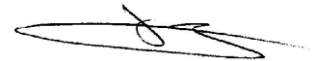


НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КРАВЕЦЬ ОЛЕГ ІГОРОВИЧ



УДК 637.344

**ОЧИСТКА МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ ВІД БІЛКОВОЇ
ДИСПЕРСНОЇ ФАЗИ**

Спеціальність 05.18.12. – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-2015р.

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Шинкарик Марія Миколаївна,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України, м. Тернопіль, професор кафедри обладнання харчових технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Єресько Георгій Олексійович,
Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України, м. Київ, радник дирекції інституту, головний науковий співробітник відділу маслоробства

кандидат технічних наук
Змієвський Юрій Григорович,
Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, м. Київ, доцент кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

Захист відбудеться «11» червня 2015р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м.Київ, вул. Володимирська, 58, аудиторія А311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м.Київ, вул. Володимирська, 58.

Автореферат розісланий «05» травня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



Л.О.Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Молочна галузь традиційно залишається однією з основних в структурі харчової промисловості України. Проте на даний час молокопереробні підприємства зіштовхуються із рядом проблем, в першу чергу із зростаючим дефіцитом сировини.

В таких умовах важливим напрямком підвищення ефективності виробництва є повне і раціональне використання всіх сировинних ресурсів на принципах безвідхідної технології.

Значну частку втрат в молокопереробній галузі України становлять втрати молочного білка, що після виробництва молочно-білкових продуктів залишається в сироватці у вигляді дисперсних частинок, відділення та повернення технологічний процес яких, дозволить збільшити сировинну базу та підвищити екологічну безпеку галузі. Незважаючи на певні напрацювання в напрямку очистки сироватки, єдиного підходу до вирішення проблеми на сьогодні немає. Це пов'язано з тим, що сучасні методи очистки молочної сироватки є або недосконалими, або недоступними для більшості підприємств (основна частина молока в нашій країні переробляється на дрібних і середніх за потужністю підприємствах).

Тому виникає необхідність у розробці ефективного та прийняттого для виробництва способу очистки сироватки. Очевидно цьому має передувати ґрунтовне дослідження об'єкту відділення – білкової дисперсної фази (БДФ), зокрема її концентрації у молочній сироватці, гранулометричного складу та реологічних властивостей. В загальному властивості молочно-білкових згустків вивчались при виробництві твердих, кисломолочних сирів та казеїну. Проте, очевидно, що внаслідок більшої дискретності частинок та вищого ступеня синерезису, властивості білкової дисперсної фази будуть відрізнятися від властивостей молочно-білкових згустків.

Мета та завдання досліджень. Метою роботи було відділення білкової дисперсної фази з молочної сироватки та повернення її в технологічний процес для підвищення ефективності виробництва та екологічної безпеки в молочній промисловості.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні завдання:

- встановити вміст білкової дисперсної фази та її гранулометричний склад в молочній сироватці при виробництві сиру кисломолочного та казеїну;
- вибрати ефективний та прийнятний для підприємств різної потужності спосіб очистки молочної сироватки;
- провести експериментальні дослідження адгезійних властивостей білкової дисперсної фази;
- дослідити компресійно-фільтраційні властивості білкової дисперсної фази;
- дослідити способи регенерації фільтрувальної поверхні та запропонувати конструкцію фільтра;
- розробити математичну модель процесу фільтрування молочної сироватки;

- розробити методику розрахунку фільтра із самоочисним фільтрувальним елементом.

Об'єктом досліджень були процеси фільтрування молочної сироватки та очистки фільтрувальної поверхні.

Предметом досліджень були реологічні властивості білкової дисперсної фази, режими роботи фільтрувальної установки та способи очистки фільтрувальної поверхні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконувалась згідно з науковим напрямком роботи кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя 06 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі» та науково-дослідною роботою «Дослідження процесу очистки сироватки фільтруванням при виробництві сиру кисломолочного» № державної реєстрації 0111U002592.

Наукова новизна отриманих результатів. В процесі виконання поставлених завдань:

- визначено вміст та гранулометричний склад білкової дисперсної фази в молочній сироватці при виробництві сиру кисломолочного та казеїну;
- одержано математичні залежності адгезійної міцності білкової дисперсної фази молочної сироватки від тиску попереднього навантаження та тривалості контакту по відношенні до нержавіючої сталі та фторопласту-4;
- встановлено залежність компресійно-фільтраційних характеристик білкової дисперсної фази молочної сироватки від тиску фільтрування та отримано відповідні математичні співвідношення;
- визначено граничне напруження зсуву білкової дисперсної фази молочної сироватки;
- розроблено математичну модель процесу фільтрування молочної сироватки для фільтра запропонованої конструкції, в якій параметри капілярів визначаються із одержаної залежності пористості від тиску та врахована стисливість осаду при визначенні початкової швидкості фільтрування.

Практичне значення отриманих результатів.

- на основі отриманих даних щодо вмісту та гранулометричного складу білкової дисперсної фази обґрунтовано доцільність використання для очистки молочної сироватки процесу фільтрування.
- встановлені математичні залежності коефіцієнта пористості, модуля стисливості та питомого опору фільтруванню білкової дисперсної фази від тиску можуть бути застосовані при виборі раціональних параметрів процесу фільтрування молочної сироватки;
- запропонована конструкція фільтра із самоочисним фільтрувальним елементом, використання якого для очистки сироватки забезпечує стабільний і безперервний процес фільтрування;
- запропонована математична модель процесу фільтрування дозволяє провести технологічний розрахунок процесу (визначити тривалість та

швидкість фільтрування) та одержати вихідні дані для розрахунку конструкції апарату;

- розроблена методика розрахунку фільтра із самоочисним фільтрувальним елементом дозволяє розраховувати конструктивні параметри фільтра.

Запропонована конструкція фільтра захищена деклараційними патентами України на корисну модель № 3776 «Фільтр для очищення сироватки від білка», № 8062 «Фільтр для очищення сироватки від білка», № 22756 «Фільтр для відділення молочного білка від сироватки» та №77749 «Фільтр для очистки молочної сироватки від сирного пилу».

Особистий внесок здобувача

Автор сформулював мету і задачі роботи. Експериментальним шляхом встановив вміст та гранулометричний складу БДФ в сироватці. Виконав дослідження адгезійних та компресійно-фільтраційних властивостей БДФ, за результатами яких отримав математичні залежності. Запропонував конструкцію та провів випробування експериментальної моделі фільтра для очистки сироватки. Розробив математичну модель процесу фільтрування молочної сироватки та методика розрахунку фільтра запропонованої конструкції. Автор був основним виконавцем під час проведення і математичного опрацювання результатів експериментів, у підготовці публікацій і оформленні патентної документації. Загальний план роботи, програма та методика досліджень складені спільно з науковим керівником к.т.н., доц. Шинкарик М.М., визначення вмісту БДФ в молочній сироватці здійснювали в лабораторії ПРАТ «Тернопільський молокозавод», визначення гранулометричного складу БДФ проводили на лабораторній базі кафедри харчової біотехнології і хімії ТНТУ ім. І.Пулюя при допомозі завідувача кафедри, д.б.н., проф. Юкала В.Г., дослідження компресійно-фільтраційних властивостей БДФ проводились з використанням експериментальної установки кафедри обладнання харчових технологій ТНТУ ім. І.Пулюя, дослідження граничного напруження зсуву білкової дисперсної фази проводились на лабораторній базі ТІММ УААН при допомозі завідуючого відділом сироробства к.т.н. Орлюка Ю.Т., виготовлення експериментальної фільтрувальної установки здійснювали на ПП «Агротехсервіс» при допомозі технічного директора Грода Л.С., виробничі випробування експериментальної фільтрувальної установки та перевірку адекватності математичної моделі процесу фільтрування сироватки проводили на ПП «Альма-Віта» за участі директора Коломієць Л.В.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на VII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Харчові технології - 2011» (2011, ОНАХТ, Одеса); Міжнародній науково-технічній конференції «Земля України – потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави» (2011, ВНАУ, Вінниця); Міжнародній науково-практичній конференції «Иновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (2011, БДАТУ, Мінськ); Міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості» (2012,

НУХТ, Київ); Міжнародній науково-практичній конференції «Мембранні процеси та обладнання в інноваційних технологіях харчових виробництв» (2012, 2014 НУХТ, Київ); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку обладнання переробних і харчових виробництв» (2012, ЛНТУ, Луцьк); 11-й ... 14-й, 16-й, 18-й наукових конференціях ТНТУ ім. І. Пулюя (2007 ... 2010, 2012, 2014 ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології та обладнання харчових виробництв (2011, ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль); 1-й і 2-й науково-технічних конференціях факультету переробних і харчових виробництв (2011, 2012, ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль), ІХ-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Техника и технология пищевых производств» (2013, МГУП, Могильов), Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості» (2013, ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль)

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 29 наукових праць, з яких 9 статей у фахових виданнях, 16 тез доповідей на науково-технічних конференціях та 4 патенти на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів основної частини, висновків, списку використаної літератури, що налічує 148 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі висвітлено стан проблеми, обґрунтовано актуальність проведення досліджень, визначено мету роботи та завдання; сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, що виносяться на захист; визначено особистий внесок здобувача; наведено перелік наукових конференцій, де були оприлюднені результати досліджень.

У першому розділі подано огляд літературних джерел, проаналізовано властивості молочної сироватки як дисперсної системи, сучасний стан її переробки і використання. Показано, що практично усі існуючі на сьогодні способи переробки сироватки, від сушіння до мембранної обробки, передбачають її попередню підготовку – очистку від білкової дисперсної фази. Обґрунтовано економічну та екологічну доцільність очистки молочної сироватки від БДФ та розглянуто існуючі способи її очистки.

Наведено дані, які свідчать, що в Україні на сьогодні немає обладнання для очистки сироватки, яке могло б з однаковою ефективністю використовуватись на підприємствах різної потужності. Приведено огляд фільтрувальних властивостей молочно-білкових дисперсних середовищ та основних шляхів регенерації фільтрувальної поверхні при розділенні харчових суспензій шляхом фільтрування.

Обґрунтовано важливість дослідження властивостей БДФ з метою розробки раціонального способу очистити молочної сироватки. Проаналізовано способи дослідження адгезії та конструкції відповідних приладів. Зроблено відповідні висновки і сформульовано завдання досліджень.

У другому розділі обґрунтовано методику проведення досліджень. Вказано об'єкт досліджень: процес фільтрування молочної сироватки та процес

очистки фільтрувальної поверхні. Відзначено, що для досліджень обрано сироватку, що отримана при виробництві сиру кисломолочного з масовою часткою жиру 9% (СКЖ 9%), сироватку, що отримана при виробництві сиру кисломолочного з масовою часткою жиру 2% (СКЖ 2%), та сироватку, що отримана при виробництві казеїну технічного (КТ).

Здійснено вибір предмета досліджень: реологічні властивості білкової дисперсної фази, режими роботи фільтрувальної установки та способи очистки фільтрувальної поверхні.

Представлено стандартизовані методи досліджень, методику відбору проб сироватки, визначення вмісту в молочній сироватці білкової дисперсної фази, дослідження її гранулометричного складу та компресійно-фільтраційних властивостей. Для дослідження адгезійних властивостей БДФ запропоновано експериментальну установку, що забезпечує прикладання зусилля відриву з заданою швидкістю.

Математичну обробку експериментальних даних та побудову графічних зображень здійснювали в середовищах Excel, Mathcad 15.0, AutoCAD 2009.

У **третьому розділі** подано результати досліджень реологічних властивостей білкової дисперсної фази – її вмісту в молочній сироватці, гранулометричного складу, адгезійних, компресійно-фільтраційних властивостей та граничного напруження зсуву.

Встановлено, що вміст білкової дисперсної фази у сироватці, отриманій при виробництві сиру кисломолочного, становить у середньому $3,0 \text{ кг/м}^3$, у сироватці, отриманій при виробництві казеїну технічного, – близько $1,5 \text{ кг/м}^3$.

Результати досліджень гранулометричного складу показали, що при виробництві СКЖ 9% близько 88% від загальної маси білкової дисперсної фази припадає на фракції, середній діаметр d яких перевищує 0,5 мм (рис. 1.а). Аналогічний результат отримали для білкової дисперсної фази при виробництві СКЖ 2%. Якщо для сироватки, отриманої при виробництві сиру кисломолочного, основна маса дисперсної фази зосереджена у відносно великих частинках ($d > 0,5 \text{ мм}$), то для сироватки, отриманої при виробництві КТ, переважають дрібні частинки – більше 50% зосереджено у фракціях з середнім діаметром менше 0,5 мм (рис. 1.б).

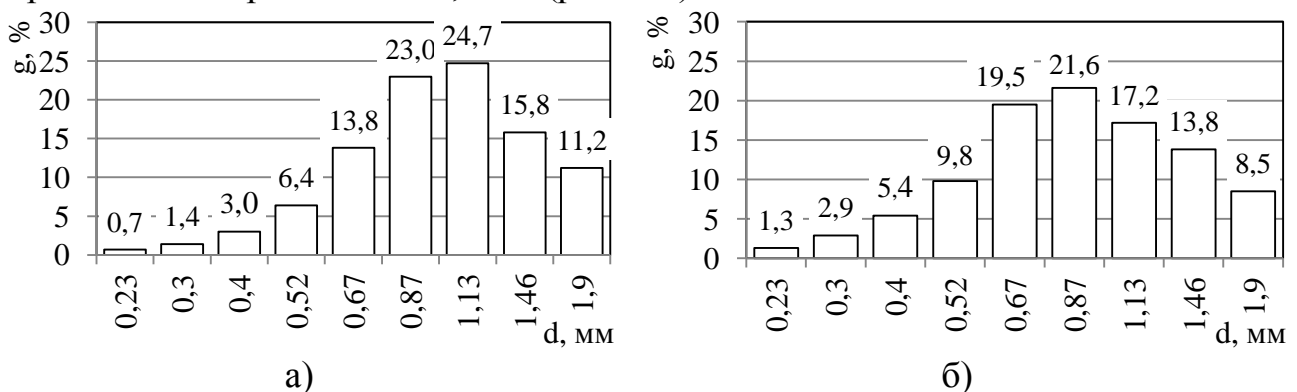


Рис. 1. Відносна масова частка g фракцій білкової дисперсної фази, отриманої при виробництві сиру кисломолочного (а) та казеїну технічного (б).

На основі отриманих даних щодо вмісту та гранулометричного складу можна припустити, що основна частина білкової дисперсної фази може бути відділена з молочної сироватки шляхом фільтрування.

Визначено, що основними факторами, які впливають на процес фільтрування молочної сироватки, є адгезійні та компресійно-фільтраційні властивості осаду, тобто білкової дисперсної фази.

У дослідженнях адгезійних властивостей білкової дисперсної фази адгезію розглядали як процес, який проходить в часі при виникненні або порушенні контакту поверхонь двох різнорідних тіл. За величину, що кількісно оцінює адгезію, використовували адгезійну міцність P_a , яку визначали як силу, прикладену перпендикулярно до одиниці площі зразка, і достатню для відриву зразка від поверхні.

Були проведені дослідження залежності адгезійної міцності білкової дисперсної фази від тривалості контакту τ , тиску попереднього навантаження P_k та температури t по відношенні до пластин із різних матеріалів. Враховуючи роботи вітчизняних авторів щодо дослідження адгезійних властивостей молочних білкових мас при виробництві сирів та перспективи використання окремих матеріалів як конструктивних, в якості субстрату в дослідженнях використовували пластини із нержавіючої сталі марки 12Х18Н10Т та фторопласту-4.

Встановлено, що для білкової дисперсної фази, отриманої при виробництві сиру кисломолочного, при невеликих значеннях тривалості контакту (до 50 с) та тиску попереднього навантаження (менше 2,0 кПа), адгезійна міцність є меншою при контакті з пластиною, виготовленою із нержавіючої сталі, а при більших значеннях – при контакті з пластиною із фторопласту (рис. 2.а, 3.а).

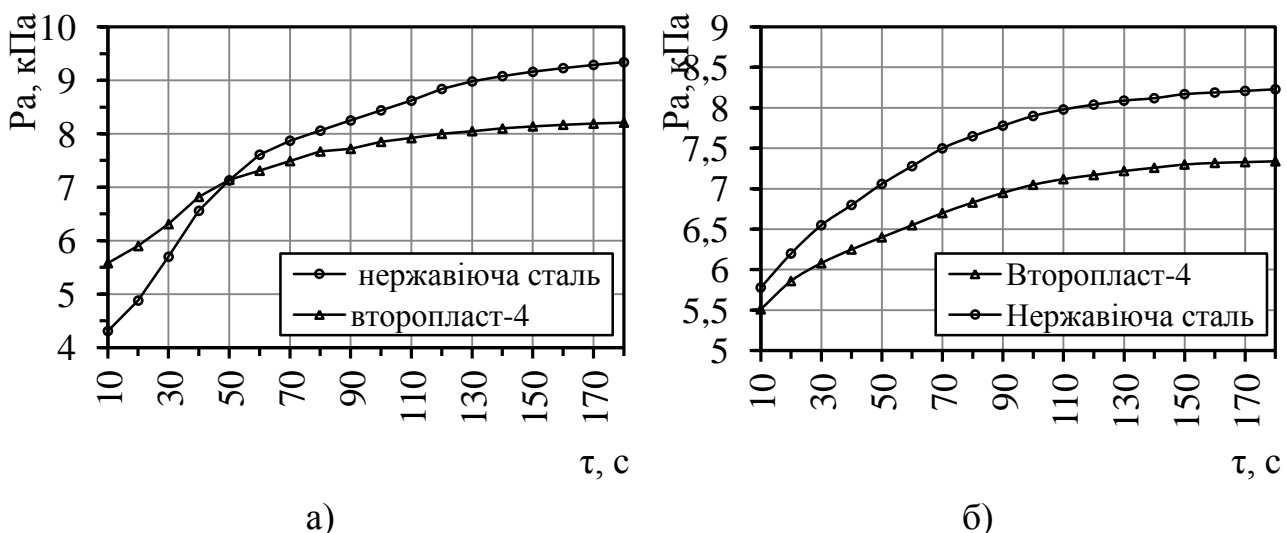


Рис. 2. Залежність адгезійної міцності білкової дисперсної фази від тривалості контакту при виробництві сиру кисломолочного (а) та казеїну технічного (б) при $P_k = 1,0$ кПа.

Для казеїнової БДФ адгезійна міцність є меншою при контакті з пластиною із фторопласту (рис. 3.б), причому це спостерігається при будь-яких

значення тривалості контакту та тиску попереднього навантаження (рис. 2.б, 3.б).

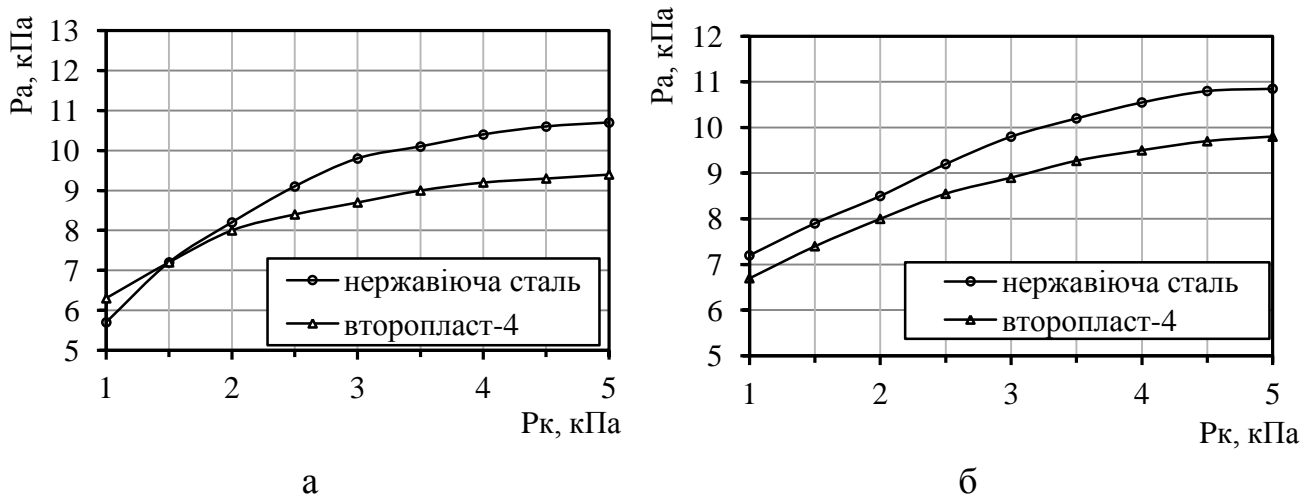


Рис. 3. Залежність адгезійної міцності БДФ від тиску попереднього навантаження при виробництві сиру кисломолочного (а) та казеїну технічного (б) при $\tau = 30$ с.

Встановлено, що зі зростанням температури білкової дисперсної фази її адгезійні властивості посилюються. Проте суттєвого зростання не відбувається: при підвищенні температури від 10 до 40°C зростання величини адгезійної міцності не перевищує 5% від її початкового значення.

Шляхом обробки експериментальних даних в середовищі Mscad 15.0 отримали математичні залежності адгезійної міцності БДФ від тривалості контакту та тиску попереднього навантаження (табл. 1) при $10 < \tau < 300$ с та $1,0 < P_k < 7,0$ кПа (рис. 4.).

Таблиця 1

Отримані залежності адгезійної міцності білкової дисперсної фази від тривалості контакту та тиску попереднього навантаження

Основний продукт, при виробництві якого отримана сироватка	Матеріал субстрату (пластини)	Залежність
Сир кисломолочний з масовою часткою жиру 9%	Нержавіюча сталь 12X18H10T	$P_a = 2,312 \cdot \tau^{0,284} \cdot P_k^{0,39}$ (1)
	фторопласт-4	$P_a = 3,99 \cdot \tau^{0,145} \cdot P_k^{0,247}$ (2)
Сир кисломолочний з масовою часткою жиру 2%	Нержавіюча сталь 12X18H10T	$P_a = 2,195 \cdot \tau^{0,281} \cdot P_k^{0,383}$ (3)
	фторопласт-4	$P_a = 3,834 \cdot \tau^{0,157} \cdot P_k^{0,216}$ (4)
Казеїн технічний	Нержавіюча сталь 12X18H10T	$P_a = 4,4 \cdot \tau^{0,135} \cdot P_k^{0,281}$ (5)
	фторопласт-4	$P_a = 4,29 \cdot \tau^{0,116} \cdot P_k^{0,247}$ (6)

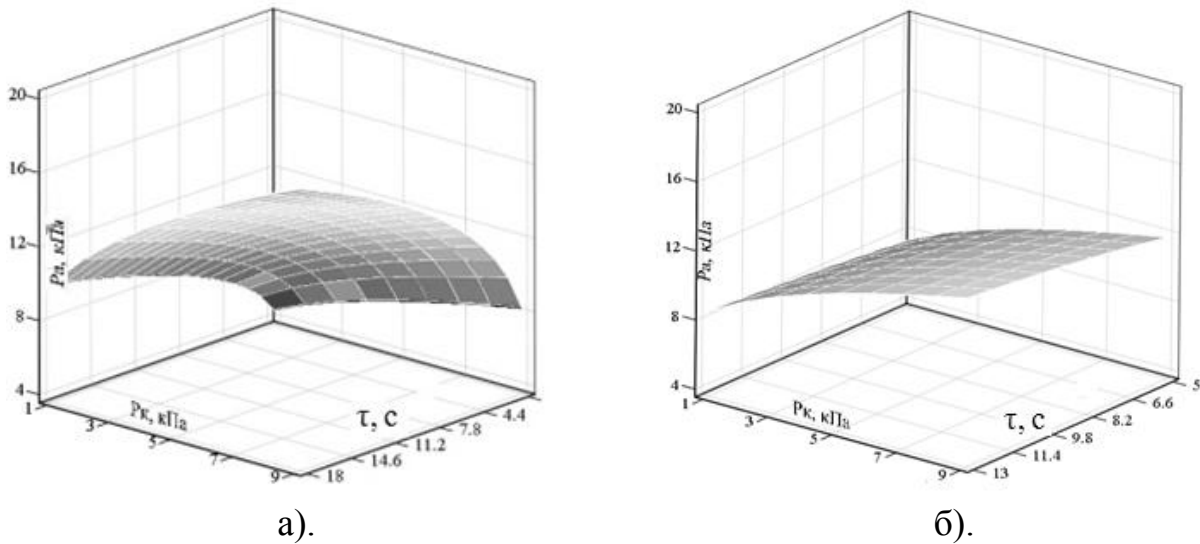


Рис. 4. Залежність адгезійної міцності білкової дисперсної фази від тривалості контакту та тиску попереднього навантаження по відношенні до нержавіючої сталі при виробництві сиру кисломолочного з масовою часткою жиру 9% (а) та казеїну технічного (б).

Дослідження компресійно-фільтраційних властивостей БДФ проводили з використанням основних положень теорії фільтраційної консолідації в тонкому шарі білкової дисперсної фази (7-10мм) при ступінчастому збільшенні тиску P . В процесі досліджень визначали пористість шару білкової дисперсної фази, його стисливість та питомий опір фільтруванню.

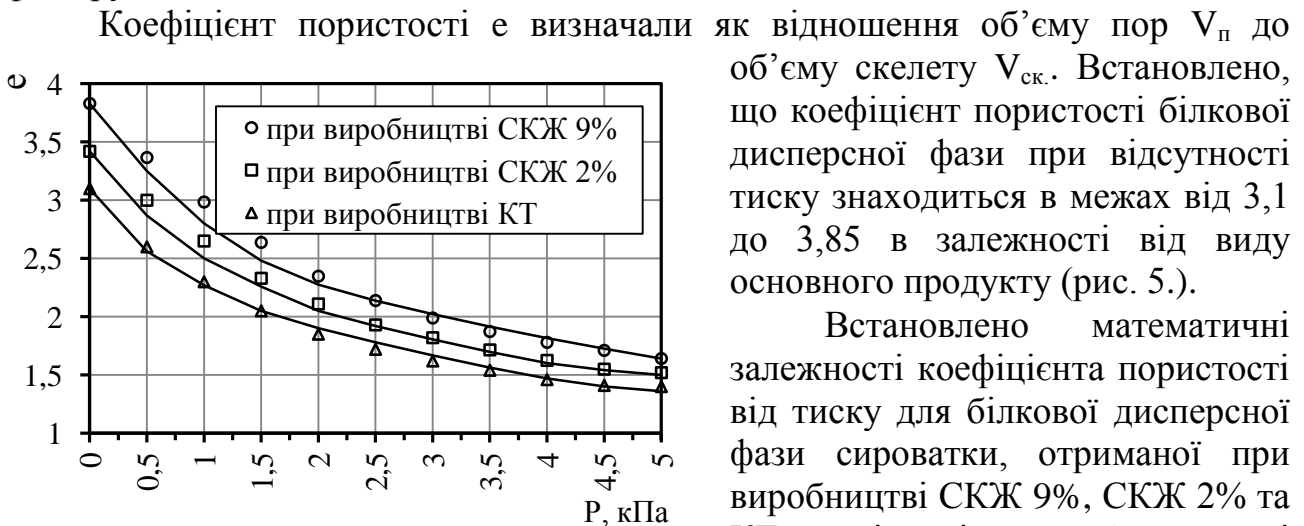


Рис. 5. Залежність коефіцієнта пористості білкової дисперсної фази від тиску.

Встановлено математичні залежності коефіцієнта пористості від тиску для білкової дисперсної фази сироватки, отриманої при виробництві СКЖ 9%, СКЖ 2% та КТ відповідно (залежності справедливі при $0 < P < 7$ кПа):

$$e = e_0 - 0,88 \left(\frac{P}{p} \right)^{0,45}, \quad (7)$$

$$e = e_0 - 1,2 \left(\frac{P}{p} \right)^{0,37}, \quad (8)$$

$$e = e_0 - 1,05 \left(\frac{P}{p} \right)^{0,38}, \quad (9)$$

де e_0 – значення коефіцієнта пористості БДФ при $P = 0$, кПа;
 p – дослідна константа, $p = 1$ кПа.

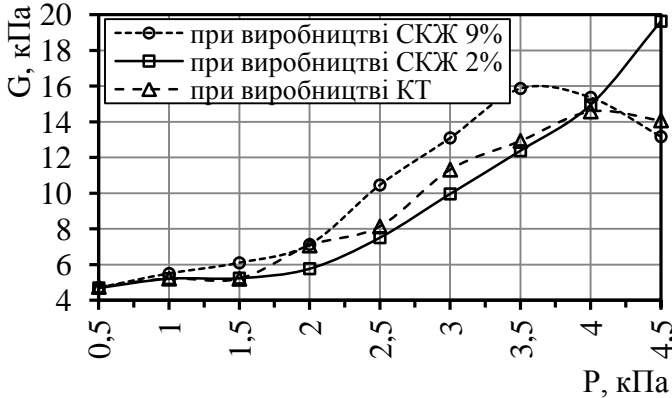


Рис. 6. Залежність модуля стисливості білкової дисперсної фази від тиску

Отриману залежність модуля стисливості білкової дисперсної фази G від тиску можна умовно розділити на три ділянки (рис. 6.). При $0,5 < P < 2,0$ кПа відбувається незначне зростання модуля стисливості. На ділянці $2,0 < P < 4,5$ кПа – інтенсивне зростання модуля стисливості, що відповідає пружній деформації. Далі спостерігається пластична деформація, руйнування агрегатів і білкових комплексів.

Інтенсивне зростання питомого опору фільтруванню спостерігається при тиску понад 4,0 кПа (рис. 7. а), що пов'язано з деформацією нижніх шарів осаду. Встановлено залежність питомого опору фільтруванню БДФ r від тиску при $0 < P < 4,0$ кПа:

$$r = r_0 \left[1 + A \left(\frac{P}{p} \right)^{2,43} \right], \quad (10)$$

де r_0 – питомий опір фільтруванню БДФ при відсутності навантаження, m^{-2} : для сироватки, при виробництві СКЖ 9% $r_0 = 2,91 \cdot 10^9 m^{-2}$, при виробництві СКЖ 2% $r_0 = 2,33 \cdot 10^9 m^{-2}$ та при виробництві КТ $r_0 = 2,47 \cdot 10^9 m^{-2}$;
 A – емпіричний коефіцієнт; при виробництві СКЖ 9% $A = 0,36 \cdot 10^9$; при виробництві СКЖ 2% $A = 0,22 \cdot 10^9$; при виробництві КТ $A = 0,25 \cdot 10^9$.

Комплексною оцінкою компресійно-фільтраційних властивостей є коефіцієнт консолідації b .

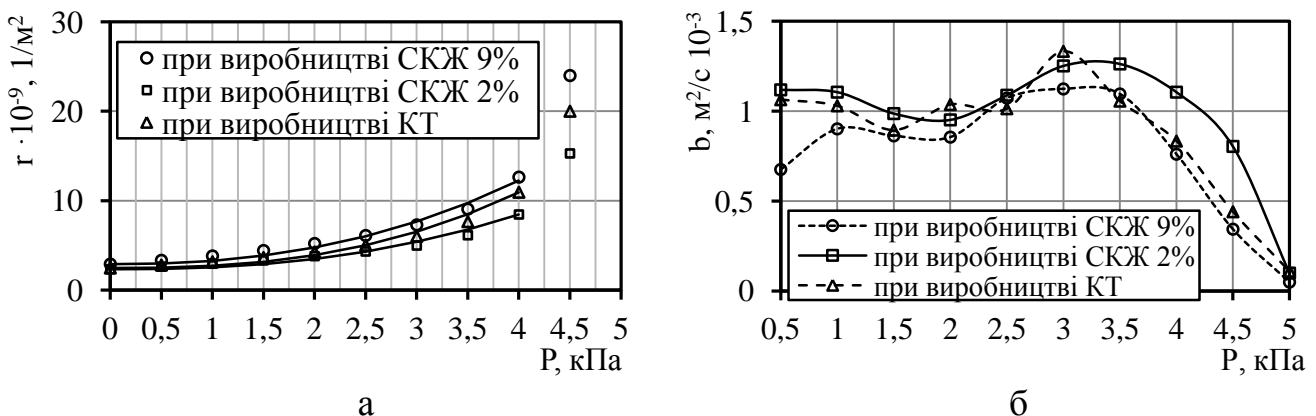


Рис. 7. Залежність питомого опору фільтруванню (а) та коефіцієнта консолідації (б) білкової дисперсної фази від тиску

Як помітно з графічної залежності (рис. 7. б.), при тиску понад 4,5 кПа процес фільтрування зупиняється, що пов'язано з пластичною деформацією частинок БДФ.

Дослідження граничного напруження зсуву білкової дисперсної фази

При регенерації фільтрувальної поверхні потрібно враховувати зусилля, яке необхідно прикласти для того, щоб порушити цілісність шару осаду. При механічному відведенні осаду з фільтрувальної поверхні (скребки, щітки, шнек тощо) порушення зв'язків можливе не по границі між шаром осаду та фільтрувальною поверхнею, а шляхом зсуву певної частини осаду відносно іншої. В даному випадку будуть порушуватися когезійні зв'язки та проходитиме руйнування самих частинок. Граничне напруження зсуву буде комплексно оцінювати цей процес.

Дослідження граничного напруження зсуву БДФ проводили методом пенетрації на універсальному вимірювальному приладі «Instron-1122».

При зростанні температури величина граничного напруження зсуву всіх досліджуваних видів БДФ зменшується.

В четвертому розділі представлено результати досліджень кінетики відділення білкової дисперсної фази з молочної сироватки шляхом фільтрування і шляхів регенерації фільтрувальної поверхні.

Дослідження проводили на експериментальній установці, яка складалася з циліндричного корпусу 1 (рис. 8), патрубків 2 і 3 подачі і відводу сироватки відповідно, напрямного стакана 4 зі шнеком 5, патрубку для відводу осаду 6, фільтрувального елемента 7, ємності 8, мірної ємності 9, відцентрового насоса 10, манометра 11, щіток 12, кільця 13, електромагніту 14.

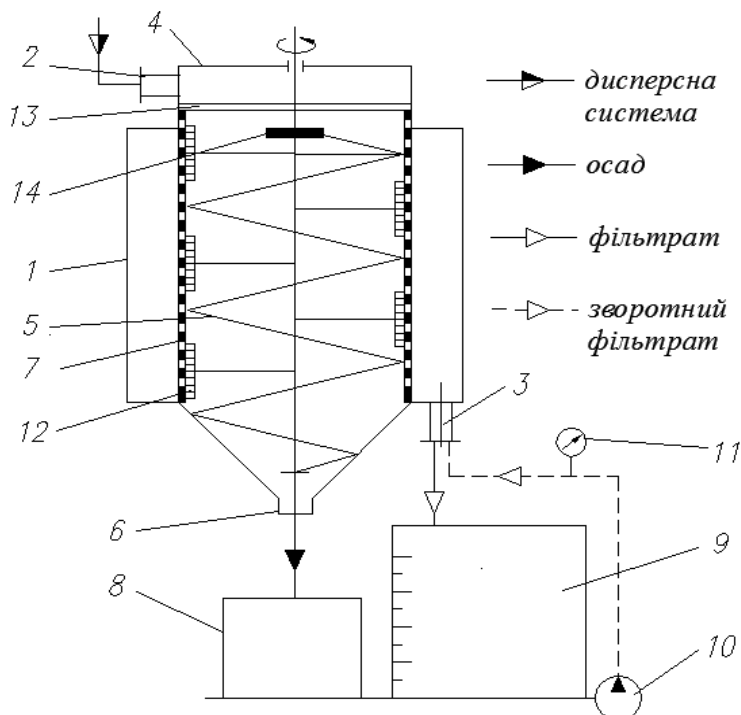


Рис. 8. Схема експериментальної установки

- 1 – корпус; 2, 3 – патрубки; 4 – напрямний стакан; 5 – шнек; 6 – патрубок відводу осаду; 7 – фільтрувальний елемент; 8 – ємність; 9 – мірна ємність; 10 – насос; 11 – манометр; 12 – щітки; 13 – кільце; 14 – електромагніт.

Матеріал фільтрувального елемента – нержавіюча сталь; діаметр отворів – 0,9 мм, живий переріз – 70%.

Сироватка через патрубок 2 тангенціально подавалась у стакан 4, БДФ утворювала осад на фільтрувальному елементі 7 і транспортувалась шнеком 5 в кінчну частину корпусу 1,

звідки періодично вивантажувалася крізь патрубок 6 в ємність 8. Фільтрат крізь патрубок 3 надходив у мірну ємність 9. Частота обертання шнека становила 9 об/хв. Представлена установка також дозволяла здійснювати регенерацію фільтрувального елемента шляхом встановлення щіток 12 та подачі фільтрату в зворотному напрямку за допомогою насоса 10.

Для оцінки якості механічної регенерації з допомогою щіток використовували значення відносної швидкості фільтрування $W_{\text{від}}$:

$$W_{\text{від}} = \frac{W_i}{W_0}, \quad (11)$$

де W_0 – початкова швидкість фільтрування, м/с;

W_i – швидкість фільтрування в даний момент часу, м/с,

а для оцінки періодичної протитечійної регенерації фільтрувальної поверхні використовували коефіцієнт відновлення фільтрувальних властивостей Φ для:

$$\Phi = \frac{W_{\text{рег}}}{W_0}, \quad (12)$$

де $W_{\text{рег}}$ – швидкість фільтрування після регенерації, м/с.

Встановлено, що випробувані способи регенерації не забезпечують відновлення властивостей фільтрувального елемента (рис. 9).

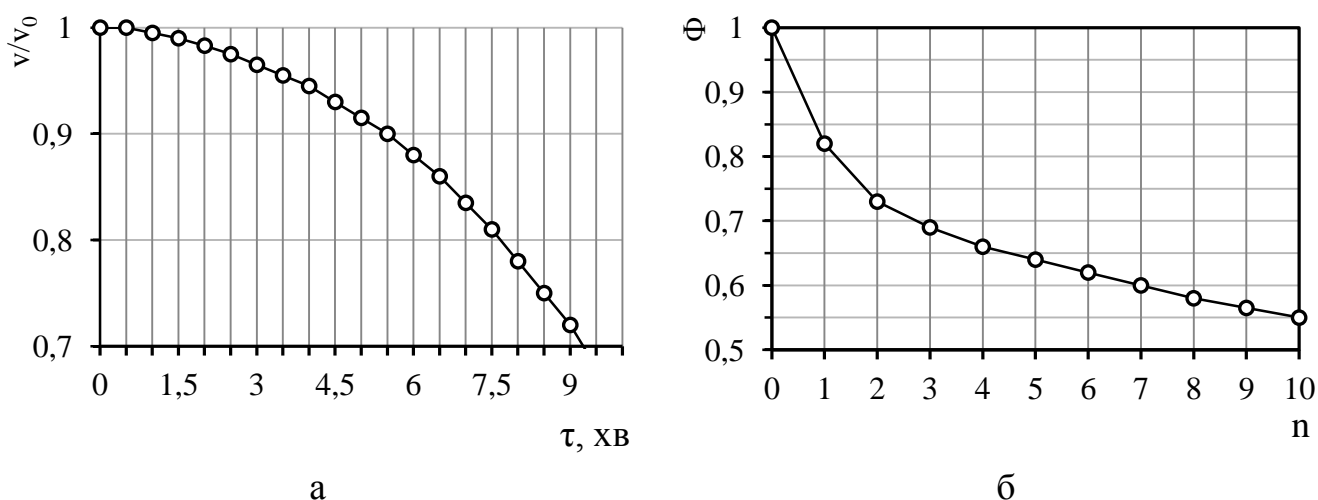


Рис. 9. – Залежність відносної швидкості фільтрування від тривалості процесу при щітковій регенерації (а) та коефіцієнта відновлення фільтрувальних властивостей при протитечійній регенерації від числа циклів n регенерації (б) для БДФ сироватки, отриманої при виробництві сиру кисломолочного з масовою часткою жиру 9%

Запропоновано, як фільтрувальний елемент використовувати циліндричну пружину стиску, розмір зазору між витками якої відповідає розміру найменшої частинки БДФ, яку потрібно затримати. Регенерація фільтрувального елемента здійснюється шляхом подачі зусилля стиску на пружину, в результаті чого розміри зазорів між окремими витками пружини зменшуються, і частинки білка, що закупорюють ці зазори, видаляються (рис. 10, 11).

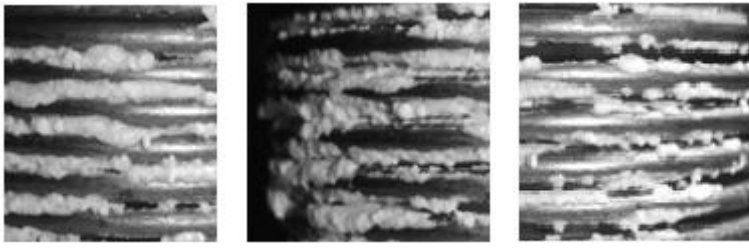


Рис. 10. – Фото самоочисного фільтрувального елемента:
а) до регенерації; б) під час регенерації;
в) після регенерації.

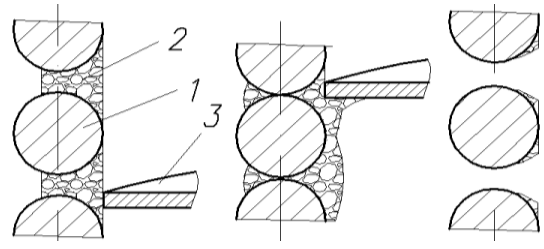


Рис. 11. – Схема роботи самоочисного фільтрувального елемента: а) до регенерації; б) під час регенерації; в) після регенерації: 1-фільтрувальний елемент, 2-осад, 3-шнек.

Проведено випробування експериментальної установки з використанням самоочисного фільтрувального елемента (ширина зазору між витками становила 0,9 мм) та встановлено, що зменшення коефіцієнта відновлення фільтрувальних властивостей супроводжує лише перші п'ять циклів регенерації, а далі він залишається незмінним і становить 0,88. (рис. 12)

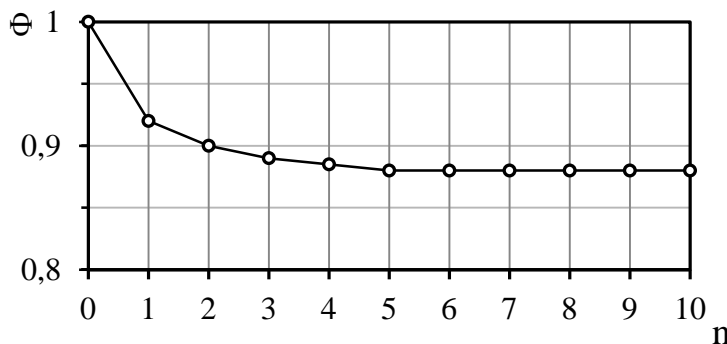


Рис. 12. – Залежність коефіцієнта відновлення фільтрувальних властивостей фільтрувальної поверхні від числа циклів регенерації (для БДФ при виробництві СКЖ 9%).

В п'ятому розділі подано математичну модель процесу відділення білкової дисперсної фази з молочної сироватки шляхом фільтрування. Зокрема розглянуто два можливі випадки фільтрування: з утворенням шару осаду і закупорюванням кожної пори багатьма частинками; фільтрувальна поверхня повністю

очищається і кожна її пора закупорюється окремою частинкою.

При розробці математичної моделі процесу приймали наступні допущення:

- висота шару осаду в процесі фільтрування є постійною;
- весь осад знаходиться під дією тиску процесу фільтрування P ;
- питомий опір фільтруванню постійний і визначається за залежністю $r = f(P)$, фільтрування проходить в зоні $P < P_{кр}$ ($P_{кр} = 4,0$ кПа).

- враховуючи те, що опір фільтрувальної поверхні незначний, його приймали рівним нулю;

- кількість капілярів в шарі осаду протягом процесу фільтрування залишається постійною;

- на фільтрувальній поверхні площею $S = 1$ м² знаходиться N_k однакових «циліндричних» капілярів радіусом r_k і довжиною l_k , що відповідає висоті шару осаду $h_{ос}$.

Кількість капілярів визначали із поняття пористості:

$$N_k = \frac{\varepsilon}{\pi(r_k)^2 h_{oc}}, \quad (13)$$

де r_k – радіус капіляра, м;
 ε – пористість осаду, м³.

Швидкість фільтрування через один капіляр в початковий момент часу визначали з рівнянням Гегена-Пуазейля:

$$A = \frac{\pi(r_k)^4 P}{8\mu h_{oc}}, \quad (14)$$

μ – динамічна в'язкість сироватки, Па·с.

Початкова швидкість фільтрування становить:

$$W_0 = N_k \frac{\pi(r_k)^4 P}{8\mu h_{oc}}, \quad (15)$$

або

$$W_0 = \frac{\varepsilon}{\pi(r_k)^2 h_{oc}} \cdot \frac{\pi(r_k)^4 \Delta P}{8\mu h_{oc}} = \frac{\varepsilon P}{8\mu(h_{oc})^2} r_k^2. \quad (16)$$

Після відповідних перетворень отримали вираз для тривалості процесу фільтрування при утворенні шару осаду і закупорюванні пор багатьма частинками:

$$\tau = -\frac{1}{W_0} \frac{k''\varepsilon'}{x_0} \ln\left(1 - \frac{x_0}{k''\varepsilon'} V\right). \quad (17)$$

де x_0 – об'ємна частка частинок БДФ в сироватці, що закупорюють капіляри, м³/м³;

k'' – коефіцієнт, що враховує нециліндричність капілярів;

V – об'єм молочної сироватки, м³.

$$x_0 = k'x, \quad (18)$$

де k' – коефіцієнт, що враховує кількість частинок, які закупорюють капіляри;

x – об'ємна частка частинок дисперсної фази, радіус яких не перевищує середнього радіуса капілярів, м³/м³.

Також отримали вираз для тривалості процесу фільтрування для випадку, коли кожна пора фільтрувальної поверхні закупорюється окремою частинкою:

$$\tau = \frac{1}{A \cdot N_q} \lg\left(\frac{N_k - N_q V_\phi}{N_k}\right). \quad (19)$$

де N_q – кількість частинок дисперсної фази в одному м³ сироватки, розмір яких перевищує розмір фільтрувального отвору, 1/м³.

Розроблено методику розрахунку основних конструктивних параметрів фільтра для очистки молочної сироватки з самоочисним фільтрувальним

елементом: площі фільтрувальної поверхні, тривалості періоду між регенераціями та частоти обертання шнека.

Проведено перевірку на адекватність математичної моделі процесу фільтрування молочної сироватки. При порівнянні даних (рис. 13, 14), отриманих експериментальним шляхом, та з допомогою емпіричних формул (17) і (19), встановлено, що з більшою точністю залежність тривалості процесу фільтрування від об'єму фільтрату описує вираз (17) – відносна похибка становить 19%.



Рис. 13. Залежність тривалості процесу фільтрування від об'єму сироватки для 1 м² фільтрувальної поверхні

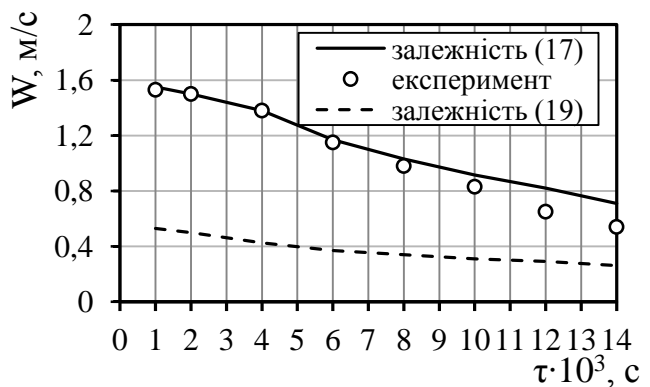


Рис. 14. Залежність швидкості фільтрування від тривалості процесу для 1 м² фільтрувальної поверхні

Подано показники **економічної ефективності** використання запропонованого фільтра в технологічній лінії виробництва сиру кисломолочного. Використання даного фільтра забезпечує підвищення продуктивності лінії на 0,8%; Економічний ефект від впровадження розробленої конструкції становить 126610 грн. на рік, або 18,1 грн. при переробці 1 т. молока. Термін окупності $T_{ок}=1$ місяць (для підприємства, що виробляє 700 тонн сиру кисломолочного в рік).

ВИСНОВКИ

1. Результати досліджень свідчать, що при виробництві сиру кисломолочного та казеїну технічного в молочну сироватку переходить від 2,0 до 3,0 кг/м³ білка у вигляді дисперсних часток, що обумовлює економічну і екологічну доцільність очистки молочної сироватки.

2. Близько 80% від загальної маси білкової дисперсної фази в сироватці при виробництві сиру кисломолочного та 50% при виробництві казеїну технічного зосереджена у фракціях, середній розмір яких перевищує 0,5 мм, що дозволяє здійснювати очистку сироватки шляхом фільтрування.

3. Отримані емпіричні співвідношення адгезійної міцності контакту білкової дисперсної фази сироватки з основними конструктивними матеріалами (нержавіюча сталь марки 12Х18Н9Т, фторопласт-4) при $0 < \tau < 300$ с та $0 < P < 7$ кПа, що може бути використано в розрахунках режимів регенерації фільтрувальної поверхні та обладнання для транспортування осаду. При фільтруванні сироватки в якості матеріалу фільтрувального елемента доцільно

використовувати нержавіючу сталь, яка на ряду з міцнісними володіє задовільними адгезійними характеристиками.

4. Експериментально встановлено, що за компресійно-фільтраційними характеристиками білкову дисперсну фазу можна віднести до стисливих осадів. Отримано емпіричні функції коефіцієнта пористості, питомого опору фільтруванню та коефіцієнта фільтрування від тиску. Встановлено, що при тиску фільтрування понад 4,0 кПа в результаті ущільнення осаду і пластичної деформації шарів питомий опір фільтруванню різко зростає. Обґрунтовано раціональне значення тиску процесу фільтрування молочної сироватки в межах від 2,5 до 4,0 кПа.

5. Визначено граничне напруження зсуву білкової дисперсної фази в межах температур технологічного процесу (10-40°C). Встановлено, що при зростанні температури величина граничного напруження зсуву всіх досліджуваних видів БДФ зменшується.

6. Встановлено, що основним чинником зменшення швидкості фільтрування в межах рекомендованих режимів ($P < 4,0$ кПа) є закупорювання фільтрувальної поверхні та самого осаду дрібними частинками білкової дисперсної фази. Механічна очистка фільтрувальної поверхні щітками та протитечійна регенерація не забезпечують відновлення фільтрувальних властивостей. Запропонована нова конструкція фільтра із самоочисним фільтрувальним елементом у вигляді пружини стиску (патент на корисну модель № 77749, від 25.02.2013р.), що дозволяє в процесі регенерації відновлювати фільтрувальні властивості. Встановлено, що зменшення коефіцієнта регенерації при повторних циклах регенерації супроводжує лише перші п'ять циклів, а далі коефіцієнт відновлення фільтрувальних властивостей залишається незмінним і становить 0,88.

7. Розроблено математичну модель процесу фільтрування молочної сироватки при сталій висоті шару осаду із закупорюванням кожної пори багатьма частинками, в якій параметри капілярів визначаються із одержаної залежності пористості від тиску, а також врахована стисливість осаду при визначенні початкової швидкості фільтрування сироватки. Шляхом експериментальних досліджень встановлено, що розроблена математична модель адекватно відображає процес фільтрування молочної сироватки та дозволяє здійснювати його технологічний розрахунок. При визначенні тривалості процесу фільтрування молочної сироватки відносна похибка складає 19%. Розроблено методику розрахунку основних конструктивних параметрів фільтра для очистки молочної сироватки з самоочисним фільтрувальним елементом.

8. Використання запропонованого фільтра в технологічній лінії виробництва сиру кисломолочного з метою очистки молочної сироватки забезпечує підвищення продуктивності лінії на 0,8%. Економічний ефект від впровадження розробленої конструкції становить 126610 грн. на рік, термін окупності – 1 місяць.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кравець О.І. Влияние реологических характеристик сырной пыли на процесс фильтрования молочной сыворотки / О.І. Кравець, М.Н. Шинкарик. // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 5-6. – С. 71-74.

Особистий внесок здобувача: експериментальні дослідження процесу фільтрування молочної сироватки

2. Кравець О.І. Регенерація фільтрувальної поверхні при очистці молочної сироватки / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик / Ukrainian Food Journal. – 2013. № 4. – С. 555-561.

Особистий внесок здобувача: аналітичний огляд наукових публікацій, експериментальні дослідження.

3. Шинкарик. М.М., Фільтраційні особливості сирного пилу / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Збірник наукових праць ЛНТУ «Наукові нотатки». – 2012. – № 39. – С.234-238.

Особистий внесок здобувача: експериментальні дослідження фільтраційних характеристик сирного пилу.

4. Шинкарик М.М. Дослідження компресійно-фільтраційних характеристик білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2012. – №1(15). – С.476-484.

Особистий внесок здобувача: виконання експериментів, узагальнення результатів.

5. Шинкарик М.М. Аналіз гранулометричного складу білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2011. – Т. 2, № 40. – С. 266-269.

Особистий внесок здобувача: експериментальні дослідження гранулометричного складу білкової дисперсної фази в сироватці.

6. Шинкарик М.М. Дослідження адгезійних властивостей білкової дисперсної фази при виробництві сиру кисломолочного / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – №1(53) – С.226-230.

Особистий внесок здобувача: експериментальні дослідження адгезійних властивостей БДФ та встановлення математичних залежностей.

7. Кравець О.І. Відділення білкової дисперсної фази від сироватки як шлях економії сировини та підвищення екологічної безпеки / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – №8. – С.13-16

Особистий внесок здобувача: обґрунтування економічної та екологічної доцільності очистки молочної сироватки.

8. Кравець О.І. Дослідження впливу температури на процес очистки сироватки фільтруванням / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // Сільськогосподарські машини. – 2009. – №18. – С.201-206

Особистий внесок здобувача: виконання експериментів.

9. Шинкарик М.М. Вдосконалення лінії очистки сироватки / М.М. Шинкарик, В.Г. Юкало, О.І. Кравець // Вісник ТДТУ. – 2005. – № 2. – С. 192-196.

Особистий внесок здобувача: дослідження вмісту БДФ в сироватці.

10. Декл. пат. на кор. мод. 3776 України, МПК В 01 D 35/28. Фільтр для очищення сироватки від білка / Шинкарик М.М., Кравець О.І.; заявник і власник Тернопільський нац. тех. ун. ім. І.Пулюя. заявл. 12.03.04 ; опубл. 15.12.04, Бюл. № 12.

Особистий внесок здобувача: патентний пошук, розробка конструкції.

11. Декл. пат. на кор. мод. 8062 України, МПК В 01 D 35/28. Фільтр для очищення сироватки від білка / Шинкарик М.М., Кравець О.І.; заявник і власник Тернопільський нац. тех. ун. ім. І.Пулюя. заявл. 10.01.05 ; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7.

Особистий внесок здобувача: патентний пошук, розробка конструкції.

12. Декл. пат. на кор. мод. 22756 України, МПК В 01 D 35/28. Фільтр для відділення молочного білка від сироватки / Шинкарик М.М., Кравець О.І.; заявник і власник Тернопільський нац. тех. ун. ім. І.Пулюя. заявл. 20.12.06 ; опубл. 25.04.07, Бюл. № 5.

Особистий внесок здобувача: патентний пошук, розробка конструкції.

13. Пат. на кор. мод. 77749 України, МПК В 01 D 35/28. Фільтр для очистки молочної сироватки від сирного пилу / Шинкарик М.М., Кравець О.І., Шинкарик М.В.; заявник і власник Тернопільський нац. тех. ун. ім. І.Пулюя. заявл. 14.08.12 ; опубл. 25.02.13, Бюл. № 5.

Особистий внесок здобувача: патентний пошук, розробка конструкції.

14. Шинкарик М.М. Дослідження впливу технологічних факторів на адгезійну міцність білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик О.І. Кравець // Дванадцята наукова конференція ТДТУ ім. І. Пулюя: 14-15 тр. 2008 р. : тези доп. – Тернопіль, 2008. – С. 112

Особистий внесок здобувача: експериментальні дослідження адгезійних властивостей білкової дисперсної фази.

15. Кравець О.И. Повышение экологической безопасности молочных предприятий путем очистки сыворотки / О.И. Кравець, М.Н. Шинкарик // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: междуна. научн.-практ. конф., 14-15 квіт. 2011 р. : тезиси докл. – Минск, 2011. – С.168-171.

Особистий внесок здобувача: аналітичний огляд публікацій.

16. Шинкарик М.М. Дослідження коефіцієнта фільтрації білкової дисперсної фази: / М.М. Шинкарик О.І., Кравець // Перша науково-технічна конференції факультету переробних і харчових виробництв: 19 тр. 2011 р. : тези доп. – Тернопіль, 2011. – С. 28.

Особистий внесок здобувача: виконання експериментів.

17. Шинкарик М.М., Дослідження компресійно-фільтраційних характеристик білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Сучасні технології та обладнання харчових виробництв: міжнар. наук.-техн. конф., 29-30 вер. 2011 р. : тези доп. – Тернопіль, 2011. – С. 272.

Особистий внесок здобувача: виконання експериментів.

18. Шинкарик М.М. Методика визначення модуля стисливості білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // XV наукова конференція ТНТУ ім. І. Пулюя Тернопіль: 14-15 груд. 2011 р. : тези доп. – Тернопіль, 2011. – С. 198.

Особистий внесок здобувача: підготовка матеріалів до друку.

19. Шинкарик М.М. Дослідження структурно-механічних характеристик білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: міжнар. наук.-практ. конф., 10-11 квіт. 2012 р. : матеріали доп. – К., 2012. – С. 149–150.

Особистий внесок здобувача: виконання експериментів.

20. Шинкарик, М.М. Регенерація фільтрувальної поверхні при очистці молочної сироватки / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Друга науково-технічна конференції факультету переробних і харчових виробництв: 25 квіт. 2012 р. : тези доп. – Тернопіль, 2012. – С.41-42.

Особистий внесок здобувача: виконання експериментів.

21. Кравець. О.І. Підготовка молочної сироватки до мембранних методів обробки / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // Мембранні процеси та обладнання в інноваційних технологіях харчових виробництв: всеукр. наук.-практ. конф., 27-28 лист. 2012 р. : тези доп. – К., 2012. – С.37-38.

Особистий внесок здобувача: аналітичний огляд публікацій.

22. Шинкарик М.М. Відділення сирного пилу з сироватки шляхом фільтрування / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // XVI наукова конференція ТНТУ ім. І. Пулюя : 5-6 груд. 2012р. : тези доп. – Тернопіль, 2012. – С. 123.

Особистий внесок здобувача: підготовка матеріалів до друку.

23. Шинкарик М.М. Розробка фільтрувальних приладів для очищення молочної сироватки від білкової дисперсної фази / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // XIII наукова конференція ТДТУ ім. І. Пулюя : 9-10 груд. 2009р. : тези доп. – Тернопіль, 2009. – С. 118.

Особистий внесок здобувача: аналітичний огляд наукових публікацій.

24. Кравець О.І. Розробка способу зменшення втрат сировини при виробництві сиру селянського та казеїну / Одинадцята наукова конференція ТДТУ ім. І. Пулюя. : 15 трав. 2007 р. : тези доп. – Тернопіль, 2007 – С. 78.

Особистий внесок здобувача: розроблення конструкції фільтра.

25. Шинкарик М.Н. Исследование коэффициента консолидации сырной пыли / М.Н. Шинкарик, О.И. Кравец // Техника и технология пищевых производств : междунар. научн.-техн. конф., 25-26 апр. : тезисы докл. – Могилев, 2013. – С. 197.

Особистий внесок здобувача: виконання експериментів.

26. Шинкарик М.М. Регенерація фільтрувальної поверхні при очистці молочної сироватки / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Актуальні проблеми харчової промисловості: наук.-техн. конф., 8-9 жовт. 2013 р. : матеріали – Тернопіль, 2013. – С. 115.

Особистий внесок здобувача: дослідження процесу фільтрування сироватки при різних способах регенерації фільтрувальної поверхні.

27. Шинкарик М.М. Розробка приладу для дослідження адгезії сирного пилу / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Актуальні проблеми харчової промисловості: наук.-техн. конф., 8-9 жовт. 2013 р. : матеріали – Тернопіль, 2013. – С. 116.

Особистий внесок здобувача: розроблення конструкції приладу.

28. О.І. Кравець. Кінетика процесу фільтрування молочної сироватки при використанні самоочисного фільтрувального елемента / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // XVIII наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: 29-30 жовт. 2014. : матеріали – 2014. – 183с.

Особистий внесок здобувача: дослідження процесу фільтрування молочної сироватки на фільтрі із самоочисним фільтрувальним елементом.

29. О.І. Кравець. Переваги використання фільтрів із самоочисним фільтрувальним елементом з метою очистки молочної сироватки перед ультрафільтрацією // Мембранні процеси та обладнання в інноваційних технологіях харчових виробництв: міжн. наук.-практ. конф., 25-26 лист. 2014. : матеріали – К., 2014. – 10с.

Особистий внесок здобувача: аналітичний огляд публікацій.

АНОТАЦІЯ

Кравець О.І. Очистка молочної сироватки від білкової дисперсної фази. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12. – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2015.

В дисертаційній роботі представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень очистки молочної сироватки від білкової дисперсної фази.

Проведено дослідження властивостей вторинної сировини виробництва сиру кисломолочного та казеїну – суспензії молочної сироватки і білкової дисперсної фази: вмісту БДФ в сироватці, гранулометричного складу БДФ, її адгезійних та компресійно-фільтраційних властивостей. Подано відповідні математичні співвідношення. Зроблено висновок про доцільність очистки молочної сироватки шляхом фільтрування. Проведені дослідження показали, що шляхом фільтрування можна відділити до 90% від загальної маси БДФ в сироватці. Запропоновано конструкцію фільтра для очистки сироватки.

Розроблено математичну модель процесу відділення білкової дисперсної фази з сироватки шляхом фільтрування на фільтрі запропонованої конструкції. Шляхом експериментальних досліджень встановлено, що розроблена математична модель адекватно відображає процес фільтрування молочної сироватки

Результати дисертації впроваджено на приватному молокопереробному підприємстві «Альма-Віта» (акт впровадження від 26.10.2012р.). Очікуваний

економічний ефект від впровадження у виробництво складає 18,1 грн. при переробці 1 т. молока.

Ключові слова: молочна сироватка, білкова дисперсна фаза, фільтрування, гранулометричний склад, адгезія, компресійно-фільтраційні властивості.

АННОТАЦІЯ

Кравець О.И. Очистка молочной сыворотки от белковой дисперсной фазы. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12. – Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых технологий, Министерство образования и науки Украины, Киев, 2015.

В диссертационной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований очистки молочной сыворотки от белковой дисперсной фазы.

Проведено исследование свойств вторичного сырья производства творога и казеина - суспензии молочной сыворотки и белковой дисперсной фазы. Установлено, что содержание белковой дисперсной фазы в сыворотке, полученной при производстве творога, составляет в среднем $3,0 \text{ кг/м}^3$ в сыворотке, полученной при производстве казеина технического, – около $1,5 \text{ кг/м}^3$, определено гранулометрический состав и показано, что основная часть белковой дисперсной фазы сосредоточена в частицах, размер которых превышает 0,5 мм. Обоснована целесообразность использования для очистки молочной сыворотки процесса фильтрования. Определены основные параметры, влияющие на процесс разделения, в частности компрессионно-фильтрационные, адгезионные свойства белковой дисперсной фазы и закупориванию пор фильтрующей поверхности. Получены математические зависимости адгезионной прочности белковой дисперсной фазы от давления предварительной нагрузки и длительности контакта по отношению к нержавеющей стали и фторопласта-4. Установлена зависимость коэффициента пористости, модуля сжимаемости, удельного сопротивления фильтрованию белковой дисперсной фазы от давления процесса и получены соответствующие математические соотношения. Определено, что при давлении фильтрования более 4,0 кПа в результате уплотнения осадка и пластической деформации удельное сопротивление фильтрования резко возрастает, обоснованно рациональное значение давления процесса фильтрации.

Исследованы возможные пути регенерации фильтрующей поверхности. Предложена конструкция фильтра, фильтровальная поверхность которого выполнена в виде пружины сжатия. При периодическом сжатии пружины происходит очистка живого сечения путем частичного разрушения частиц и разрыхления слоя осадка. Уменьшение коэффициента восстановления фильтровальных свойств сопровождается только первые пять циклов регенерации, а дальше он остается постоянным и составляет 0,88.

Представлена математическая модель процесса фильтрования молочной сыворотки при постоянной высоте слоя осадка с постепенным закупориванием каждой поры многими частицами, в которой параметры капилляров определяются с полученной зависимости пористости от давления, а также учтена сжимаемость осадка при определении начальной скорости

фильтрации сыворотки. Предложенные коэффициенты, учитывающие неоднородность частиц белковой дисперсной фазы по размерам и нецилиндричность капилляров осадка. Установлено, что разработанная математическая модель адекватно отражает процесс фильтрации молочной сыворотки и позволяет осуществлять его технологический расчет. При определении продолжительности процесса фильтрации молочной сыворотки относительная погрешность составляет 19%. Разработана методика расчета основных конструктивных параметров фильтра: площади фильтрующей поверхности, продолжительности периода между регенерациями. Представлены также математическая модель процесса при полном очищении фильтрующей поверхности и с закупориванием каждой поры отдельной частицей.

Определены показатели экономической эффективности использования предложенного фильтра в технологической линии производства творога. Использование данного фильтра обеспечивает повышение производительности линии на 0,8%. Экономический эффект от внедрения разработанной конструкции составляет 126610 грн. в год или 18,1 грн. при переработке 1 т. молока. Срок окупаемости $T_{ок} = 1$ месяц (для предприятия, производящего 700 тонн творога в год).

Результаты диссертации внедрены на частном молокоперерабатывающем предприятии «Альма-Вита» (акт внедрения от 26.10.2012р.)

Ключевые слова: молочная сыворотка, белковая дисперсная фаза, фильтрация, гранулометрический состав, адгезия, компрессионно-фильтрационные свойства.

ANNOTATION

Kravets O.I. Development of purification methods of whey from cheese dust. - Manuscript.

Thesis for the Scholarly Degree of Candidate Technical Sciences in Specialty 05.18.12. - Processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. - National University of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2015.

The results of theoretical and experimental investigation of whey treatment from protein disperse phase are presented in the dissertation. The properties of lactic cheese and casein manufacture recyclable materials (the whey suspension and protein disperse phase) - PDP content in whey, particle-size distribution, adhesion and compression-filtration properties have been investigated. Corresponding mathematical relations are given. The conclusion regarding advisability of whey treatment by filtration has been made. It is shown that it is possible to separate up to 90% from total mass of PDP in whey by filtration. The filter design for whey treatment is offered.

The mathematical model of PDP separating process from whey by filtration on the filter offered design is made. By the way of experimental investigation it has been determined that the mathematical model adequately maps the milk whey filtering process.

The results of the thesis are implemented at private dairy plants "Alma Vita" (the act of implementation from 26 of October 2012). The expected economic effect from implementation equals 18.1 UAH under processing of 1 ton of milk.

Key words: whey, cheese dust, filtration, particle size distribution, adhesion, compression and filtration properties.