

УДК 637.3

М.М. Шинкарик, О.І. Кравець

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ФІЛЬТРАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ СИРНОГО ПИЛУ

У статті досліджено гранулометричний склад сирного пилу, його компресійно-фільтраційні та адгезійні властивості. На основі отриманих результатів проаналізовано можливість очистки молочної сироватки шляхом фільтрування та запропоновано оптимальні параметри процесу.

Ключові слова: сирний пил, молочна сироватка, гранулометричний склад, компресійно-фільтраційні властивості, адгезія.

Постановка проблеми. У світі спостерігається постійне зростання виробництва молочних продуктів [1], що в свою чергу, обумовлює збільшення об'ємів отримання молочної сироватки. Проте, на сьогодні, значна частина отримуваної сироватки не використовується і в кращому випадку утилізується разом із стічними водами підприємства, а в гіршому – скидається у каналізацію. У зв'язку з цим, проблема використання молочної сироватки має економічний та екологічний аспекти.

Зменшити втрати виробництв та забруднення навколишнього середовища можна шляхом відділення з сироватки сирного пилу, що переходить у неї в процесі виробництва основного продукту (при виробництві кисломолочного сиру вміст сирного пилу в сироватці становить 3 г/л [2]). За рахунок цього, можна повернути у технологічний процес значну частину сирної маси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для очистки сироватки на підприємствах використовуються тарілкові сепаратори. Проте, в процесі роботи сепаратора виникають проблеми, пов'язані з швидким забрудненням міжтарілкового простору в результаті адгезійного зчеплення частинок білка з поверхнею тарілки. Ефективна очистка сироватки спостерігається протягом усього 15-20 хв, а кожні 50-60 хв необхідно зупинити процес для очистки і миття сепаратора [3].

З метою очистки сироватки також можна використовувати центрифуги та для ефективного їх застосування потрібні великі об'єми сироватки.

Багато фірм як першу стадію очистки використовують вібраційні сита. Цей спосіб, незважаючи на свою простоту, дозволяє відділити до 60% сирного пилу. Серйозним недоліком вібраційних сит є додаткове поступлення повітря в продукт, що враховуючи схильність молочної сироватки до "піноутворення", є небажаним.

Також з метою очистки сироватки можна використовувати фільтрування. Цей спосіб доступний для підприємств різної потужності, а очистку на фільтрах можна здійснювати без доступу повітря та з періодичною регенерацією фільтрувального елемента.

Проте ефективність застосування процесу фільтрування залежить від гранулометричного складу сирного пилу, його компресійно-фільтраційних та адгезійних властивостей.

Мета дослідження – встановлення гранулометричного складу сирного пилу, його компресійно-фільтраційних та адгезійних властивостей.

Об'єкт дослідження – молочна сироватка, отримана при виробництві сиру кисломолочного жирністю 2% та виділений з неї сирний пил.

Результати дослідження. Дослідження гранулометричного складу сирного пилу ґрунтувались на методі ситового аналізу. Відповідно до отриманих результатів загальну масу матеріалу розподілили на дев'ять фракцій, середнім розміром від 0,23 до 1,9 мм (рис. 1). Максимальна масова частка становить 24,7 % і відповідає фракції з середнім розміром 1,1 мм. Близько 88 % від загальної маси сирного пилу припадає на фракції середній розмір яких перевищує 0,5 мм.

Максимальна кількість сирного пилу має розмір фракції більше 0,87 мм., що необхідно врахувати при виборі фільтрувальної установки. Процес фільтрування необхідно розділити на дві стадії. Для фільтра грубої очистки розмір отворів встановити в межах 0,87-1,1 мм, що дозволить відділити до 52 % сирного пилу. Для фільтра тонкої очистки оптимальним розміром отворів буде 0,5-0,6 мм, що дозволить відділити близько 37 % сирного пилу (рис. 2). Використовувати для тонкої очистки фільтрувальні елементи з розмірами отворів менше 0,5 мм є невіправданим.

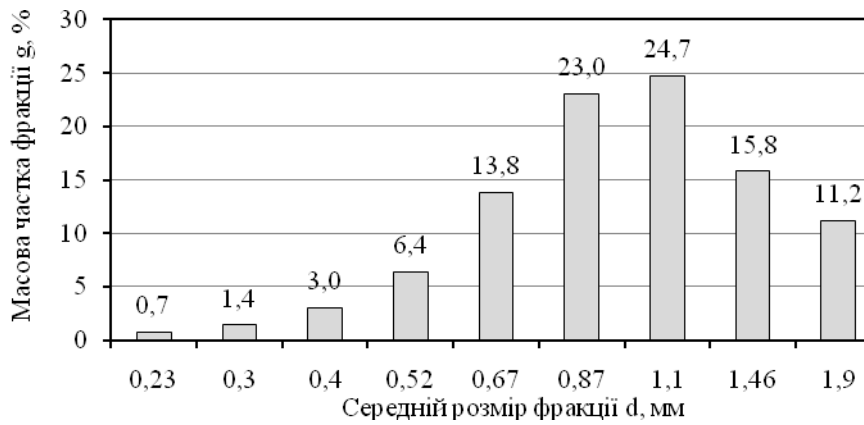


Рис. 1. Відносна масова частка фракцій сирного пилу



Рис. 2. Розподіл сирного пилу на фільтрах

Таким чином, проведені дослідження гранулометричного складу сирного пилу дозволили зробити висновок про можливість ефективного відділення сирного пилу з сироватки за рахунок фільтрування.

Для проведення процесу фільтрування важливим є дослідження компресійно-фільтраційних характеристик осаду (сирного пилу).

При дослідженні компресійно-фільтраційних характеристик сирного пилу використовували положення теорії фільтраційної консолідації, розробленої в механіці ґрунтів [4].

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

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

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

де $e_0 = 3,83$ – значення коефіцієнта пористості сирного пилу при відсутності навантаження, кПа; p – зовнішній тиск, кПа; $p^* = 1$ кПа.

Також отримано графічну залежність модуля стисливості від тиску (рис. 4).

При фільтруванні рідини через шар осаду важливим параметром є питомий опір фільтруванню осаду. Отримані дані свідчать, що різке зростання питомого опору фільтруванню сирного пилу спостерігається при тиску понад 4 кПа (рис. 5).

Встановлено залежність величини питомого опору фільтруванню сирного пилу від величини тиску в діапазоні від 0 до 4 кПа:

$$r = r_0 \left(1 + 0,22 \cdot 10^9 \left(\frac{p}{p^*} \right)^{2,43} \right), \quad (2)$$

де $r_0 = 2,33 \cdot 10^9$ – значення питомого опору фільтруванню сирного пилу за відсутності навантаження, $1/\text{м}^2$.

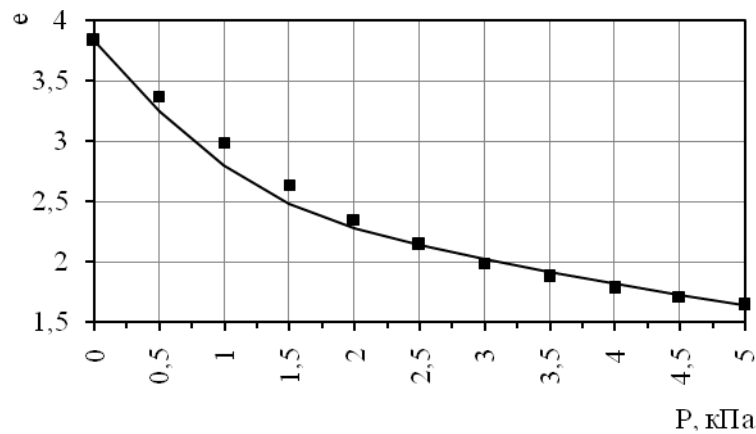


Рис. 3. Залежність коефіцієнта пористості сирного пилу від величини тиску

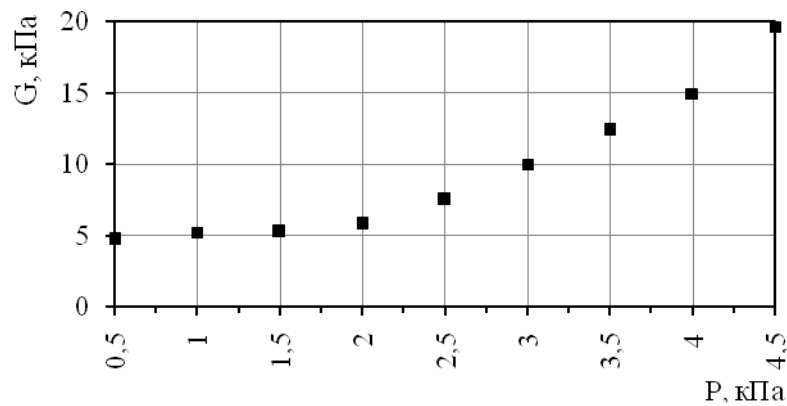


Рис. 4. Залежність модуля стисливості сирного пилу від величини тиску

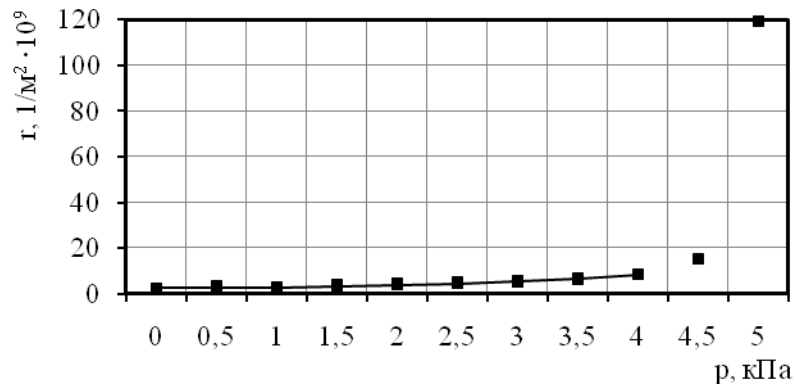


Рис. 5. Залежність питомого опору фільтруванню від величини зовнішнього тиску

Таким чином, для очистки сировакти від сирного пилу шляхом фільтрування можна рекомендувати тиск до 4 кПа.

На наступному етапі досліджень розглядали властивості сирного пилу, що характеризують його поведінку на межі розділу з іншим твердим матеріалом при дії нормальних напруг – адгезійні властивості.

У першу чергу адгезія визначається властивостями контактуючих поверхонь. Враховуючи роботу О.А. Савченко [5] для досліджень обрали дві поверхні: нержавіючу сталь та второпласт-4.

Адгезію досліджували у процесі її виникнення і оцінювали величиною адгезійної міцності, яка являє собою відношення сили, яка необхідна для відриву зразка від поверхні до площі поверхні.

Дослідження проводили при температурі сирного пилу 20°C. Товщина шару становила $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$, площа пластини – $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, швидкість зростання зусилля відриву – 1 Н/с.

Величина адгезійної міцності залежить від багатьох факторів: від часу і напруженості контакту, способу і швидкості відриву, форми і розмірів досліджуваних зразків, фізико-хімічних властивостей матеріалів тощо [6]. В умовах процесу фільтрування сироватки адгезійна міцність зв'язку між сирним пилом та фільтрувальною поверхнею буде залежати, в першу чергу, від тривалості контакту (тривалості фільтрування), величини попереднього навантаження (робочого тиску процесу фільтрування) та матеріалу контактуючої поверхні (матеріалу фільтрувального елемента).

У процесі досліджень визначали адгезійну міцність при різних значеннях тривалості контакту від 10 до 180 с з кроком 10 с. Величина тиску попереднього контакту становила 1,0 кПа.

Встановлено, що адгезійна міцність сирного пилу стрімко зростає на початку контакту (рис. 6). Зокрема, при контакті сирного пилу з пластиною із нержавіючої сталі на 50-й секунді контакту величина адгезійної міцності у 1,7 рази більша, ніж на 10-й секунді. Характерним також є те, що на початку контакту поверхонь адгезійна міцність пари сирний пил – второпласт-4 є більшою на 1кПа, а на стабільній ділянці – меншою на 1 кПа, ніж для пари сирний пил – сталь.

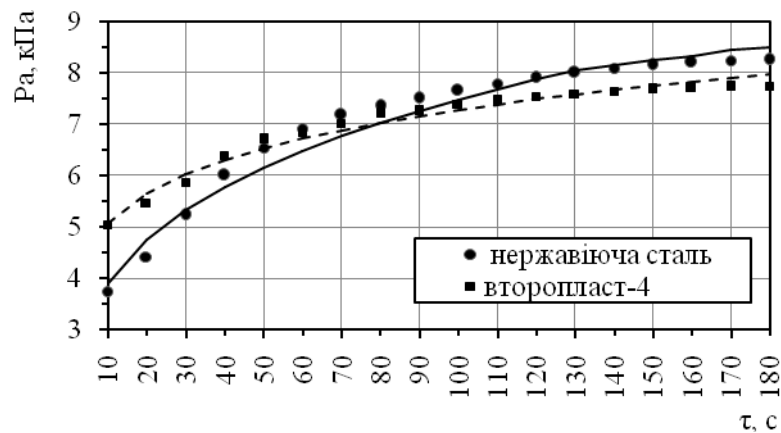


Рис. 6. Залежність величини адгезійної міцності сирного пилу від тривалості контакту

У результаті обробки експериментальних даних отримали математичну залежність, яка дає можливість визначити величину адгезійної міцності в інтервалі тривалості контакту від 0 до 300 с.

Для пари сирний пил – нержавіюча сталь, ця залежність буде мати наступний вигляд:

$$p_a = 2,05\tau^{0,281}. \tag{3}$$

Для пари сирний пил – второпласт-4:

$$p_a = 3,53\tau^{0,157}. \tag{4}$$

Залежність адгезійної міцності від величини тиску попереднього контакту досліджували при тривалості контакту 30 с.

Отриману графічну залежність адгезійної міцності від величини тиску попереднього контакту можна умовно розділити на 3 ділянки (рис. 7).

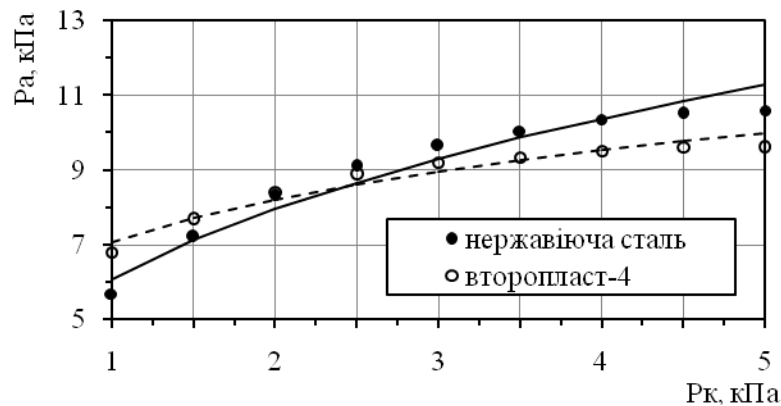


Рис. 7. Залежності адгезійної міцності від тиску попереднього контакту

На першій ділянці спостерігається стрімке зростання величини адгезійної міцності по відношенню до обох матеріалів поверхні. На другій ділянці (2,5-4,0 кПа) значення адгезійної міцності помірно зростає. Третя ділянка ($P_k > 4$ кПа) характеризується тим, що величина адгезійної міцності практично не змінюється: при зростанні тиску попереднього контакту на 0,5 кПа збільшення адгезійної міцності не перевищує 2%.

Встановлено, що зміна адгезійної міцності в залежності від тиску попереднього контакту для пари сирний пил – сталь описується наступною формулою:

$$p_a = 6,09 p_k^{0,383}. \quad (5)$$

Для пари сирний пил – второпласт-4:

$$p_a = 7,058 p_k^{0,216}. \quad (6)$$

У загальному залежність адгезійної міцності від тривалості контакту і тиску попереднього контакту можна представити у вигляді:

– для пари сирний пил – нержавіюча сталь:

$$p_a = 2,195 \tau^{0,281} p_k^{0,383}; \quad (7)$$

– для пари сирний пил – второпласт-4:

$$p_a = 3,834 \tau^{0,157} p_k^{0,216}. \quad (8)$$

Висновки

В цілому отримані результати досліджень дозволили зробити наступні висновки:

- основна частина сирного пилу може бути відділена з сироватки шляхом фільтрування;
- за компресійно-фільтраційними характеристиками сирний пил можна віднести до стисливих осадів, яким властивий модуль стисливості;
- різке зростання питомого опору фільтруванню пов'язане з деформацією нижніх шарів осаду, яке спостерігається при тиску 4 кПа і більше;
- для очистки сироватки від сирного пилу шляхом фільтрування можна рекомендувати тиск до 4 кПа;
- враховуючи сильні адгезійні властивості сирного пилу процес фільтрування буде ефективним лише за умови постійної регенерації фільтрувальної поверхні;
- для виготовлення фільтрувальних поверхонь доцільно використовувати нержавіючу сталь, яка має високу міцність та задовільні адгезійні характеристики;
- при тривалому контакті продукту з поверхнею в якості матеріалу останньої доцільно використовувати второпласт-4.

1. Berry P. Dairy / P. Berry // Australian commodities. – 2009. – Vol. 6, № 1. – P. 89-98.
2. Шинкарик М.М. Вдосконалення лінії очистки сироватки [Текст] / М.М. Шинкарик, В.Г. Юкало, О.І. Кравець // Вісник ТДТУ ім. І.Пулюя. – 2005. – №2. – С. 233-239.
3. Храмов А.Г. Переработка и использование молочной сыворотки [Текст]. Технологическая тетрадь. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 270 с.
4. Цытович, Н.А. Механика грунтов [Текст]. – М.: Высшая школа, 1979. – 272 с.
5. Савченко А.А. Исследование процессов гидродинамики, оптимизация режимов работы и конструкции сыроизготовителей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Савченко А.А.; Технологический институт молока и мяса. – К., 1997. – 249 с.
6. Зимон А.Д. Адгезия пищевых масс [Текст]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 272 с.