

## Завдання для самостійного виконання до ЗМ 9

### на тему «Розрахунок нейтралізатора заданої продуктивності»

**Мета заняття:** набути навички розрахунку споруд для нейтралізації стічних вод.

#### **Питання для повторювання**

1. В яких випадках треба застосовувати нейтралізацію стічних вод?
2. Які реагенти застосовують для нейтралізації стічних вод?
3. Які споруди застосовують для зберігання реагентів?

**Завдання.** Виконати розрахунок нейтралізатора заданої продуктивності  $Q_{\text{ср.доб}}$ , м<sup>3</sup>/доб.

#### **Приклад розв'язування завдання**

Розрахуємо реактор для нейтралізації відпрацьованих травильних розчинів 5%-вим вапняним молоком. Годинна потужність установки з врахуванням реагентів складає  $V_{\text{год}} = 253,5$  м<sup>3</sup>/год. Реактор представляє собою сталевий зварний резервуар. Внутрішня поверхня апарата покрита емаллю для захисту матеріалу корпусу від впливу корозійного середовища. Перемішування рідини в апараті здійснюється мішалкою. Теплообмін забезпечує «кожух» апарату. Повітря в реакційне середовище подається за допомогою барботаژної труби.

Секундний об'єм матеріалів, що протікають через установку:

$$V_{\text{сек}} = V_{\text{год}} / 3600, \quad (1)$$

$$V_{\text{сек}} = 253,5 / 3600 = 0,07 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Робоча ємність установки визначається за формулою:

$$V_p = V_{\text{сек}} \cdot \tau, \quad (2)$$

де  $\tau$  – час реакції, с; приймається  $\tau = 35 \text{ хв} = 2100 \text{ с}$  [14].

$$V_p = 0,07 \cdot 2100 = 147 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Приймаються до розрахунку стандартні вертикальні сталеві зварні емальовані реактори з кожухом ємністю  $V_{p1} = 25 \text{ м}^3$ . Діаметр апарата  $D =$

=2600мм = 2,6 м; діаметр кожуха  $D_p = 3000$  мм = 3,0 м; площа поверхні теплообміну  $F_p = 37$  м<sup>2</sup> [15].

Кількість реакторів:  $N_p = V_p / V_{p1}$ ,  
(24)

$$N_p = 147 / 25 \cong 6 \text{ шт.}$$

Секундний об'єм матеріалів, що протікають через один апарат:

$$V_{сек1} = V_{сек} / N_p, \quad (3)$$

$$V_{сек1} = 0,07 / 6 = 0,011 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Швидкість переміщення матеріалу в реакційній зоні:

$$\omega = \frac{4 \cdot V_{сек1}}{\pi \cdot D^2}, \quad (4)$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,011}{3,14 \cdot 2,6^2} = 0,0021 \text{ (м/с)}.$$

Висота реакційної зони апарата визначається за формулою:

$$H = \omega \cdot \tau, \quad (5)$$

$$H = 0,0021 \cdot 2100 = 4,4 \text{ (м)}.$$

Довжина циліндричної частини апарата визначається за формулою:

$$L = \frac{4 \cdot V_{p1}}{\pi \cdot D^2} - \frac{D}{3}, \quad (6)$$

$$L = \frac{4 \cdot 25}{3,14 \cdot 2,6^2} - \frac{2,6}{3} = 3,8 \text{ (м)}.$$

Апарат, що розраховується, має еліптичне дно і кришку.

Внутрішня висота еліптичної частини днища (кришки) визначається за формулою:

$$H_{дн} = 0,25 \cdot D, \quad (7)$$

$$H_{дн} = 0,25 \cdot 2,6 = 0,65 \text{ (м)}.$$

Сумарна довжина апарата складатиме:

$$L_{общ} = L + 2 \cdot H_{дн}, \quad (8)$$

$$L_{общ} = 3,8 + 2 \cdot 0,65 = 5,1 \text{ (м)}.$$

Необхідна висота циліндричної частини «кожуха»:

$$H_{\text{руб}} = \frac{V_p}{\pi \cdot D_p}, \quad (9)$$

$$H_{\text{руб}} = \frac{37}{3,14 \cdot 3} = 3,9 \quad (\text{м}).$$

Перемішування забезпечується якірною мішалкою. Відношення діаметру апарата до діаметру мішалки  $D / d_m = 1,11$  [15], тобто діаметр мішалки складатиме:

$$d_m = 2600 / 1,11 = 2300 \text{ (мм)} = 2,3 \text{ (м)}.$$

Частота обертання мішалки визначається за формулою:

$$n_m = W_m / (\pi \cdot d_m), \quad (10)$$

де  $W_m$  – колова швидкість мішалки, м/с; приймається  $W_m = 2,5$  м/с [14];

$$n_m = \frac{2,5}{3,14 \cdot 2,3} = 0,35 \quad (\text{с}^{-1}).$$

мінімальна частота обертання мішалки повинна бути такою, щоб виконувалась умова:

$$n_m \geq C_1 \cdot \left( \frac{D \cdot \sigma \cdot \Delta \rho}{d_m^4 \cdot \rho_{\text{ж}}} \right)^{0,5}, \quad (11)$$

де  $C_1$  – коефіцієнт, що приймається для якірної мішалки рівним 16,2 ;

$\sigma$  – розмір часток суспензії, м; приймається для даного реакційного

середовища  $\sigma = 20 \cdot 10^{-6}$  м [11];

$\Delta \rho$  – різниця щільності фаз, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta \rho = 5180 - 1177 = 4003$  кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{ж}}$  – щільність рідкої фази, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ж}} = 1177$  кг/м<sup>3</sup>;

$$n_m = 16,2 \cdot \left( \frac{2,6 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 4003}{2,3^4 \cdot 1177} \right)^{0,5} = 0,31 \quad (\text{с}^{-1}).$$

Частота обертання мішалки, що визначена за формулою (32) більше необхідної мінімальної частоти обертання мішалки, що визначена за формулою (33), тобто  $0,35 > 0,31$ , тому умова застосування якірної мішалки виконується.

Для визначення глибини воронки в сосуді розраховується значення параметрів  $\Gamma$  і  $Re_{цб}$ .

Величина параметра  $\Gamma$  визначається за формулою:

$$\Gamma = 8 \cdot H_{ж} / D + 1, \quad (12)$$

де  $H_{ж}$  – висота рівня рідини в апараті, м; при коефіцієнті заповнення апарата  $\varphi = 0,75$  приймається  $H_{ж} = 3,28$  м [15];

$$\Gamma = 8 \cdot 3,28 / 2,6 + 1 = 11,0.$$

Критерій Рейнольдса при перемішуванні визначається за формулою:

$$Re_{цб} = \frac{n_m \cdot d_m^2 \cdot \rho_{ж}}{\mu}, \quad (13)$$

де  $\mu$  – в'язкість перемішуваного середовища, Па · с; приймається для даного

середовища  $\mu = 0,005$  Па · с [15].

$$Re_{цб} = \frac{0,35 \cdot 2,3^2 \cdot 1177}{0,005} = 435843.$$

Значення коефіцієнта  $E$  визначається за формулою:

$$E = \frac{1}{\xi_m \cdot Z \cdot Re_{цб}^{0,25}}, \quad (14)$$

де  $\xi_m$  – коефіцієнт опору мішалки, приймається для якірної мішалки  $\xi_m = 0,56$ ;

$Z$  – кількість мішалок на одному валу, шт.; приймається  $Z = 1$ ;

$$E = \frac{11,09}{0,56 \cdot 1 \cdot 435843^{0,25}} = 0,77.$$

При цьому значенні  $E$  коефіцієнт пропорційності складатиме  $B = 4$  [15].

Глибина воронки в сосуді без перегородок визначається за формулою:

$$h_B = \frac{B \cdot n_m^2 \cdot d_m^2}{2}, \quad (15)$$

$$h_B = \frac{4 \cdot 0,35^2 \cdot 2,3^2}{2} = 1,3 \text{ (м)}.$$

Гранично припустима глибина воронки визначається за формулою:

$$h_{пр} = H_{ж} - h, \quad (16)$$

де  $h$  – висота встановлення мішалки, м, що розраховується за формулою:

$$h = 0,07 \cdot d_m, \quad (17)$$

$$h = 0,07 \cdot 2,3 = 0,16 \text{ (м)};$$

$$h_{\text{пр}} = 3,28 - 0,16 = 3,12 \text{ (м)}.$$

Оскільки розрахункова глибина воронки  $h_v = 1,3$  м не перевищує граничну глибину  $h_{\text{пр}} = 3,12$  м, то відбивні перегородки в апараті відсутні.

Додаток А.  
Таблиця А1

Вихідні дані

Показники	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{\text{ср.доб}}$	м <sup>3</sup> /доб	1200	2500	3000	4600	6000	7500	8700	9600	10500	14400
$C_1$	мг/л	150	200	250	300	320	240	190	140	270	310
$C_2$	мг/л	200	250	300	350	400	280	350	420	280	320
$N_1$	тис.люд	195	190	185	180	175	180	187	193	191	205
$N_2$	тис.люд	95	105	90	100	97	99	85	88	90	96
$Q_1$	тис.м <sup>3</sup> /доб у	50	49	48	47	46	45	46	47	48	49
$Q_2$	тис.м <sup>3</sup> /доб у	19	20	18	19	20	18	19	20	21	22
$d$	мкм	50	150	150	100	100	95	90	85	80	75
$\rho_{\text{тв}}$	кг/ м <sup>3</sup>	1500	1200	1300	1400	1600	1550	1280	1200	1230	1950
$\rho_v$	кг/ м <sup>3</sup>	1000	1000	1050	980	990	1000	1010	1020	1030	1035
$\mu$	Па*с.	2	1	1,5	1,8	1,9	1,5	5,4	3,8	1,6	2,5
$\alpha$	град	45	50	55	60	46	51	56	61	47	49
$h_{\text{яр}}$	мм	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
$\delta$	мм	3	3	3	2,5	2,5	2,5	4	4	4	3,5

## Література

1. Айрапетян Т. С. Технологія очистки промислових стічних вод : конспект лекцій. Харків : ХНАМГ, 2008. 81 с.  
URL :  
[https://eprints.kname.edu.ua/6208/1/%D0%B7%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B0\\_%D0%BF%D0%BB.2008%2C%D0%BF%D0%BE%D0%B7.112%D0%9B\\_%D0%A2%D0%9E%D0%9F%D0%A1-%D1%83%D0%BA%D1%80.pdf/](https://eprints.kname.edu.ua/6208/1/%D0%B7%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D0%BB.2008%2C%D0%BF%D0%BE%D0%B7.112%D0%9B_%D0%A2%D0%9E%D0%9F%D0%A1-%D1%83%D0%BA%D1%80.pdf/)
2. Айрапетян Т. С. Спецкурс з очистки стічних вод : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ, 2014. 90 с.  
URL :  
[https://eprints.kname.edu.ua/35734/1/2013%2019%D0%9B%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82\\_%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C-%D0%BF%D0%B5%D1%87.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/35734/1/2013%2019%D0%9B%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C-%D0%BF%D0%B5%D1%87.pdf).
3. Бодік І., Ріддерстолп П. СТІЙКА САНІТАРІЯ В ЦЕНТРАЛЬНІЙ ТА СХІДНІЙ ЄВРОПІ – відповідаючи потребам малих та середніх населених пунктів. Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 2007. 92 с.  
URL : [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee\\_files/regional/sustainable-sanitation-ua.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/regional/sustainable-sanitation-ua.pdf).
4. Балыгин В. В. Насосы : каталог-справочник. Новосибирск : НГАСУ, 1999. 97 с.  
URL: [https://www.studmed.ru/balygin-vv-kryzhanovskiy-an-katalog-spravochnik-nasosov\\_2d89d2cfb55.html](https://www.studmed.ru/balygin-vv-kryzhanovskiy-an-katalog-spravochnik-nasosov_2d89d2cfb55.html).
5. Віжевська Т. В., Ковальчук В.А. Системи водовідведення промислових підприємств : методичні вказівки до практичних занять Рівне : НУВПГ. 40 с.  
URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/12900/1/03-06-78%20%20%281%29.pdf>.
6. ДБН В.2.5 – 75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди: Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство України, 2013. 219 с. <https://armis.com.ua/docs/dbn/102.1.-DBN-V.2.5-75-2013-Kanalizatsiya-Zovnishni-merezhi.pdf>.