

УДК 542.6:639.6.64

## ОСОБЛИВОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ СУСПЕНЗІЇ СПІРУЛІНИ

*І. М. Голодний, кандидат технічних наук*

*e-mail: golodnyi@ukr.net*

**Анотація.** *Приведені особливості фільтрування та визначені постійні коефіцієнти проходження процесу фільтрування тонко дисперсної суспензії спіруліни.*

**Ключові слова:** *водорості, суспензія, рідка і тверда фракції, фільтрування, фільтрат, фільтрувальна установка*

Суспензія – це неоднорідна рідинна багатофазна система, яка характеризується розміром твердих частинок дисперсної фази:

- грубі суспензії – розмір частинок більше 100 мк,
- тонкі суспензії – 0,5...100 мк,
- муті – 0,1...0,5 мк,
- колоїдні розчини – менше 0,1 мк.

Суспензія спіруліни відноситься до тонких суспензій, у якій розмір твердих частинок (клітини спіруліни) мають величини 6...8 мк.

**Мета досліджень** – зниження енерговитрат при отриманні водоростевих концентрованих поживних речовин.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження процесу суспензії спіруліни проводився з використанням положень теорії і практики розділення суспензії та комп'ютерної статистичної обробки експериментальних даних.

**Результати досліджень.** Суспензія характеризується ваговим співвідношенням рідкої і твердої фаз ( $P:T$ ). Це співвідношення виражають через вагову долю  $\chi$  твердої фази в суспензії [1]:

$$P:T = (1-\chi)/\chi. \quad (1)$$

При умові, що об'єм суспензії рівний сумі об'ємів твердої  $\rho_{тв}$  і рідкої  $\rho_p$  фаз густина суспензії  $\rho_c$  визначається:

$$1/\rho_c = \chi/\rho_{тв} + (1-\chi)/\rho_p, \quad (2)$$

звідси

$$\rho_c = 1/[\chi/\rho_{тв} + (1-\chi)/\rho_p], \text{ кг/м}^3. \quad (3)$$

Об'ємна доля твердих частинок в суспензії знаходиться за формулою:

$$q = \chi \cdot \rho_c / \rho_{тв}. \quad (4)$$

В'язкість суспензії  $\mu_c$  залежить від в'язкості  $\mu_0$  суцільної фази (рідинної) і об'ємної концентрації  $q$  дисперсної (твердої) фази. В'язкість розведених суспензій залежить від концентрації твердої фази і не залежить від розміру частинок.

Визначають її за формулою А.І. Бачинського:

$$\mu_c = \mu_0(1+4,5q). \quad (5)$$

У суспензії спіруліни дисперсійною фазою виступає живильний розчин, а дисперсною – клітини самої водорості. Живильний розчин є розчиненими у воді солями. Загальна кількість розчинених солей в одному літрі води в грамах називається солоністю, визначається в промілях і позначається  $S, ‰$ . Дослідження фізико-механічних властивостей проводилися на стандартному живильному середовищі Заррука, солоність якого складає  $S=22,4 ‰$ .

Густина дисперсної фази (твердої) при дослідженні визначали експериментально. Спіруліна була висушена і спресована у таблетки. П'ять таблеток було зважено на технічних вагах і визначено їхні лінійні розміри – діаметр та висота. Густина абсолютно сухої спресованої спіруліни складає  $\rho_{тв} = 1061,736 \text{ кг/м}^3$ . При цьому похибка результатів досліджень менше 1 %.

Результати досліджень фізико-механічних властивостей суспензії спіруліни та довідкові дані деяких суспензій приведено в табл. 1.

**1. Фізико-механічні властивості води, молока, живильного середовища Заррука для вирощування спіруліни, суспензії спіруліни**

t, °C	Вода			Молоко			Живильний розчин Заррука, S 0/00 = 22,4			Суспензія спіруліни $\chi = 0,001$		
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$ , (Па·с)·10 <sup>-3</sup>	$\nu$ , м <sup>2</sup> /с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$ , (Па·с)·10 <sup>-3</sup>	$\nu$ , м <sup>2</sup> /с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$ , (Па·с)·10 <sup>-3</sup>	$\nu$ , м <sup>2</sup> /с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$ , (Па·с)·10 <sup>-3</sup>	$\nu$ , м <sup>2</sup> /с
0	999,8	1,7	179·10 <sup>-8</sup>				1017,	1,8	182·10 <sup>-8</sup>	1017,	1,8	183·10 <sup>-8</sup>
	67	9	0-8				20	5	0-8	36	6	0-8
5	999,9	1,5	152·10 <sup>-8</sup>	1033	2,9	285·10 <sup>-8</sup>	1017,	1,5	154·10 <sup>-8</sup>	1017,	1,5	155·10 <sup>-8</sup>
	81	2	0-8	6	0-8	31	7	0-8	36	8	0-8	
10	999,7	1,3	131·10 <sup>-8</sup>	1032	2,4	239·10 <sup>-8</sup>	1017,	1,3	133·10 <sup>-8</sup>	1017,	1,3	134·10 <sup>-8</sup>
	45	1	0-8	7	0-8	07	5	0-8	15	5	0-8	
15	999,1	1,1	115·10 <sup>-8</sup>	1031	2,1	204·10 <sup>-8</sup>	1016,	1,1	117·10 <sup>-8</sup>	1016,	1,2	118·10 <sup>-8</sup>
	49	4	0-8	0	0-8	47	9	0-8	32	0	0-8	
20	998,2	1,0	101·10 <sup>-8</sup>	1029	1,7	174·10 <sup>-8</sup>	1015,	1,0	103·10 <sup>-8</sup>	1015,	1,0	104·10 <sup>-8</sup>
	57	1	0-8	9	0-8	56	5	0-8	60	6	0-8	
25	997,1	0,9	90·10 <sup>-8</sup>				1014,	0,9	91·10 <sup>-8</sup>	1014,	0,9	91·10 <sup>-8</sup>
	15	0					40	2		45	3	
30	995,7	0,8	80·10 <sup>-8</sup>	1025	1,3	130·10 <sup>-8</sup>	1013,	0,8	82·10 <sup>-8</sup>	1013,	0,8	82·10 <sup>-8</sup>
	60	0		3	0-8	02	3	23		4		
35	994,0	0,7	73·10 <sup>-8</sup>	1023	1,1	114·10 <sup>-8</sup>	1011,	0,7	74·10 <sup>-8</sup>	1011,	0,7	74·10 <sup>-8</sup>
	57	2		6	0-8	29	5	34		5		
40	992,3	0,6	66·10 <sup>-8</sup>	1021	1,0	102·10 <sup>-8</sup>	1009,	0,6	67·10 <sup>-8</sup>	1009,	0,6	67·10 <sup>-8</sup>
	55	6		4	0-8	56	8	65		8		

$\nu$  - кінематична в'язкість.

Фільтрування – це процес розділення неоднорідних систем за допомогою пористої перегородки, яка затримує одну фазу цих систем і пропускає інші. На основі результатів досліджень при постійній різниці тиску встановлено, що можливі три види фільтрування із закупорюванням пор, які характеризуються різними закономірностями:

- фільтрування із закупорюванням кожної пори однією твердою частинкою;
- фільтрування з поступовим закупорюванням однієї пори кількома твердими частинками;
- фільтрування проміжного виду.

Розрахункові рівняння процесу фільтрування для різних видів наведено в табл. 2, основні з яких взято в рамки.

Найпоширенішим є вид фільтрування, який проявляється достатньо чітко з поступовим закупорюванням пор багатьма твердими частинками. До цього виду фільтрування і відноситься суспензія спіруліни.

Промислові фільтри розподіляються за режимами роботи на фільтри періодичної і безперервної дії (рис. 1), а за величиною робочого тиску – на вакуум-фільтри і фільтри, які працюють під тиском. Зважаючи на те, що клітини спіруліни під великим тиском руйнуються, то в подальших дослідженнях фільтри, що працюють під тиском, не розглядаються.

При виборі фільтра необхідно враховувати такі фактори:

- а) мета процесу фільтрування – отримання тільки цінного осаду чи лише фільтрату або одночасно отримання осаду і фільтрату для наступного використання;
- б) властивості суспензії і осаду;
- в) інші умови процесу – масштаби виробництва, простоту обслуговування, вартість установки, експлуатаційні витрати тощо.

**2. Розрахункові рівняння процесу фільтрування із закупорюванням пор фільтрувальної перегородки [2]**

Функція	Вид фільтрування		
	з повним закупорюванням пор	з поступовим закупорюванням пор	фільтрування проміжного виду
$dR/dq = f(R)$	$dR/dq = kR^2$	$dR/dq = k'R^{3/2}$	$dR/dq = k''R$
$q = f(\tau)$	$q = W_{ноч}(1 - e^{-k\tau})$	$k'\tau/2 = \tau/q - 1/W_{ноч}$	$k''q = \lg(1 + k''W_{ноч}\tau)$
$W = f(\tau)$	$W = W_{ноч}e^{-k\tau}$	$W = W_{ноч}(1 + k'W_{ноч}\tau/2)^{-2}$	$W^{-1} = W_{ноч}^{-1} + k''\tau$
$W = f(q)$	$W = W_{ноч} - kq$	$W = W_{ноч}(1 - k'q/2)$	$W = W_{ноч}e^{-k''q}$
	$[k] = \text{сек}^{-1}$	$[k'] = \text{м}^{-1}$	$[k''] = \text{м}^{-1}$

де  $R$  – загальний опір при фільтруванні,  $\text{м}^{-1}$ ;  $q$  – об’єм фільтрату, який отриманий з  $1 \text{ м}^2$  поверхні фільтрування,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  або  $\text{м}$ ;  $\tau$  – час фільтрування,  $\text{с}$ ;  $W$  – швидкість фільтрування,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  або  $\text{м}/\text{с}$ ;  $W_{ноч}$  – початкова швидкість фільтрування,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  або  $\text{м}/\text{с}$ ;  $k, k', k''$  - коефіцієнти.

*Періодичної дії*

{ *Нутч-фільтри відкриті*

}

{ *Мішечні фільтри*

{ *Барабанні фільтри*

| *Дискові фільтри*

*Безперервної дії*

{ *Карусельні фільтри*

{ *Стрічкові фільтри*

**Рис. 1. Класифікація вакуум-фільтрів за конструктивними особливостями**

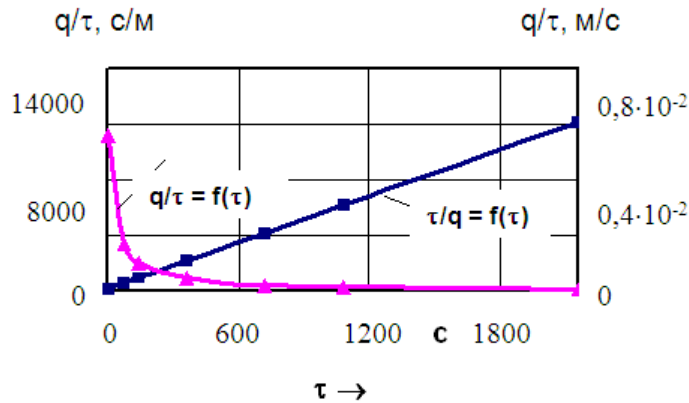
Величини, що входять у рівняння фільтрування розділяються на постійні та змінні. У всіх випадках змінними величинами є об'єм фільтрату й час фільтрування, постійними – опір фільтрувальної перегородки та початкова швидкість фільтрування. У практичному значенні знаходження постійних величин необхідне для визначення продуктивності фільтрувальної установки, яка призначена для розділення суспензії із заданими властивостями, в даному випадку суспензії спіруліни.

Попередньо приймаємо, що фільтрування спіруліни проходить з поступовим закупорюванням пор фільтрувальної перегородки. При цьому процес фільтрування проходить згідно рівняння (табл. 2):

$$k'\tau/2 = \tau/q - 1/W_{нов} \quad (6)$$

Фільтрування спіруліни проводили так. У фільтрувальний лоток подавали суспензію, в якому підтримували постійний рівень суспензії на висоті 30 см. Через певні проміжки часу вимірювали кількість отриманого об'єму фільтрату. Через дві години проходження фільтрату практично припинялося. За результатами досліджень побудована залежність  $\tau/q = f(\tau)$  (рис. 2), якою є пряма

лінія, що підтверджує попередні припущення, що процес фільтрування суспензії спіруліни проходить з поступовим закупорюванням пор.



**Рис. 2. Характеристика процесу фільтрування суспензії спіруліни**

Отримана пряма нахилена до осі абсцис під кутом, тангенс якого  $k'/2=6,65 \text{ м}^{-1}$ , і відсікає на осі ординат відрізок  $1/W_{ноч}=180 \text{ м/с}$ . Звідси  $k'=13,3 \text{ м}^{-1}$  і  $W_{ноч}=0,0056 \text{ м/с}$ .

Із основного рівняння фільтрування визначаємо середню швидкість фільтрування:

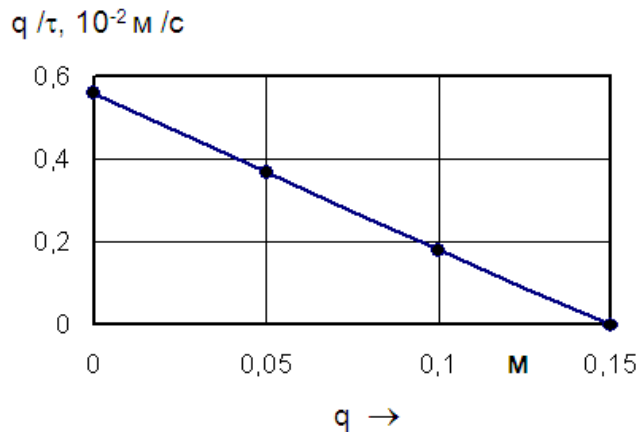
$$q/\tau = 1/(k'\tau/2 + 1/W_{ноч}). \quad (7)$$

Підставляємо значення  $k'$  і  $W_{ноч}$  і будуємо залежність  $q/\tau = f(\tau)$  (рис. 2). Із графіка видно, що середня швидкість фільтрування швидко зменшується в самому початку процесу, що потребує великих розмірів фільтрувальної перегородки і частого її чищення.

Залежність середньої швидкості фільтрування від об'єму отриманого фільтрату описується рівнянням:

$$W = W_{ноч}(1 - k'q/2). \quad (8)$$

Із рівняння видно, що залежність виражається прямою лінією, що й підтвердили результати досліджень (рис. 3). Будується така пряма за двома точками: при наближенні величини  $q$  до нуля величина  $q/\tau$  наближається до  $W_{ноч}$ ; при наближенні  $q$  до  $q_{max}$  величина  $q/\tau$  прирівнюється нулю.



**Рис. 3. Залежність швидкості фільтрування суспензії від об'єму отриманого фільтрату**

### Висновки

Суспензія спіруліни малоконцентрована і відноситься до тонких суспензій. Чітке розділення осаду і фільтрату таких суспензій досягається на стрічкових безперервної дії фільтрувальних установках.

Встановлено, що для фільтрувальної перегородки з вічками 100...115 мк початкова швидкість фільтрування рівна 0,0056 м/с, коефіцієнт пропорційності – 13,3 м<sup>-1</sup>. Фільтрування проходить з поступовим закупорюванням пор фільтрувальної перегородки.

### Список літератури

1. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамин, С.З. Каган. – М.: Госхимиздат, 1962. – 847 с.
2. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В.А. Жужиков. – М.: Химия, 1971. – 440 с.

## ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИИ СПИРУЛИНЫ

*И. М. Голодный*

**Аннотация.** Приведены особенности фильтрования и определены постоянные коэффициенты прохождения процесса фильтрования тонкодисперсной суспензии спирулины.



**Ключевые слова:** *водоросли, суспензия, жидкая и твердая фракции, фильтрование, фильтрат, фильтровальная установка*

## **FEATURES FILTERING OF THE SLURRY SPIRULINA**

*I. Golodnyi*

**Annotation.** *Peculiarities filtration and determined constant coefficients of pass filtering process of the slurry spirulina.*

**Keywords:** *algae, slurry, liquid and solid fractions, filtration, filtration unit*