

6. Гержикова В. Г. Методы техно-химического контроля в виноделии / Г. В. Гержикова. – Симферополь : Таврида, 2002. – С. 90–93.
7. Огай Ю. А. Биологически активные свойства винограда и вина / Ю. А. Огай [и др.] // Виноградарство и виноделие. – 2000. – № 4. – С. 25–26.
8. Петрова В. П. Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений / В. П. Петрова. – К. : Вища школа, 1986. – 287 с.
9. Justesen V. Quantitative analysis of flavonoids. Flavonones in fruits, vegetables and beverages by HPLC with photo-diode array and mass spectrometry detection / V. Justesen, P. Knuthsen, F. Lefth // J. Chromatogr. – 1998. – Vol. 799. – P. 101–110.
10. Тутельян В. А. Биологически активные вещества растительного происхождения. Фенольные кислоты распространённость, пищевые источники, биодоступность / В. А. Тутельян, Н. В. Лашнева // Вопросы питания. – 2008. – Т. 77, № 7. – С. 4–18.
11. Шобингер У. Фруктовые и овощные соки / У. Шобингер ; пер. с нем. под ред. А. Ю. Колесникова, Н. Ф. Берестяня и А. В. Орищенко. – СПб. : Профессия, 2004. – 639 с.

Отримано 30.03.2012. ХДУХТ, Харків.

© І.В. Гайдай, 2012.

УДК 637.3

М.М. Шинкарик, канд. техн. наук (*ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль*)

О.І. Кравець (*ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль*)

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПРЕСІЙНО-ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИРНОГО ПИЛУ

Досліджено компресійно-фільтраційні характеристики сирного пилу при різних значеннях зовнішнього тиску.

Исследованы компрессионно-фильтрационные характеристики сырной пыли при различных значениях внешнего давления.

Compression-lauter descriptions of cheese dust are investigational at the different values of external pressure

Постановка проблеми у загальному вигляді. Під час технологічних операцій виробництва сиру, сиру кисломолочного та казеїну утворюється сирний пил. Сирним пилом умовно називають частинки сирної маси, розмір яких на порядок менший від розмірів сирного зерна. У зв'язку з малими розмірами сирний пил переходить у сироватку, а оскільки на більшості підприємств сироватка зливається в

каналізацію, то разом із нею виробництво втрачає значну частину сирної маси у вигляді сирного пилу.

Щодо кількісного вмісту сирного пилу в сироватці, то нами було встановлено, що в разі виробництва сиру кисломолочного періодичним способом він у середньому становить 3,1 г/л, для казеїнової сироватки (у разі виробництва казеїну безперервним способом) ця цифра удвічі менша – 1,54 г/л [1].

Таким чином, очищення молочної сироватки дозволить повернути в технологічний процес значну частину білка, а також збільшити об'єм готової продукції з 1 т молока. Додатковим ефектом цієї операції є зниження експлуатаційних затрат на очищення стічних вод.

Одним із найпростіших шляхів очищення сироватки є фільтрування.

У попередніх дослідженнях нами було встановлено, що шляхом фільтрування можна відділити від 50 до 80% сирного пилу [2].

Ефективність процесу буде залежати від компресійно-фільтраційних характеристик осаду (сирного пилу) та від того, яким чином вони будуть змінюватися під дією зовнішнього тиску.

Вивчаючи компресійно-фільтраційні характеристики осадів у харчовій промисловості, використовують положення теорії фільтраційної консолідації, розробленої в механіці ґрунтів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можливість застосування принципів теорії фільтраційної консолідації в дослідженнях компресійно-фільтраційних характеристик харчових продуктів довели у своїх працях А.І. Гурянов, Н.Н. Ліпатов, В.Ф. Кашенко, Е.І. Воробйов, М.М. Шинкарик [4–6].

Мета та завдання статті. Метою проведених досліджень було встановлення компресійно-фільтраційних характеристик сирного пилу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для характеристики осадів використовують такі компресійно-фільтраційні параметри:

– коефіцієнт пористості, який представляє собою відношення об'єму пор v_n до об'єму скелета $v_{ск}$:

$$e_n = \frac{v_n}{v_{ск}}; \quad (1)$$

– здатність згустку деформуватися під дією зміни прикладеного тиску Δp (Па) характеризується коефіцієнтом стисливості a (1/Па) або модулем стисливості G (Па) відповідно:

$$a = \frac{\Delta e}{\Delta p}, \quad (2)$$

$$G = \frac{1 + e}{a}. \quad (3)$$

де Δe – зміна коефіцієнта пористості в разі зміни тиску Δp ;

– під час фільтрування рідини через шар осаду важливим параметром є питомий опір фільтруванню r (1/м²):

$$r = \frac{\Delta p \cdot \tau}{\mu \cdot v_n h} - \frac{R}{h}, \quad (4)$$

де Δp – гідродинамічний напір (Па);

μ – динамічна в'язкість молочної сироватки (Па·с);

v_n – питомий об'єм сироватки, який проходить через шар сирного пилу (м³/м²);

τ – час, за який через шар сирного пилу проходить об'єм v_n (с);

R_ϕ – опір фільтрувальної перепони, $R_\phi = 2,3 \cdot 10^7$ (1/м) (визначали попередньо);

h – висота шару сирного пилу (м);

– величиною, оберненою до питомого опору фільтруванню ϵ коефіцієнт фільтрування сирного пилу k (м²/Па):

$$k = 1/\mu \cdot r. \quad (5)$$

Суть методики дослідження полягала в тому, що визначення досліджуваних параметрів проводилося в тонкому шарі продукту (7–10 мм) при ступінчастому збільшенні навантаження.

Експериментальна установка складалася з циліндра 1 (рис. 1) та поршня 2. Зверху циліндр закривався кришкою 3, яка одночасно була і напрямною для штока 4. Перфорована поверхня поршня 2 і перфороване дно 5 покриті фільтрувальною тканиною 6. Необхідний для досліду тиск задавали за допомогою вантажів 7, які встановлювали на пластину 8. Переміщення поршня вимірювали індикатором годинникового типу 9 з точністю до 0,01 мм. Кількість профільтрованої рідини – мірною посудиною 10 із точністю 0,5 мл.

Рідина в циліндр надходила з бачка 11. Гумова і скляна трубки (12 і 13) відповідно використовувались як гідрозатвор і встановлювалися таким чином, що патрубок 14 був на рівні перфорованого дна 5. Кран 17 призначено для створення необхідного напору рідини.

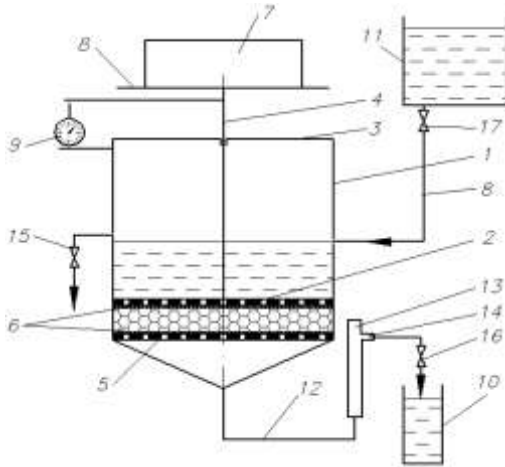


Рисунок 1 – Схема дослідної установки

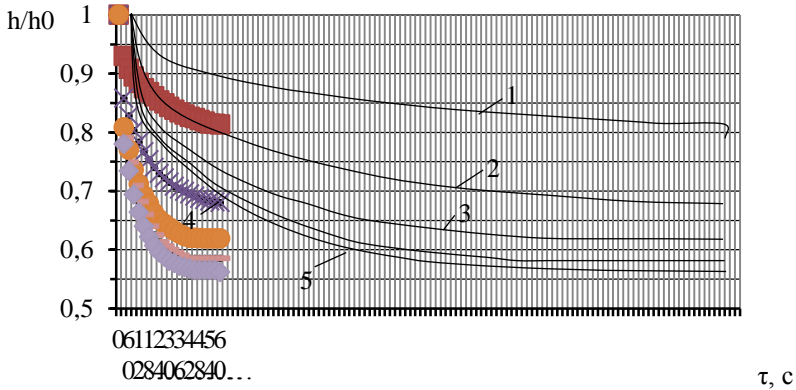
Перед початком експерименту проводили тарифікацію дослідної установки. Після цього між поршнем і фільтрувальною перегородкою поміщали шар сирного пилу ($t = 20^{\circ}\text{C}$). Через цей шар пропускали молочну сироватку для заповнення рідиною сирного пилу і робочої частини установки. Установлювали вантаж на пластину 8 і опускали поршень на продукт. Величину деформації шару під дією тиску фіксували протягом 600 с. Дослід проводили в одинадцять етапів, із кожним разом збільшуючи тиск, прикладений до поршня, на 0,5 кПа (на першому етапі тиск дорівнював нулю, на останньому – 5,0 кПа), при цьому тиск, прикладений до поршня, ототожнювався з тиском, прикладеним до шару сирного пилу. Із бачка 11 пропускали рідину через продукт. Заміряли кількість рідини, яка пройде через шар продукту за певний час. Після завершення деформації згустку, на останньому етапі, проводили поступове розвантаження поршня і вимірювали висоту відновлення продукту. Під дією зовнішнього тиску на згусток сирного пилу він деформується, а в разі поступового зменшення дії цього тиску – частково відновлюється. Таким чином, можна зробити висновок, що для сирного пилу характерна пружно-пластична деформація.

Криві деформації шару сирного пилу показано на рис. 2. По осі ординат відклали відносно деформацію шару h' :

$$h' = h/h_0, \quad (6)$$

де h – висота ущільненого шару;

h_0 – початкове значення висоти шару.



**Рисунок 2 – Криві деформації шару сирного пилу при тисках (кПа):
1 – 1,0; 2 – 2,0; 3 – 3,0; 4 – 4,0; 5 – 5,0**

Відрізки кривих при різних навантаженнях являють собою майже паралельні лінії, що свідчить про однозначну залежність між коефіцієнтом пористості та тиском.

Відповідно до отриманих даних можна зробити висновок, що сирний пил належить до стисливих осадів.

Авторами запропоновано методику визначення компресійно-фільтраційних характеристик сирного пилу, яка полягає в тому, що пористість згустку після прикладання останнього ступеня навантаження ототожнюють із його вологістю, яку визначають у кінці експерименту. У такому випадку згусток являє собою спресований шар, що вносить менші похибки в експеримент. Постійним протягом експерименту залишається об'єм скелета $v_{ск}$ (m^3), який визначали за формулою

$$v_{ск} = W_n \frac{v_n \cdot \rho_{зг}}{\rho_{ск}}, \quad (7)$$

де W – масова вологість згустку після прикладання останнього ступеня навантаження, %;

v_n – об’єм згустку після прикладання останнього ступеня навантаження, m^3 .

Густина скелета $\rho_{ск}$ (kg/m^3) та густина згустку $\rho_{зг}$ (kg/m^3) після прикладання останнього ступеня навантаження відповідно:

$$\rho_{ск} = \rho_T (1 - W); \quad (8)$$

$$\rho_{зг} = \rho_p W + \rho_{ск}, \quad (9)$$

де ρ_T – густина твердих частинок (білка), kg/m^3 ;

ρ_p – густина рідини (молочної сироватки), kg/m^3 .

Коефіцієнт пористості згустку на кожному ступені навантаження визначали за формулою

$$e_i = \frac{v_i - v_{ск}}{v_{ск}}, \quad (10)$$

де v_i – об’єм згустку на i -му ступені навантаження, m^3 .

Результати експериментів показали, що коефіцієнт пористості сирного пилу в разі відсутності навантаження становить 3,85 і зі зростанням тиску зменшується (рис. 3). У результаті опрацювання експериментальних даних отримали відповідну математичну залежність:

$$e = e_0 - 1,2 \left(\frac{p}{p^*} \right)^{0,372}, \quad (11)$$

де $e_0 = 3,85$ – значення коефіцієнта пористості сирного пилу в разі відсутності навантаження, кПа; p – зовнішній тиск, кПа; $p^* = 1$ кПа.

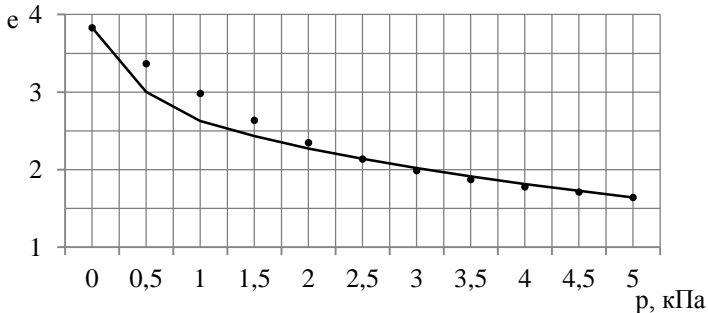


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта пористості від величини тиску

Залежність модуля стисливості сирного пилу від тиску можна надати в наступному вигляді (рис. 4):

$$G = 3,75 \left(\frac{P}{P^*} \right). \quad (12)$$

Питомий опір фільтруванню визначали за формулою (4).

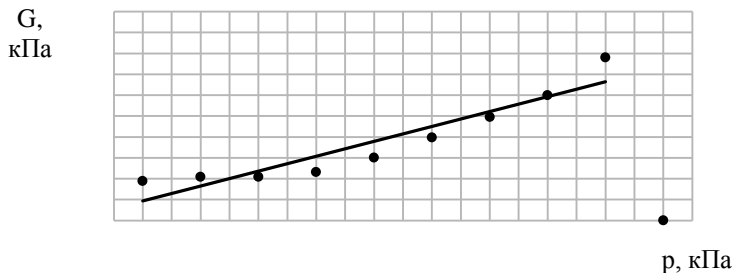


Рисунок 4 – Залежність модуля стисливості сирного пилу від тиску

Установлено залежність величини питомого опору фільтруванню сирного пилу від величини тиску в діапазоні від 0 до 5кПа:

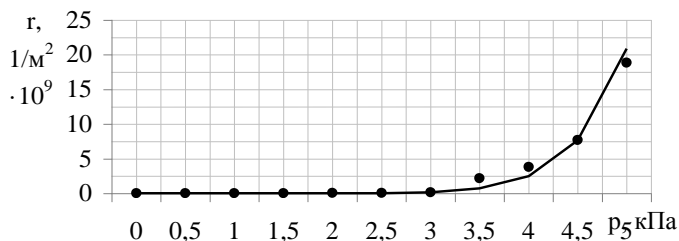
$$r = r_0 + 5,86 \cdot 10^3 \left(\frac{P}{P^*} \right)^{9,31}, \quad (13)$$

де $r_0 = 3,4 \cdot 10^7$ – значення питомого опору фільтруванню сирного пилу за відсутності навантаження, $1/м^2$.

Різке зростання питомого опору фільтруванню спостерігається при тиску понад 3,5 кПа (рис. 5а). Коефіцієнт фільтрування k в разі зростання величини зовнішнього тиску зменшується (рис. 5б). Залежність коефіцієнта фільтрування від тиску в діапазоні від 0 до 3,5 кПа виражається отриманим математичним виразом

$$k = k_0 - 3,77 \cdot 10^{-7} \left(\frac{P}{P^*} \right)^{1,25}, \quad (14)$$

де k_0 – значення коефіцієнта фільтрування сирного пилу за відсутності навантаження, $k_0 = 1,832 \cdot 10^{-6} м^2/кПа$.



а

Рисунок 5 – Залежність питомого опору фільтрування (а) та коефіцієнта фільтрування (б) від величини зовнішнього тиску

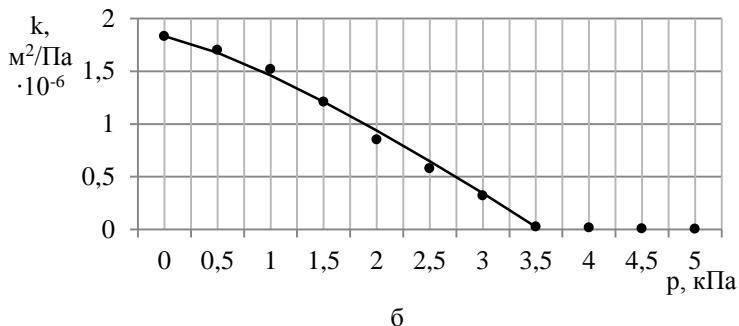


Рисунок 5, аркуш 2

Висновки. За компресійно-фільтраційними характеристиками сирний пил можна віднести до стисливих осадів, яким властивий модуль стисливості та коефіцієнт фільтрування. Різке зменшення коефіцієнта фільтрування пов'язане з деформацією нижніх шарів осаду, що спостерігається при тиску 3,5 кПа і більше. Для очищення сироватки від сирного пилу шляхом фільтрування чи відтискування можна рекомендувати тиск (напір) до 3,5 кПа.

Список літератури

1. Шинкарик М. М. Вдосконалення лінії очистки сироватки / М. М. Шинкарик, В. Г. Юкало, О. І. Кравець // Вісник ТДТУ ім. І. Пулюя. – 2005. – № 2. – С. 233–239.
2. Шинкарик М. М. Аналіз гранулометричного складу сирної пилуки / М. М. Шинкарик, О. І. Кравець // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2011. – № 40. – С. 266–269.
3. Цытович Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – М. : Высшая школа, 1979. – 272 с.
4. Гурьянов А. И. Компрессионные и фильтрационные исследования процесса прессования творожного згустка / А. И. Гурьянов, Н. Н. Липатов // Молочная промышленность. – 1967. – № 12. – С. 14–8.
5. Кашенко В. Ф. Разработка процессов прессования и вакуумного охлаждения творога в тонком слое с целью создания оборудования повышенной эффективности : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Кашенко В. Ф. – М., 1981. – 141 с.
6. Воробьев Е. И. Математическая модель разделения жидкой и твердой фаз фильтрованием / Е. И. Воробьев, М. Н. Шинкарик // Журнал прикладной химии. – 1988. – № 2. – С. 226.

Отримано 30.03.2012. ХДУХТ, Харків.

© М.М. Шинкарик, О.І. Кравець, 2012.