



Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького  
Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies

doi:10.15421/nvlvet8020

ISSN 2519–268X print  
ISSN 2518–1327 online

<http://nvlvet.com.ua/>

УДК 664:661.12

## Вплив поверхнево-активних речовин на швидкість фільтрування

Ю.Л. Білонога, О.Р. Максисько  
yuriy\_bilonoha@ukr.net

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького,  
вул. Пекарська, 50, Львів, 79010, Україна*

*В статті розглядається процес фільтрування, який є одним з енергозатратних в переробній промисловості. Проаналізовано фактори що впливають на швидкість фільтрування. Процес фільтрування доцільно розглядати з врахуванням сил поверхневого натягу на межі контакту тверде тіло-рідина і для визначення швидкості фільтрування використовувати рівняння, які б враховували дію цих сил. Запропоновано для зменшення опору осаду на фільтрувальній перегородці та інтенсифікації процесу фільтрування використовувати оптимальні концентрації різного роду поверхнево-активних речовин (ПАР). Експериментально знайдено оптимальну концентрацію аніонної ПАР до води, за якою коефіцієнт поверхневого натягу води є мінімальним. Показано, що за додавання оптимальної концентрації досліджуваної ПАР швидкість фільтрування у воді за температури 20 °С буде більшою у 2,3 рази ніж за нагрівання до температури 50 °С. Теоретично розраховані швидкості фільтрування у воді без ПАР та за додавання оптимальної концентрації аніонної ПАР.*

*На стенді гідромеханічних процесів проведена серія експериментів для визначення швидкості фільтрування у воді без ПАР та за додавання оптимальної концентрації досліджуваної аніонної ПАР. Експериментальні дослідження добре узгоджуються з теоретичними розрахунками. Показано, що позитивна дія ПАР максимально проявляється тоді, коли частинки осаду починають відігравати функцію фільтрувальної перегородки. За таких умов швидкість фільтрування зростає у 2,5 рази.*

**Ключові слова:** фільтрування, швидкість фільтрування, коефіцієнт поверхневого натягу, поверхнево-активні речовини, оптимальна концентрація, інтенсифікація.

## Влияние поверхностно-активных веществ на скорость фильтрования

Ю.Л. Билонога, О.Р. Максисько  
yuriy\_bilonoha@ukr.net

*Львовский национальный университет ветеринарной медицины и биотехнологий имени С.З. Гжицкого,  
ул. Пекарская, 50, г. Львов, 79010, Украина*

*В статье рассматривается процесс фильтрования, который является одним из энергозатратных в перерабатывающей промышленности. Проанализированы факторы, влияющие на скорость фильтрования. Процесс фильтрования целесообразно рассматривать с учетом сил поверхностного натяжения в каналах фильтра на границе контакта твердое тело-жидкость и для определения скорости фильтрования использовать уравнения, которые бы учитывали действие этих сил. Предложено для уменьшения сопротивления осадка на фильтровальной перегородке и интенсификации процесса фильтрования использовать оптимальные концентрации разного рода поверхностно-активных веществ (ПАВ). Экспериментально найдено оптимальную концентрацию анионных ПАВ к воде, при которой коэффициент поверхностного натяжения воды минимален. Показано, что при добавлении оптимальной концентрации исследуемой ПАВ скорость фильтрования в воде при температуре 20 °С будет больше в 2,3 раза чем при нагреве до температуры 50 °С. Теоретически рассчитаны скорости фильтрования в воде без ПАВ и за добавления оптимальной концентрации анионной ПАВ.*

*На стенде гидромеханических процессов проведена серия экспериментов для определения скорости фильтрования в воде без ПАВ и при добавлении оптимальной концентрации исследуемой анионной ПАВ. Экспериментальные исследования хорошо согласуются с теоретическими расчетами. Показано, что положительное действие ПАВ максимально проявляется*

### Citation:

Bilonoha, Y.L., Maksysko, O.R. (2017). Effect of surface-active substances on speed filtration. *Scientific Messenger LNUVMB*, 19(80), 99–102.

ся тогдa, когдa частини осадкa починають играти функцію фільтрувальної перегородки. При таких умовах швидкість фільтрування зростає в 2,5 рази.

**Ключевые слова:** фільтрування, швидкість фільтрування, коефіцієнт поверхневого натяження, поверхностно-активні речовини, оптимальна концентрація, інтенсифікація.

## Effect of surface-active substances on speed filtration

Y.L. Bilonoha, O.R. Maksysko  
yuriy\_bilonoha@ukr.net

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv,  
Pekarska Str., 50, Lviv, 79010, Ukraine

The article deals with the process of filtering, which is one of the energy-consuming industries in the processing industry. The factors influencing the rate of filtration are analyzed. The filtration process should be considered taking into account the surface tension forces at the contact point of the solid-liquid and to determine the filtration rate, use equations that take into account the effect of these forces. It is proposed to use optimal concentrations of different types of surfactants (SOPs) to reduce the resistance of the precipitate to the filter septum and to intensify the filtration process. The optimal concentration of anionic surfactant to water has been experimentally found, which results in a minimum surface tension factor. It is shown that adding the optimal concentration of the studied surfactant will result in a rate of filtration in water at 20 °C at a temperature of 2.3 times greater than that at 50 °C. Theoretically calculated filtration rates in water without surfactant and the addition of an optimal concentration of anionic surfactant.

A series of experiments was carried out at the Hydromechanical Process Stand for determining the filtration rate in water without surfactant and adding an optimal concentration of the studied anionic surfactant. Experimental studies are in good agreement with theoretical calculations. It is shown that the positive effect of the surfactant is maximally manifested when the particles of the sediment begin to play the function of the filtering partition. Under these conditions, the filtering rate increases by 2.5 times.

**Key words:** filtration, filtration rate, surface tension coefficient, surface-active substances, optimal concentration, intensification.

### Вступ

Однією з найбільш актуальних проблем сучасного машинобудування, зокрема за експлуатації апаратів харчової та хімічної промисловості, є зменшення їх енергоємності. Найбільш поширеним і енергоємним, зокрема, є процес фільтрування. Швидкість його проходження, а отже і енергозатратність процесу залежить від цілого ряду факторів, яку можна описати рівнянням:

$$v_f = \frac{\Delta p}{\mu Z}, \quad (1)$$

де  $\Delta p$  – різниця тисків до і після фільтра, рушійна сила процесу фільтрування, Па;  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, що фільтрується, Па·с;  $Z$  – опір фільтрувальної перегородки, м<sup>-1</sup>.

Збільшення величини  $\Delta p$  веде до потреби нарощування потужності фільтрувальної апаратури, що підвищує енергоємність обладнання. Зменшення величини опору фільтрувальної перегородки  $Z$  не приведе до бажаного результату, оскільки втрачається сам зміст процесу фільтрування.

**Мета роботи.** Показати, що швидкість процесу фільтрування можна збільшувати за додавання оптимальних концентрацій поверхнево-активних речовин (ПАР).

### Результати та їх обговорення

Прискорити фільтрувальний процес можна шляхом зменшення в'язкості  $\mu$  рідини, що фільтрується. Для цього на підприємствах харчової, фармацевтич-

ної, хімічної промисловості перед фільтруванням рідини можуть підігрівати (Koval'ska, 1997). Але сам процес нагрівання рідин є достатньо енергозатратним.

В роботі (Bilonoha, 2006; Bilonoha, 2012) було показано що гідромеханічні процеси, зокрема, і процес фільтрування доцільно розглядати з врахуванням сил поверхневого натягу на межі контакту тверде тіло-рідина. Також були запропоновані формули 2 і 3 для визначення швидкості фільтрування з урахуванням цих сил.

$$v_f = \frac{(\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1}) d_{EKB} \varepsilon^2}{27,5\mu L} \quad (2)$$

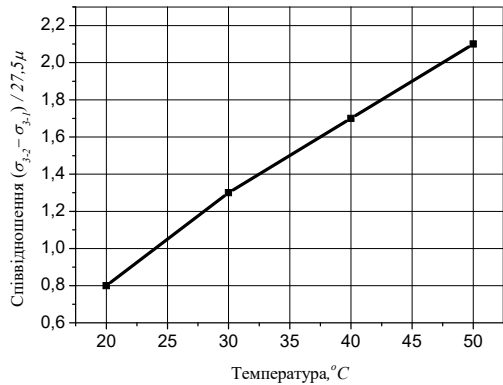
$$\text{або } v_f = \frac{(\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1}) \varepsilon^2}{27,5\mu H_0} \quad (3)$$

де  $\sigma_{3-2}$  – коефіцієнт поверхневого натягу на межі розділу твердої та газоподібної фаз, тобто фільтрувальної перегородки і повітря, Н/м;  $\sigma_{3-1}$  – коефіцієнт поверхневого натягу на межі твердої та рідкої фаз, тобто фільтрувальної перегородки та розчину, Н/м;  $d_{EKB}$  – еквівалентний діаметр каналів фільтрувальної перегородки, м;  $\varepsilon$  – доля порожнеч у фільтрувальній перегородці;  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;  $L$  – товщина фільтра;  $H_0$  – число гомохронності, що показує характерні геометричні особливості фільтрувальної перегородки, а саме еквівалентний діаметр каналів  $d_{EKB}$  і товщину фільтра,  $L$ .

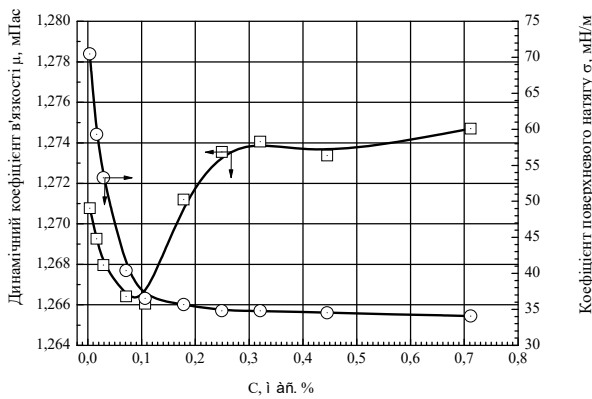
Як видно з формул (2, 3) при нагріванні змінюється співвідношення між фізичними характеристиками рідини ( $\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1}$ ) та  $\mu$ , які при підвищенні температури, наприклад, в діапазоні (20–50) °C мають наступний характер (рис. 1). При цьому приймали значення

поверхневої енергії для матеріалу фільтра  $\sigma_{3-2} = 0,1$ . Значення коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma_{3-1}$  і

в'язкості  $\mu$  для води наведені в таблиці 1.



**Рис. 1.** Залежність співвідношення  $\frac{(\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1})}{27,5\mu}$  для води від температури



**Рис. 2.** Залежність коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma$  та динамічного коефіцієнта в'язкості  $\mu$  води від концентрації аніонної ПАР у воді.

Як бачимо з рис. 1, співвідношення  $\frac{(\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1})}{27,5\mu}$  в

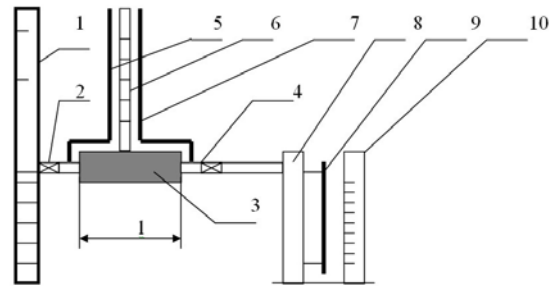
діапазоні температур (20–50) °C зростає більше, як у двічі, що приводить до такого ж зростання швидкості фільтрування.

Тому, в умовах фільтрування в харчових, фармацевтичних, хімічних технологіях рядом авторів, пропонується використовувати різноманітні ПАР, які суттєво зменшують опір осаду на фільтрувальній перегородці та інтенсифікують загалом процес фільтрування без використання додаткових енергозатрат (Malinovskaja, 1985).

В технологічних процесах ПАР використовують, в основному, у вигляді водних розчинів. При попаданні у водні розчини ПАР в залежності від їхньої природи дисоціюють або не дисоціюють на іони. Така поведінка дає можливість цілеспрямовано змінювати поверхневі властивості.

**Таблиця 1**  
**Значення коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma_{3-1}$  і коефіцієнта динамічної в'язкості  $\mu$  для води в діапазоні температур (20 – 50) °C**

Температура, t °C	Коефіцієнт динамічної в'язкості, $\mu$ , $10^{-3}$ Па·с	Коефіцієнт поверхневого натягу на межі фільтрувальної перегородки та розчину $\sigma_{3-1}$ , $10^{-3}$ Н/м
20	1	72,75
30	0,804	71,18
40	0,657	69,56
50	0,549	67,91



**Рис. 3.** Схема дослідної фільтрувальної установки: 1 – напірний бак, 2 – вентиль, 3 – фільтр, 4 – вентиль, 5 – п'єзометр №1, 6 – шкала, 7 – п'єзометр №2, 8 – мірний бак, 9 – скляна трубка, 10 – шкала, що проградуйована в м<sup>3</sup>;

На рис. 2 показані залежності коефіцієнта поверхневого натягу та динамічного коефіцієнта в'язкості води від концентрації аніонактивної ПАР.

Як видно з графіків мінімальне значення коефіцієнта поверхневого натягу спостерігається за концентрації (0,10...0,15) мас. За цієї концентрації коефіцієнт поверхневого натягу зменшується в 1,98 рази. Цю концентрацію будемо вважати оптимальною. За цієї концентрації вибирали і значення для динамічного коефіцієнта в'язкості.

Підставивши вказані дані у співвідношення  $\frac{(\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1})}{27,5\mu}$  за температури 20 °C, отримаємо:

$$\frac{(0,1 - 34,1 \cdot 10^{-3})}{27,5 \cdot 10^{-3}} = 2,3.$$

Тобто, за додавання ПАР швидкість фільтрування у воді за температури 20 °C буде більшою, ніж при нагріванні до 50 °C без ПАР.

Даний розрахунок показує, що в умовах фільтрування можна суттєво зменшити енергозатрати шля-

хом додавання до розчину, що фільтрується, малих кількостей ПАР, що може замінити його нагрівання.

Крім цього, нами проведена серія експериментів на стенді гідромеханічних процесів (рис. 3) для визначення швидкості фільтрування. Перша серія стосувалася визначення швидкості фільтрування для води за температури 12 °С, а друга – визначення швидкості фільтрування для води за додавання оптимальної концентрації ПАР.

Швидкість фільтрування розраховували за формулою 4:

$$v_f = \frac{W}{S\tau} = \frac{4W}{\pi D^2 \tau}, \quad (4)$$

де  $W$  – об'єм розчину в мірному баку, м<sup>3</sup>;  $\tau$  – час натікання об'єму  $W$  розчину у мірний бак, с;  $D$  – діаметр фільтра, м.

Дана фільтрувальна перегородка із зернистого матеріалу мала константи:  $D = 105 \cdot 10^{-3}$  м;  $l = 0,49$  м;

Величину  $d_{EKB}$  визначали з формули (Kaveckij and Korolev, 1991).

$$d_{EKB} = \psi \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} d, \quad (5)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт форми частинки зерна фільтра,  $\psi = 0,77$ ;  $d$  – діаметр зерна фільтра, м;  $d = 12 \cdot 10^{-3}$  м;  $\varepsilon$  – доля пористості зернистого матеріалу у фільтрі  $\varepsilon = 0,2$ .

З формули 5:

$$d_{EKB} = \psi \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} d = 0,77 \frac{0,2}{1-0,2} \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Матеріал фільтра – зернистий керамічний матеріал, для якого значення поверхневої енергії приймалося:  $\sigma_{3-2} = 2$  Дж/м<sup>2</sup>. Отримані дані представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальні та теоретичні швидкості фільтрування

Експериментальна швидкість фільтрування, м/с		Теоретична швидкість фільтрування, м/с	
без використання ПАР	за використання оптимальної концентрації аніонної ПАР	без використання ПАР	за використання оптимальної концентрації аніонної ПАР
9,6·10 <sup>-3</sup>	10,6·10 <sup>-3</sup>	10,2·10 <sup>-3</sup>	10,74·10 <sup>-3</sup>

Бачимо, що експериментальні дослідження добре узгоджуються з теоретичними.

Позитивна дія ПАР максимально проявляється тоді, коли частинки осаду починають відігравати функцію фільтрувальної перегородки (Bodnar, 1994). В харчовій промисловості величина поверхневої енергії твердих частинок осаду  $\sigma_{3-2}$  є співмірною з коефіцієнтом поверхневого натягу на межі твердої та рідкої фаз  $\sigma_{3-1}$ , тобто твердих частинок осаду, що утворився в каналах фільтрувальної перегородки та фільтрату. Наближене значення поверхневої енергії частинок осаду  $\sigma_{3-2} = 0,1$ . Тоді:

1. Теоретична швидкість фільтрування без використання ПАР (за формулою 2): (при цьому  $[\sigma_{3-1}]_{12}^0 \text{ с} = 73,5 \cdot 10^{-3}$  Н/м;  $\mu_{12}^0 \text{ с} = 1,28 \cdot 10^{-3}$  Па·с).

$$v_f = \frac{(\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1}) d_{EKB} \varepsilon^2}{27,5 \mu L} = \frac{(0,1 - 73,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,2^2 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3}}{27,5 \cdot 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot 0,49} = 1,41 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

2. Теоретична швидкість фільтрування з використанням ПАР (за формулою 2): (при цьому  $[\sigma_{3-1}]_{12}^0 \text{ с} = 34,1 \cdot 10^{-3}$  Н/м;  $\mu_{12}^0 \text{ с} = 1,25 \cdot 10^{-3}$  Па·с).

$$v_f = \frac{(\sigma_{3-2} - \sigma_{3-1}) d_{EKB} \varepsilon^2}{27,5 \mu L} = \frac{0,1 - 34,1 \cdot 10^{-3}}{27,5 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,49} \cdot 0,2^2 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} = 3,56 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

Бачимо, що швидкість фільтрування зростає майже у 2,5 рази. Таке зростання приводить до економії енергоресурсів в процесі фільтрування.

Слід зауважити, що в разі використання загально-відомих формул типу (1) для розрахунку швидкості фільтрування при використанні ПАР ми б не змогли отримати достовірний результат, оскільки вони не містять коефіцієнта поверхневого натягу рідини. Дія ж ПАР направлена, передовсім, на зменшення цього параметру і ефективно діє на збільшення швидкості фільтрування, що доведено нами теоретично і підтверджено експериментально.

## Висновки

1. Для інтенсифікації процесу фільтрування до розчинів доцільно додавати оптимальні концентрації ПАР.

2. Теоретично доведено та експериментально підтверджено, що додавання оптимальної концентрації ПАР до розчинів збільшує швидкість фільтрування у 2,5 рази.

## Бібліографічні посилання

- Koval'ska, L.P. (1997). *Tehnologija pishhevyh proizvodstv*. М.: Kolos (in Russian).
- Bilonoha, Yu.L. (2006). *Pro dotsilnist rozghliadu hidromekhanichnykh protsesiv z vrakhuvanniam syl poverkhnevoho natiahu na hranytsi kontaktu tverde tilo-ridyna. Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia*. 2, 64 (in Ukrainian).
- Bilonoha, Yu.L. (2012). *Kinetyka protsesu filtruvannia z vrakhuvanniam syl poverkhnevoho natiahu ridyny. Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z.Hzhytskoho*. 12, 2(3), 183–188 (in Ukrainian).
- Malinovskaja, T.A. (1985). *Himicheskaja promyshlennost'*. 9, 13 (in Russian).
- Kaveckij, G.D., Korolev, F.V. (1991). *Processy i apparaty pishhevoj tehnologii*. М.: Agropromizdat (in Russian).
- Bodnar, P.M. (1994). *Ekstrahuvannia ta filtratsiia v tekhnologii oderzhannia ekstraktiv likarskoj roslynnoj syrovyny. Avtoreferat dys....kandydata tekhn. nauk: Lviv*, 15 (in Ukrainian).

Received 13.09.2017

Received in revised form 23.10.2017

Accepted 26.10.2017