силою  $\Delta C$ :

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{\Delta M}{\Delta \tau} = \frac{V_k (C_k - C_{\Pi})}{\Delta \tau} = \beta_2 F \Delta C. \quad (7)$$

Тоді

$$\beta_2 = \frac{d_k}{6\Delta \tau} \cdot \frac{C_k - C_{\Pi}}{\Delta C} = \frac{d_k}{6\Delta \tau} \cdot \frac{C_k - C_{\Pi}}{(C_s - C_k)(C_s - C_{\Pi})} \cdot \ln \frac{C_s - C_k}{C_s - C_{\Pi}}. \quad (8)$$

На підставі проведених експериментів та за рівняннями (6) і (8) були розраховані коефіцієнти масовіддачі для двох режимів абсорбції (таблиця).

#### Дані експериментів

Діаметри отворів у насадці $d_0$ , мм	Коефіцієнти масовіддачі $\beta \cdot 10^5$ , м/с	
	$\beta_1$	$\beta_2$
2	2,9	1,4
4	2,0	1,0
6	1,0	0,8

Тобто для діаметрів отворів 4 – 6 мм коефіцієнти масовіддачі в інтенсивному режимі в 1,5 – 2 рази нижчі. Але доцільно використовувати отвір 6 мм через меншу вартість виготовлення перфорації розбризкувача та збільшення надійності роботи в умовах заростання отворів.

### Висновки

В результаті дослідження гідродинаміки процесу встановлено лінійну залежність між діаметрами краплин та діаметрами отворів у насадці. Встановлено лінійну залежність швидкості падіння краплин від їх діаметра.

В результаті дослідження кінетики процесу встановлено і проаналізовано два режими абсорбції. Виявлено, що кінцева концентрація кисню у воді, ступінь її насичення істотно залежать від діаметра отвору у насадці. На основі експериментальних даних та рівнянь кінетики процесу розраховані коефіцієнти масовіддачі для обох режимів. Одержані результати дають можливість визначити швидкість процесу абсорбції кисню краплинами води, утворених насадками з різними отворами і які падають з різної висоти, а також час, необхідний для досягнення заданої концентрації газу у рідині.

На підставі цих даних можна визначити основні геометричні розміри абсорбера, а саме – висоту та діаметр апарата.

1. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. *Основи загальної екології*. – К., 1995.
2. Николадзе Г.И. *Технология очистки природных вод*. – М., 1988.
3. Вітенько Т.М. *Інтенсифікація процесів кондиціювання води з використанням гідродинамічного кавітаційного реактора: Автореф. канд. дис.* – Львів, 1995.
4. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г., Вакуленко В.Ф. *Озонирование как метод подготовки воды: возможные побочные продукты и технологическая оценка. / Химия и технология воды*. – 1995. – Т. 17, №1.
5. Левицький Б.Ф., Лециій Н.П. *Гідравліка*. – Львів, 1994.
6. Кафаров В.В., Глебов М.В. *Математическое моделирование основных процессов химических производств*. – М., 1991.

УДК.621.187.3

Є. Якимів\*, Й. Мисак\*, М. Крук\*\*

\* Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра теплоенергетики та теплових електричних станцій  
\*\* ВАТ "ЛьвівОРГРЕС"

## СХЕМИ ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ КОТЛА ТГПМ-314 ПІД ЧАС ПРОСТОЮВАННЯ БЛОКА У РЕЗЕРВІ

© Якимів Є., Мисак Й., Крук М., 2003

**The keeping of vapour boilers reserved requires thermal and electric energy to supply. The energy consumption can be controlled by choosing various air supply schemes. Optimal scheme should be selected individually for each certain case.**

### Постановка проблеми

В останні роки режим експлуатації електростанцій характеризується частими призупиненнями в резерв енергоблоків 200 і 300 МВт, і насамперед блоків з газомазутними котлами (наприклад, котел ТГМП-314) та котельними установками, які працюють на газі чи мазуті, з метою заощадження дорогих палив (мазуту, природного газу). У зв'язку з цим виникає