

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра обладнання харчових технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОХ

_____ Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

“ ____ ” _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр _____
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» _____
(шифр і назва спеціальності)

студенту Шоку Дмитру Петровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення роботи шнекового преса для технічного казеїну із дослідженням процесу відтиску _____
керівник роботи Кравець Олег Ігорович, к.т.н. _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від “25” вересня 2020 року № 4/7-672

2. Строк подання студентом проекту : “_____” грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічний паспорт преса

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Анотація. Вступ 1. Огляд процесу виробництва казеїну та шляхів підвищення ефективності його сушіння. 1.1. сучасний стан галузі виробництва казеїну. 1.2. Огляд основних технологічних процесів, сировини і її характеристик при виробництві казеїну. 1.3. Екологічний ефект від виробництва казеїну. 1.4. Аналіз шляхів підвищення ефективності зневоднення казеїну. 1.5. Аналіз вихідної інформації. 1.6. Техніко-економічне обґрунтування. 1.7. Мета та основні задачі . 2. Розроблення методики дослідження. 3. Дослідження процесу зневоднення казеїну в шнековому пресі. 3.1. Теоретичні аспекти процесу зневоднення молочно-білкових згустків. 3.2. Результати досліджень компресійно-фільтраційних властивостей казеїну. 3.3. Результати досліджень оптимального тиску при зневодненні білкових згустків. 3.4. Дослідження граничного напруження зсуву казеїну. 4. Розрахунок вдосконаленого шнекового преса та визначення економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів. 4.1. Розрахунок вдосконаленого преса . 4.1.1. Загальний розрахунок продуктивності. 4.1.2. Кінематичний розрахунок основних вузлів шнекового преса. 4.2. Визначення економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів. 4.3. Висновки до розділу 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5.1 Охорона праці. 5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Шнековий прес. Загальний вигляд. 1 лист Ф-А1; _____

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кравець О.І. – к.т.н., доцент		
	Стадник І.Я. – д.т.н., професор		
Нормоконтроль	Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ 2020р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітки
1.	Вступ	до 01.10.2020р.	
2.	1. Огляд процесу виробництва казеїну та шляхів підвищення ефективності його сушіння	до 15.10.2020р.	
3.	2. Розроблення методики дослідження	до 30.10.2020р.	
4.	3. Дослідження процесу зневоднення казеїну в шнековому пресі	до 10.11.2020р.	
5.	4. Розрахунок вдосконаленого шнекового преса та визначення економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів	до 15.11.2020р.	
6.	5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	до 10.11.2020р.	
10.	Загальні висновки	до 25.11.2020р.	
12.		до 25.11.2020р.	
	Графічний матеріал	до 30.11.2020р.	

Студент

_____ (підпис)

Шок Д.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кравець О.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шок Дмитро Петрович. Удосконалення роботи шнекового преса для технічного казеїну із дослідженням процесу відтиску.

Робота за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2020р.

Робота присвячена зниженню енергоємності процесу виробництва технічного казеїну за рахунок вдосконалення роботи шнекового преса.

В роботі подано результати досліджень компресійно-фільтраційних властивостей технічного казеїну та того як вони змінюються в процесі оброблення в шнековому пресі.

На основі вказаних досліджень запропоновано раціональні значення тиску процесу відтиску, що забезпечує більш повне відведення молочної сироватки.

Запропоновано відповідні математичні вирази, які дозволяють прогнозувати зміну компресійних властивостей казеїну при його відтиску.

Ключові слова: відтиск, зневоднення, казеїн, сироватка, компресійні властивості.

ABSTRACT

Dmytro Shok. Improvement of industrial casein screw extruder operation including the study of the extruding process

The qualification work is conducted with the specialty 133 “Industrial machinery engineering”. Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2020.

The paper is devoted to reducing the energy intensity of the production process of industrial casein by improving the operation of the screw extruder.

The paper presents research results on the compression-filtration properties of industrial casein and how they change during processing in the screw extruder.

Based on these studies, rational pressure values of the extruding process are proposed, which provides a more complete drainage of whey.

Appropriate mathematical expressions are proposed to predict the change in the compression properties of casein during its extruding.

Keywords: extruding, dehydration, casein, whey, compression properties.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КАЗЕЇНУ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО СУШІННЯ	10
1.1. Сучасний стан галузі виробництва казеїну	10
1.2. Огляд основних технологічних процесів, сировини і її характеристик при виробництві казеїну	12
1.3. Екологічний ефект від виробництва казеїну	15
1.4. Аналіз шляхів підвищення ефективності зневоднення казеїну	16
1.5. Аналіз вихідної інформації	17
1.6. Техніко-економічне обґрунтування	19
2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	21
2.1. Розроблення методики дослідження компресійно-фільтраційних характеристик казеїнового згустку	22
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ КАЗЕЇНУ В ШНЕКОВОМУ ПРЕСІ	27
3.1. Теоретичні аспекти процесу зневоднення молочно-білкових згустків	29
3.2. Результати досліджень компресійно-фільтраційних властивостей казеїну	31

3.3. Результати досліджень оптимального тиску при зневодненні білкових згустків	36
3.4. Дослідження граничного напруження зсуву казеїну	37
3.5. Висновки до розділу	38
4. РОЗРАХУНОК ВДОСКОНАЛЕНОГО ШНЕКОВОГО ПРЕСА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ	43
4.1. Розрахунок вдосконаленого преса	43
4.1.1. Загальний розрахунок продуктивності	43
4.1.2. Кінематичний розрахунок основних вузлів шнекового преса	44
4.2. Визначення економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів	46
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	50
5.1 Охорона праці	50
5.1.1 Аналіз умов праці в галузі	50
5.1.2. Огляд напрямки покращення стану виробничого середовища	53
5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях	53
5.2.1. Планування заходів з питань цивільного захисту на підприємствах харчової та переробної промисловості	54

ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58
ДОДАТКИ	61

ВСТУП

На даний час більшість заводів харчової промисловості з метою забезпечення рентабельності змушені шукати вихід із ситуації пов'язаної із одночасним забезпеченням якості готової продукції та мінімальної енергоємності виробництва.

Особливо гостро ця проблема стосується виробництва технічного казеїну, заключним етапом якого є його сушіння, яке і обумовлює високу енергоємність цього процесу.

У той же час технічний казеїн залишається ваговою часткою експорту, а отже і прибутку, для багатьох українських молокопереробних заводів.

Таким чином актуальним є пошук доступних способів зниження енергетичних затрат на процес сушіння технічного казеїну.

Проте предметом оптимізації, в даному випадку, може бути не лише сам процес сушіння казеїну, як найбільш енергозатратний, але і той, що йому передуює – обезводнення на шнековому пресі. Таке рішення запрошується, якщо врахувати, що більш повне обезводнювання на стадії механічного відтиску створить умови, при яких у сушарці потрібно буде видаляти меншу кількість вологи.

Тому актуальними є дослідження, перед якими поставлене завдання підвищення ефективності відтиску сироватки із казеїну в шнековому пресі.

1. ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КАЗЕЇНУ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

1.1. Сучасний стан галузі виробництва казеїну

Найдорожчою частиною молока є білок. Його частка складає близько 3,2%, у тому числі казеїну - 2,7%, альбуміну - 0,4%, глобуліну - 0,12% [1]. Казеїн утримується у вигляді кальцієвої солі та відноситься до складних білків фосфопротеїнам.

Останні десятиліття характеризується зростанням попиту на різні види казеїну.

Сучасному виробництву казеїну у розвинених закордонних країнах властивий високий рівень концентрації. Це створило умови для встановлення спеціалізації країн. На даний час одні країни виробляють і експортують казеїн, а інші – імпортують, переробляють на технічні і харчові цілі. Найбільшими виробниками казеїну в даний час залишаються такі держави як Нова Зеландія, Аргентина, Австралія, Франція. Їх частка становить близько 90% світового виробництва казеїну та його експорту.

Вітчизняні виробники продовжують збільшувати випуск продукції.

Значна частина українських підприємств станом на зараз для виробництва казеїну використовує періодичний спосіб, що передбачає використання сироробних ванн та коагуляцію білка сквашеної сироватки.

Параметри окремих технологічних процесів виробництва казеїну часто не дозволяють отримати на виході продукт, що був би конкурентним із наявними на ринку зразками, якщо порівнювати відповідно до наступних характеристик: масова частка золи, лактози, жиру, білку, величина вільної кислотності [2].

Для підвищення якості наведених характеристик необхідно виконати наступну умову: забезпечити збільшення дифузії з казеїнового зерна в розчин таких речовин як лактоза, мінеральні солі, молочна кислота, жир.

Вказані режими дозволять отримати на виході казеїн значно вищої якості.

1.2. Огляд основних технологічних процесів, сировини і її характеристик при виробництві казеїну

Казеїн відноситься до молочно-білкових концентратів. Їх отримують шляхом видалення води, мінеральних речовин та лактози, а також шляхом одночасного концентрування білків.

При виробництві казеїну використовують коров'яче молоко або сироватку молочну.

При виробництві молочно-білкових продуктів значний вплив має так звана білковмістність сировини (табл. 1.1.).

Таблиця 1.1. Вміст білку в сировині [3]

Вид сировини	Масова частка, %		Питома вага білків у загальній масі, %
	Сухі речовини	Білки	
Сироватка	5,9	1,0	16,9
Молоко	11,5	2,8	24,3
Пахта	9,7	3,3	34
Обезжирене молоко	8,6	3	35

Як бачимо, пахта та обезжирене молоко значно перевищують молоко за вмістом білка. Насиченість білками молочної сироватки також висока – 16,9 % питома вага у загальній масі.

Така білковмісна сировина характеризується значною харчовою та біологічною цінністю. Вона має добре збалансований склад важливих для здоров'я речовин.

Важливе значення для виробництва казеїну має молочна сироватка. Оскільки вона є побічним продуктом виробництва деяких молочних продуктів то застосування сироватки при виготовлені казеїну сенс з точки зору організації безвідхідного виробництва. Склад і властивості молочної сироватки від казеїну, при виробництві якого вона отримана та від особливостей його технології. Склад молочної сироватки представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Склад молочної сироватки [3]

Компонент	Продукт, при виробництві якого отримана сироватка		
	сир кисломолочний	твердий сир	казеїн
Масова частка сухої речовини, % у тому числі:	4,20 – 7,70	4,50 – 7,50	4,50 – 7,50
мінеральні речовини	0,05 – 0,40	0,05 – 0,50	0,02 – 0,10
лактоза	3,2 – 5,1	3,90 – 4,90	3,20 – 5,20
жир	0,50 – 0,80	0,30–0,80	0,30 – 0,90
білок	0,50 – 1,40	0,50 – 1,10	0,50 – 1,50

Енергетична цінність молочно сироватки трохи менше у рівнянні із молоком. Але біологічна цінність сироватки і молока є близькими.

Таблиця 1.3. Енергетична цінність деяких молочних продуктів

Продукт	Калорійність
Молочна сироватка	1013 кДж/кг
Молоко	
- незбиране	2805 кДж/кг
- обезжирене	1440 кДж/кг
Маслянка	1599 кДж/кг

Середні значення фізичних властивостей молочної сироватки представлено у вигляді таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Основні властивості сироватки [2].

Густина	1017-1026 кг/м ³
Теплоємність	4,82 кДж/ (кг·К)
Мутність	0,16 - 0,26 см ⁻¹
Кислотність, °Т	4,3 - 6,3
В'язкість	1,54 - 1,65 10 ⁻³ Па·с

Молоко характеризується високою стійкістю до дії температур, що мають місце при його обробці.

Важливе значення в проявленні властивостей молока відводиться саме казеїну. Казеїн коагулює при нагріванні до температури 130°C з витримкою.

Теплофізичні характеристики кислотного та сичужного казеїнових згустків подано в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. Теплофізичні характеристики казеїнового згустку

Вид казеїнового згустку	Характеристики					
	Коеф. температуров. $\alpha \cdot 10^8$	Питома теплоємність $C, \text{ Дж}/(\text{кг К})$	Коеф. теплопров. $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м К})$	Пористість, $e, \%$	Об'ємна маса, $\rho, \text{ Кг}/\text{м}^3$	Вологість $W, \%$
Кислотний	10,2	2120	0,25	41,5	500-560	55-60
Сичужний	10,3	3015	0,32	47		

Для забезпечення умов зберігання та транспортування казеїн підлягає сушінню. Теплофізичні властивості висушеного казеїну представлено у вигляді таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. Теплофізичні характеристики висушеного казеїну

Характеристики	Значення
Вологість $W, \%$	2,78-2,34
Об'ємна маса $\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	286-462
Фізична густина $\rho_f, \text{ кг}/\text{м}^3$	1122-1182
Пористість $e, \%$	15-20

1.3. Екологічний ефект від виробництва казеїну

Використання молочної сироватки в процесі виробництва казеїну створює умови для вирішення важливої проблеми, що полягає у доволі низькому рівні переробки цього вторинного казеїну на даний час. Адже

відомо, що зі всієї сироватки, що виробляється на даний час, переробці підлягає лише її 60% [4].

В нашій державі рівень її промислової переробки ще нижчий (рис. 1.1).

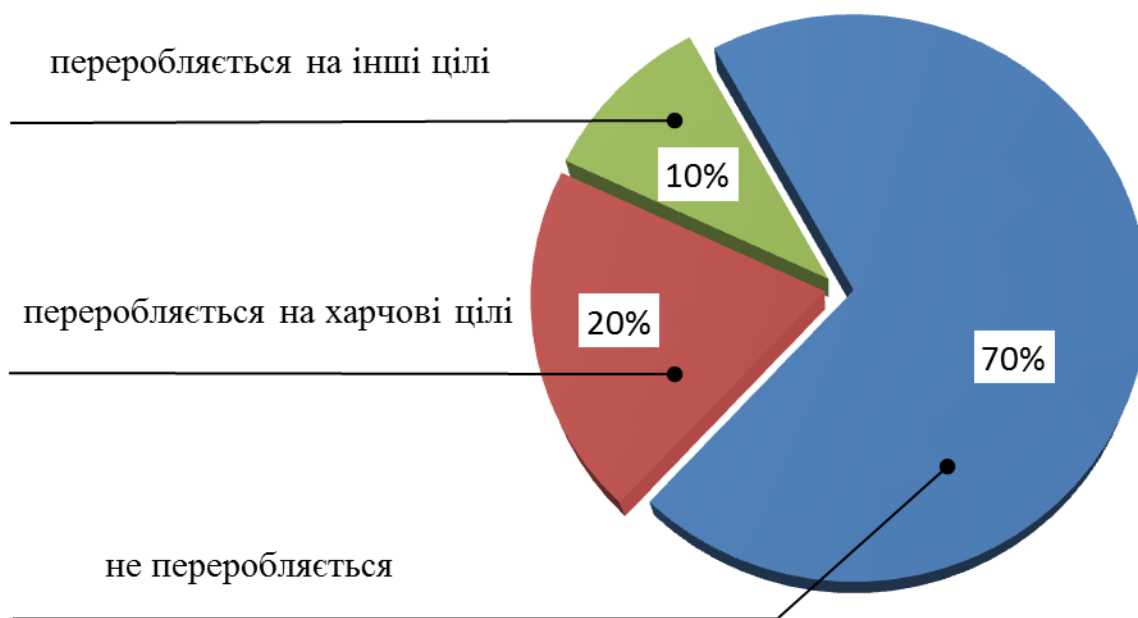


Рис. 1.1. Рівень переробки молочної сироватки в Україні

Такий стан речей неминуче веде до колосальних втрат у галузі: з 1 700 000 тонн сироватки, що виробляється в Україні щороку [5], відповідно до діаграми, що представлена на рисунку 1.1., втрачається близько 1 200 000 тонн.

Для вирішення цієї проблеми на даний час немає єдиного підходу. У той час як одні фахівці наполягають на необхідності створення централізованого виробництва для переробки сироватки [6] інші висловлюють сумніви на рахунок ефективності такого підходу, адже молочна сироватка більш ніж на 90% складається з води, а тому її перевезення на великі відстані для подальшої переробки має сумнівну економічну ефективність.

Тому налагодження ефективного виробництва казеїну із використанням сироватки має, на рівні із економічним, значний екологічний ефект. В таких

умовах навіть недостатня рентабельність виробництва казеїну може бути компенсована його важливістю з точки зору зниження забруднення навколишнього середовища молочною сироваткою.

Відомо, що стоки молокопереробних заводів, що містять сироватку, є сильним забруднювачем. В її склад входять органічних речовин, що характеризуються сильними окисними властивостями [7, 8]. Тому забруднення навколишнього середовища стоками, які містять молочну сироватку може бути у 500 разів сильнішим ніж відповідне забруднення побутовими стічними водами [9].

1.4. Аналіз шляхів підвищення ефективності зневоднення казеїну

На даний час значна кількість підприємств, що виробляють продукцію із незбираного молока, налагоджують виробництво казеїну. Дані підприємства при виробництві казеїну використовуючи частково наявне у них обладнання, а саме – обладнання первинної обробки молока та сирні ванни. Також вони доукомплектовують технологічні лінії обладнанням, що дозволяє здійснити процес відділення сироватки та сушіння казеїну.

Деякі молокопереробні заводи для зневоднення казеїну використовують декантатори. Після обробки в декантаторі казеїн подається в сушарку.

Проте найбільш поширеним обладнанням для зневоднення досі залишаються шнекові преси.

Незважаючи на істотне поширення шнекові преси характеризуються значними енергетичними затратами.

Найбільш енергоємною операцією в технологічному процесі виробництва казеїну залишається його сушіння.

Зменшити витрати енергії на сушіння казеїну можна шляхом зменшення вологості сировини, що потрапляю в сушильну установку. Іншими словами завдання полягає у тому, щоб забезпечити вищий ступінь попереднього зневоднення казеїну в шнековому пресі.

З метою визначення економічної доцільності було розраховано скільки теплоти можна заощадити якщо забезпечити зниження вологості казеїну на вході у сушарку на 1%. Отримані дані свідчать, що за таких умов вдасться заощадити близько 28-30 МДж теплоти за 1 годину роботи сушарки.

1.5. Аналіз вихідної інформації

Прес шнековий типу ПШ-300 (рис. 1.2) призначений для часткового обезводнення і гранулювання казеїну перед його подачею у сушильну камеру.

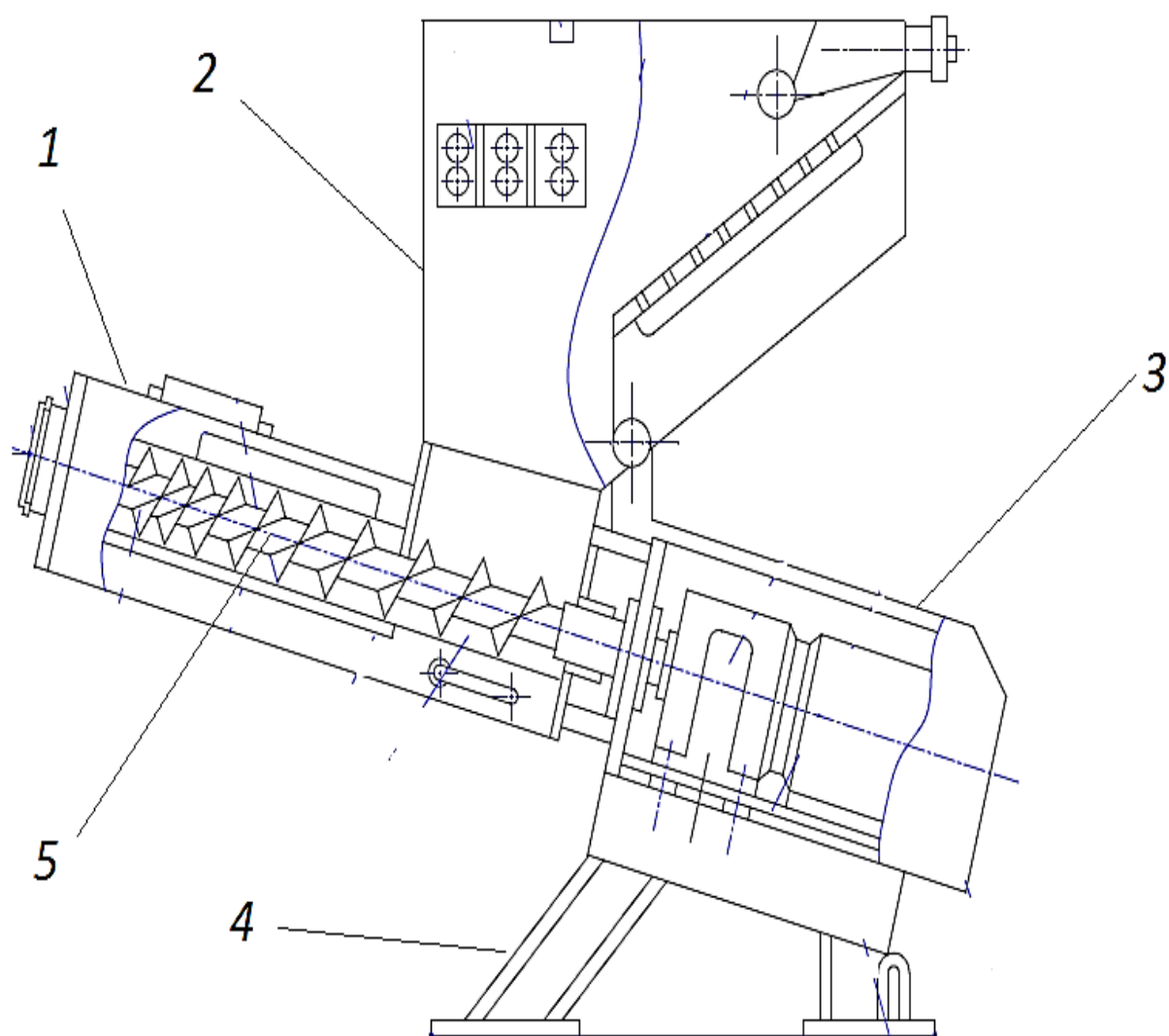


Рисунок 1.2. Шнековий прес ПШ-300

1 – корпус; 2 – лоток; 3 – привід; 4 – опори; 5 – шнек.

Вологий казеїн подається в прес через лоток 2. Основою частиною преса є шнек 5 зі змінним кроком навивки, що забезпечує створення тиску, необхідного для відтиску молочної сироватки з пор казеїну. Шнек 5 приводиться в рух від електродвигуна 3. Відведення сироватки відбувається безперервно протягом роботи преса.

Вологість казеїну на виході із шнекового пресу становить близько 60%. Основні технічні характеристики преса шнекового ПШ-300 представлено у вигляді таблиці 1.7.

Таблиця 1.7. Технічна характеристика преса шнекового ПШ-300

№	Характеристика, одиниці вимірювання	Значення
1	Продуктивність по казеїну на виході, кг/год	450
2	Продуктивність по казеїну на вході, кг/год	580
3	Температура процесу зневоднення, °С	35-40
4	Потужність приводу (електродвигуна), кВт	2,2
5	Число обертів шнека, об/хв	71
6	Вологість казеїну на виході із преса, %	60
7	Довжина шнека, мм	800
8	Габаритні розміри, мм:	
	довжина	1500
	висота	880
	ширина	640
9	Маса преса, кг	350

Шнековий прес ПШ-300 одержав широке застосування в харчовій промисловості. Зокрема в молокопереробній галузі для виробництва казеїну. Він має ряд недоліків та переваг у порівнянні із іншими машинами даного типу.

1.6. Техніко-економічне обґрунтування

Економічний ефект від виконання даної роботи розрахуємо виходячи з того, що підвищення ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі (під підвищенням ефективності маємо на увазі нижчу вологість казеїну на виході) дозволить зменшити затрати енергії на подальший процес сушіння. Оскільки видалення вологи із казеїну шляхом сушіння є дорожчим у порівнянні з механічним відтиском то очевидно, що дані дослідження є перспективними з точки зору зниження затрат енергії на виробництво казеїну.

На випаровування 1 кг вологи затрачається близько $2,3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії. За умов, якщо відтиск казеїну відбувається в шнековому пресі а його подальше сушіння в установці із псевдо зрідженим шаром (наприклад сушильна установка марки ВС – 300), зменшення вологості казеїну на виході із пресу навіть на 1% дозволить заощадити близько $3 \cdot 10^7$ теплової енергії за 1 годину роботи установки для сушіння.

Крім цього, враховуючи те, що на даний час гостро стоїть проблема низького рівня використання молочної сироватки то організація ефективного виробництва казеїну, із використанням сироватки, на рівні із економічним, має значний екологічний ефект.

Тому навіть недостатня рентабельність виробництва казеїну може бути компенсована його важливістю з точки зору зниження забруднення навколишнього середовища молочною сироваткою.

1.7. Мета та основні задачі

Аналіз процесу виготовлення казеїну показав, що найбільш енергоємною складовою частиною є сушіння, яке поглинає близько 80% від загальної кількості теплової та електричної енергії. Також вище було доведено, що знизити енергоємність процесу виробництва технічного казеїну можна шляхом зменшення частки вологи у казеїні на виході з шнекового пресу.

Забезпечити максимальне зневоднення казеїну в шнековому пресі стане можливим лише при розуміння процесу, який проходить в камері шнекового пресу та характеру зміни компресійно-фільтраційних властивостей технічного казеїну.

Метою роботи є вдосконалення роботи шнекового преса для казеїну шляхом встановлення раціональних значень тиску процесу відтиску.

Для виконання цієї мети роботи було виконано наступні завдання:

- вибір методик і приладів для дослідження компресійно-фільтраційних властивостей казеїну;
- дослідження компресійних властивостей;
- проведення експериментальних досліджень залежності вологості казеїну від тиску процесу.

2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Розроблення методики дослідження компресійно-фільтраційних характеристик казеїнового згустку

Суть методики випробувань полягає в тому, що визначення необхідних характеристик проводили в тонкому шарі казеїну при поступовому (ступінчастому) збільшенні навантаження. При цьому тиск, що виникає в скелеті казеїну, при повністю стабілізованому стані ототожнюється з тиском прикладеним до шару.

Розподіл тиску в будь-який момент часу:

$$P = P_{ск} + P_p$$

P – зовнішній тиск, Па;

$P_{ск}$ – тиск у скелеті, Па;

P_p – тиск у рідині.

При реалізації досліджень визначали вологість, пористість, питомий опір фільтруванню, коефіцієнт фільтрування, коефіцієнт стисливості та коефіцієнт консолідації.

Дослідження перелічених параметрів казеїну проводили за допомогою приладу, схему якого подано на рисунку 2.1.

Виготовлення казеїнового згустку виконували відповідно до технологічної інструкції. Розрізаний згусток нагрівали до температури 35-55° С, потім виконували його охолодження шляхом змішування з холодною молочною сироваткою до температури 20° С, при якій проводиться дослідження.

Приготовлений продукт поміщали між двома шарами фільтрувальної тканини на дні циліндра 2.

Висота шару становила близько 7-10 мм (така висота є достатньою, оскільки розмір часток казеїну мають відносно малий діаметр, порівняно з цією висотою).

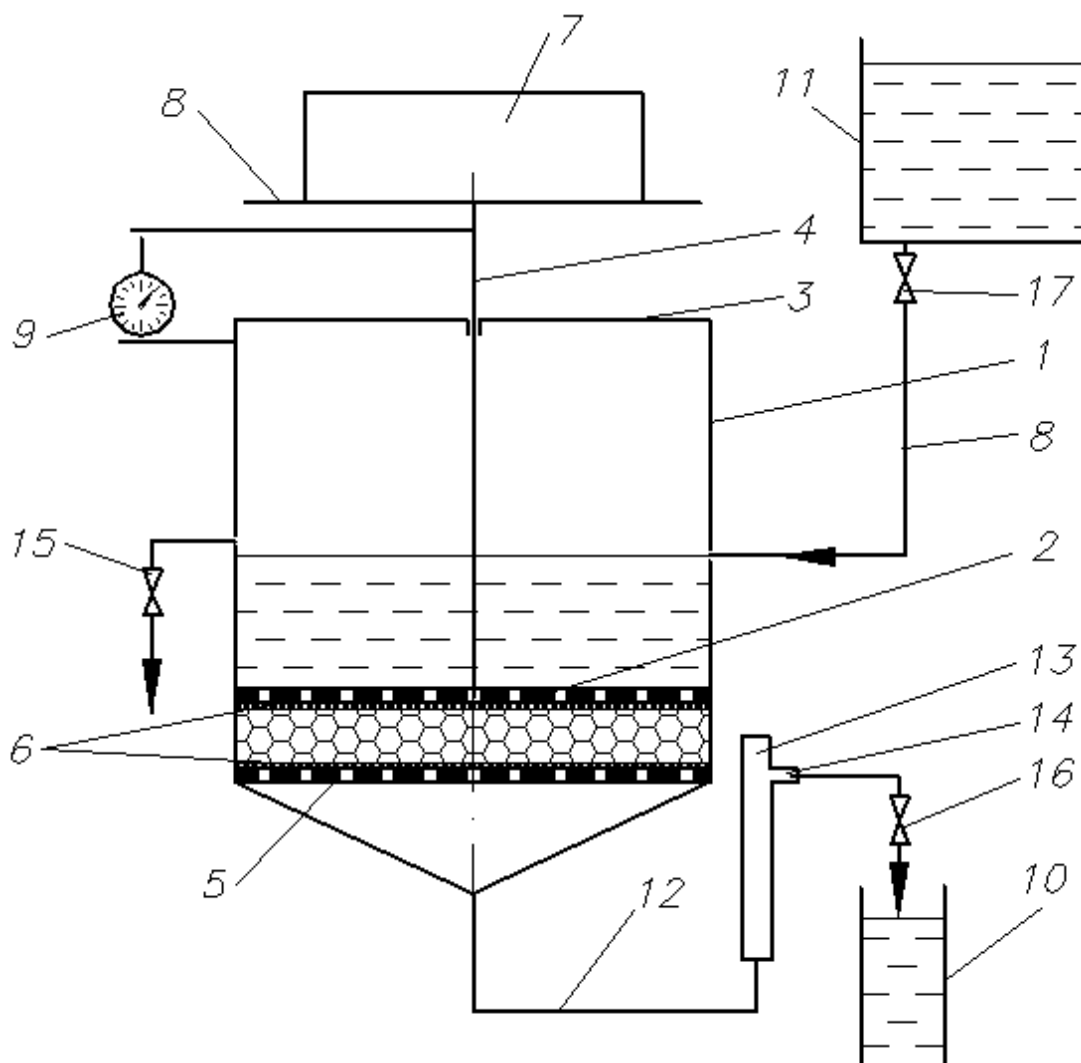


Рис. 2.1. – Схема установки для дослідження компресійно-фільтраційних характеристик:

- 1 – корпус; 2 – поршень; 3 – кришка; 4 – шток; 5 – перфороване дно;
 6 – фільтрувальна тканина; 7 – вантаж; 8 – пластина; 9 – індикатор переміщення годинникового типу; 10 – мірний циліндр; 11 – бачок;
 12 – гумова трубка; 13 – скляна трубка; 14 – патрубок;
 15, 17 – вентиля.

Потім відкривали вентиль 17 і сироватка із бачка 11 поступала в корпус установки 1. Шланги 12 і 13 виконували роль гідрозатвору та були

встановленні так, що патрубок 14 перебував завжди на рівні дна 5. Встановлювали тягарці 7 на пластину 8..

Після завершення деформації згустку визначали переміщення поршня індикатором годинникового типу 9. Якщо зміна показів індикаторів протягом 2 хв не перевищувала 1% від деформації протягом перших 10 хв то вважали, що досягнуто стабілізованого стану і деформація шару казеїну заваршена. Проводили відповідні заміри.

Далі переміщали ручку вентиля 16 та фільтрат поступав в мірний циліндр 10. Потім через 5хв вентиль 17 закривали і вимірювали об'єм сироватки, що була в мірному циліндрі 10.. Постійний рівень рідини в циліндрі підтримували використовуючи вентиль 15.

Кількість ступеней навантаження складала від 6 до 10.

Після закінчення остаточної деформації шару казеїну здійснювали поступове розвантаження установки та визначали висоту відновлення шару казеїну $\Delta h_{пр}$.

Проведення досліду передбачало виконання тарування експериментальної установки. Тарування відбувалося наступним чином: проводили визначенні переміщення поршня h_p при дії на нього тиску, що створювали в результаті встановлення грузів на пластину. Таким чином отримали величину деформації приладу при різних значеннях тисків.

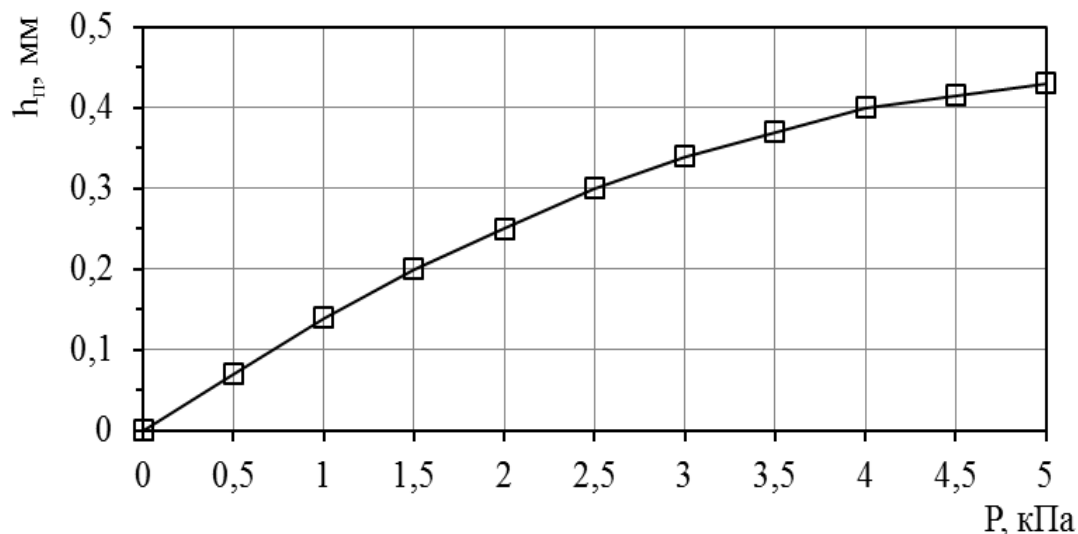


Рис. 2.2. Деформація приладу під дією тиску

Також, перед дослідженнями, визначали опір фільтрувальних перегородок R_{ϕ} (поверхонь поршня та дна, що мають отвори) за наступною формулою:

$$R_{\phi} = \frac{\Delta H S_{\phi} \tau_{\phi}}{\mu v_{\Pi}},$$

де S_{ϕ} – площа перфорованого дна. m^2 .

Визначали вологість казеїну W :

$$W = m_{\text{в}}/m_{\text{ос}}$$

де W – масова вологість казеїну;

$m_{\text{в}}$ – маса вологи;

$m_{\text{ос}}$ – маса обезводненого казеїну, кг.

Коефіцієнт пористості технічного казеїну після кожної стадії навантаження визначали за формулою:

$$e = \frac{v_{\Pi}}{v_{\text{ск}}} = \frac{V_i - V_{\text{ск}}}{V_{\text{ск}}}$$

де v_i – об'єм на i -му ступені навантаження m^3 .

$$V_i = S \cdot h_i.$$

Визначали також висоту казеїну після прикладання останнього ступеня навантаження:

$$h_{\Pi} = h_{\text{в}} + \Delta h_{\text{пр.}} - \Delta h_{\text{р}};$$

де $\Delta h_{\text{пр.}}$ – деформація самого приладу, мм;

$\Delta h_{\text{р}}$ – відновленні висоти шару казеїну, мм;

Висота казеїну після дії попередніх ступеней навантаження становить:

$$h_{\Pi-1} = \Delta h_{\Pi} + \Delta h;$$

$$h_i = \Delta h_{i+1} + \Delta h_{i+1}.$$

Значення h_1 буде відповідати висоті шару технічного казеїну до моменту прикладання навантаження:

$$h_1 = h_{зг}.$$

Об'єм скелету шару казеїну:

$$V_{ск} = (1 - W_n) \frac{V_{зг} \cdot \rho_{зг}}{\rho_{ск}}$$

де W_n – вологість;

$V_{зг}$ - об'єм казеїну на останньому етапі навантаження, м³;

$\rho_{зг}$ – густина казеїну на останньому етапі навантаження, кг/м³;

$\rho_{ск}$ – густина скелету казеїну на останньому етапі дії навантаження, кг/м³;

$$\rho_{ск} = \rho_t (1 - W);$$

$$\rho_{зг} = \rho_p W + \rho_{ск};$$

де ρ_t – густина твердих частинок, кг/м³;

ρ_p – густина рідини сироватки, кг/м³.

Об'єм казеїну можна задати наступним чином:

$$V_{зг} = S \cdot h_{зг}.$$

де S – площа перерізу циліндра, м².

2.2. Розроблення методики дослідження оптимального тиску при зневодненні казеїну

Методика проведення експериментів була наступною.

Підготовлений зразок казеїну, попередньо обробляли на шнековому пресі. Виготовлення згустку проводили відповідно до технологічної інструкції. Перед початком кожного дослідження визначали початкову вологість згустку.

Для кожного дослідження брали однакову наважку казеїну масою 60 гр. поміщали в трубку між електродами, один з яких нерухомо закріплений, а до іншого прикладали зусилля, яке створювали за допомогою вантажу. Одночасно під час експерименту підключали джерело постійного струму та вимірювали напругу і силу струму. Значення напруги в процесі досліджень коливалося в межах від 20 В до 80 В. сила струму становила від 25 мА до 180 мА. Тривалість експериментів бала різна – від 35 хвилин до 1 години.

Після завершення кожного досліду вимірювали кількість відділеної молочної сироватки та визначали вологість згустку.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ КАЗЕЇНУ В ШНЕКОВОМУ ПРЕСІ

3.1. Теоретичні аспекти процесу зневоднення молочно-білкових згустків

У технологічному процесі зневоднення молочно-білкових згустків здійснюється відтиск рідини (молочної сироватки), формування пласту та забезпечення необхідної вологості кінцевого казеїну. Аналітичні та експериментальні дослідження, проведені авторами робіт [19-20], показали, що можна використовувати основні положення теорії фільтраційної консолідації для вивчення зневоднення молочно-білкових згустків.

Шар казеїну будемо розглядати як сукупність твердих дисперсних частинок (скелет) та простір заповнений сироваткою (пори).

Шар казеїну можна характеризувати наступними властивостями.

Пористість казеїну – це вміст пор у загальному об'ємі казеїну:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{заг}}} \quad (3.4)$$

де $v_{\text{п}}$ – об'єм пор, м³;

$v_{\text{заг}}$ – загальний об'єм казеїну, м³.

Коефіцієнтом пористості казеїну – відношення об'єму пор $v_{\text{п}}$ до об'єму скелету:

$$e = \frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{ск}}} \quad (3.5)$$

де $v_{\text{ск}}$ – об'єм скелету казеїну.

Для розрахунку процесу формування (для вибору тиску та тривалості формування) необхідно володіти інформацією щодо компресійно-фільтраційних характеристик казеїну, таких як пористість, модуль стисливості, питомий опір фільтруванню.

В процесах відтиску також слід враховувати здатність шару казеїну стискатися під дією напору рідини. Для характеристики даної властивості використовували наступні дві величини: це коефіцієнт стисливості та модуль стисливості.

Коефіцієнтом стисливості казеїну вважали зміну коефіцієнту пористості казеїну при зміні тиску:

$$a = \frac{\Delta e}{\Delta p}, \quad (3.6)$$

де Δe – зміна коефіцієнту пористості казеїну;

Δp – зміна тиску, Па,

модуль стисливості казеїну:

$$G = \frac{1+e}{a}. \quad (3.7)$$

Процес фільтрування рідини через шар казеїну залежить від опору, який чинить казеїн проходженню рідини і від природи сироватки – питомого опору фільтруванню, r (1/м²):

$$r = \frac{\Delta H \tau}{\mu \cdot v_{пт} h} - \frac{R_{\phi}}{h}, \quad (3.8)$$

де ΔH – гідродинамічний напір, Па;

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

$v_{пт}$ – питомий об'єм сироватки, що проходить через шар казеїну (м³/м²);

τ – час, за який через шар казеїну проходить об'єм $v_{пт}$, с;

R_{ϕ} – опір фільтрувальної перепони, $R_{\phi} = 2,3 \cdot 10^7$ 1/м;

h – висота шару казеїну, м.

Рух сироватки порами казеїну описується за допомогою закону Дарсі:

$$v = k \frac{\partial P}{\partial h},$$

v – швидкість руху сироватки, м/с;
 h – висота шару казеїну, м;
 k – коефіцієнт фільтрування, м²/(Па·с).

Коефіцієнт фільтрування:

$$k = \frac{1}{\mu \cdot r}. \quad (3.9)$$

Комплексною оцінкою компресійно-фільтраційних властивостей казеїну є коефіцієнт консолідації b , м²/с:

$$b = \frac{G}{\mu \cdot r}, \text{ або } b = G \cdot k. \quad (3.10)$$

3.2. Результати досліджень компресійно-фільтраційних властивостей казеїну

При відтиску молочної сироватки необхідно забезпечити умови її фільтрування крізь шар казеїну. В протилежному випадку, при відтиску буде мати місце запресовування частини сироватки в порах казеїну. Оскільки рушійною силою фільтрування є різниця тиску з обох сторін ΔP .

За теорією фільтрування при $h = z$ тиск, який сприймають частинки казеїну становить $P_r = 0$, а при $h = 0$ $P_r = P_1 - P_2$.

Ефективність процесу зневоднення казеїну буде залежати від компресійно-фільтраційних характеристик шару казеїну та від того, яким саме чином вони змінюватимуться під дією тиску, що діє в шнековому пресі.

Ці характеристики молочних продуктів досліджено відносно детально. Зокрема, в роботі [10] подано результати досліджень компресійно-фільтраційних характеристик сирів з підплавлення сирної маси. Автори доводять, що при тиску $15 \cdot 10^3$ Па фільтрування рідини через молочно-білкового згустку припиняється. В роботі [11] подано результати дослідження

компресійних і фільтраційних властивостей так званого сирного пилу, який за властивостями близький до казеїну.

Проте відповідні властивості технічного казеїну на даний час ще залишаються не дослідженими.

Визначення компресійно-фільтраційних параметрів у шарі казеїну при дії на нього тиску відтиску. Вимірювання здійснювали як при поетапному (рис. 3.1) так і при одноразовому прикладанні тиску від 1 до 5 кПа.

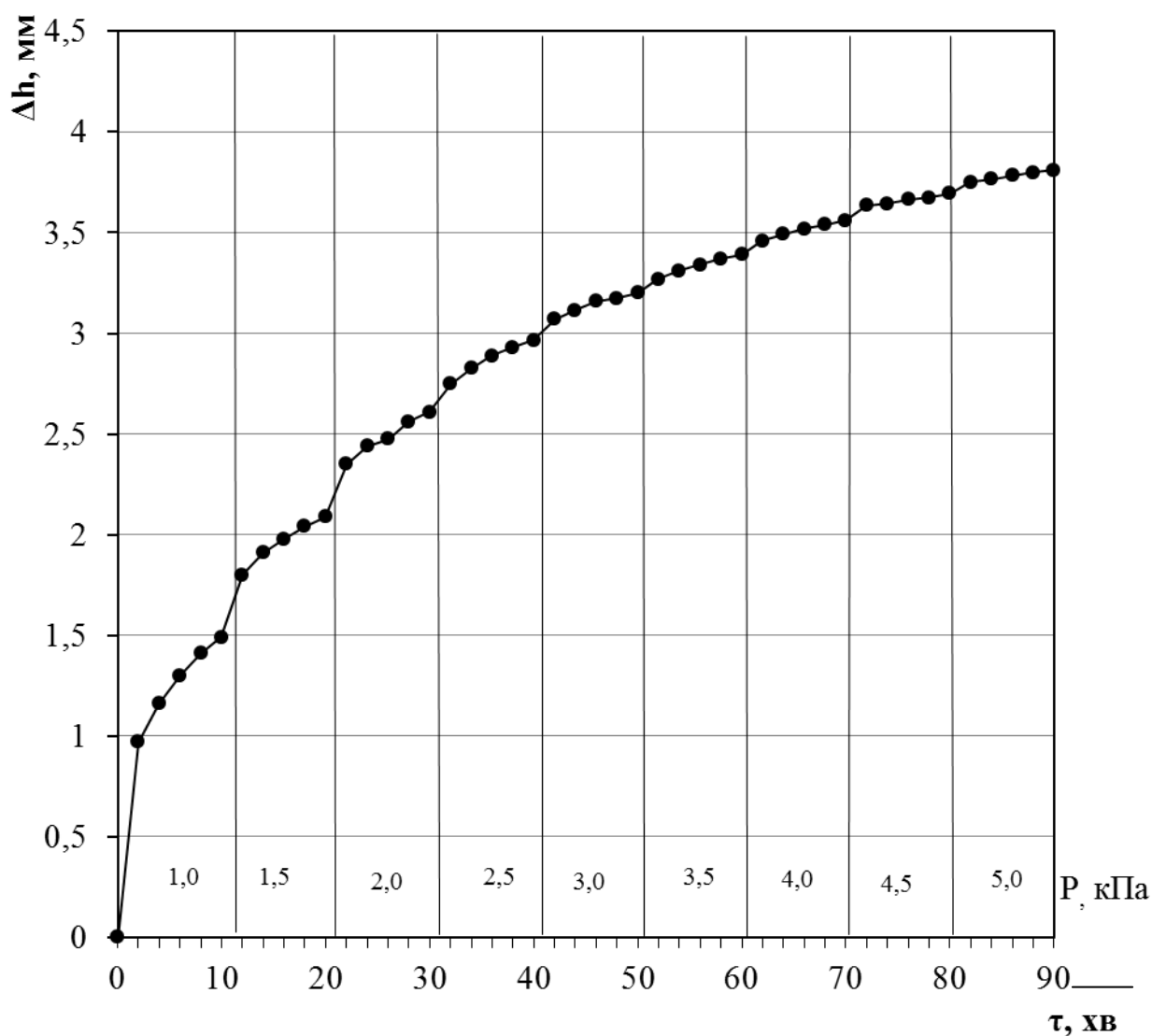


Рис. 3.1. Деформація шару казеїну при ступеневому зростанні тиску

На кожному етапі навантаження протягом 10 хв. має місце стабілізація висоти шару казену, тобто встановлення певне значення пористості казеїну. Таке значення пористості зберігалось до того моменту коли змінювався тиск.

Слід відмітити, що тут паралельно проходить два процеси – зниження висоти шару казеїну в наслідок відведення сироватки і відведення молочної сироватки в результаті зниження висоти шару казеїну. Спочатку тиск діє як на тверду фазу казеїну так і на сироватку. Після прикладення навантаження понад 10 хв, тиск вже сприймається лише твердою фазою (скелетом) і зневоднення практично не відбувається.

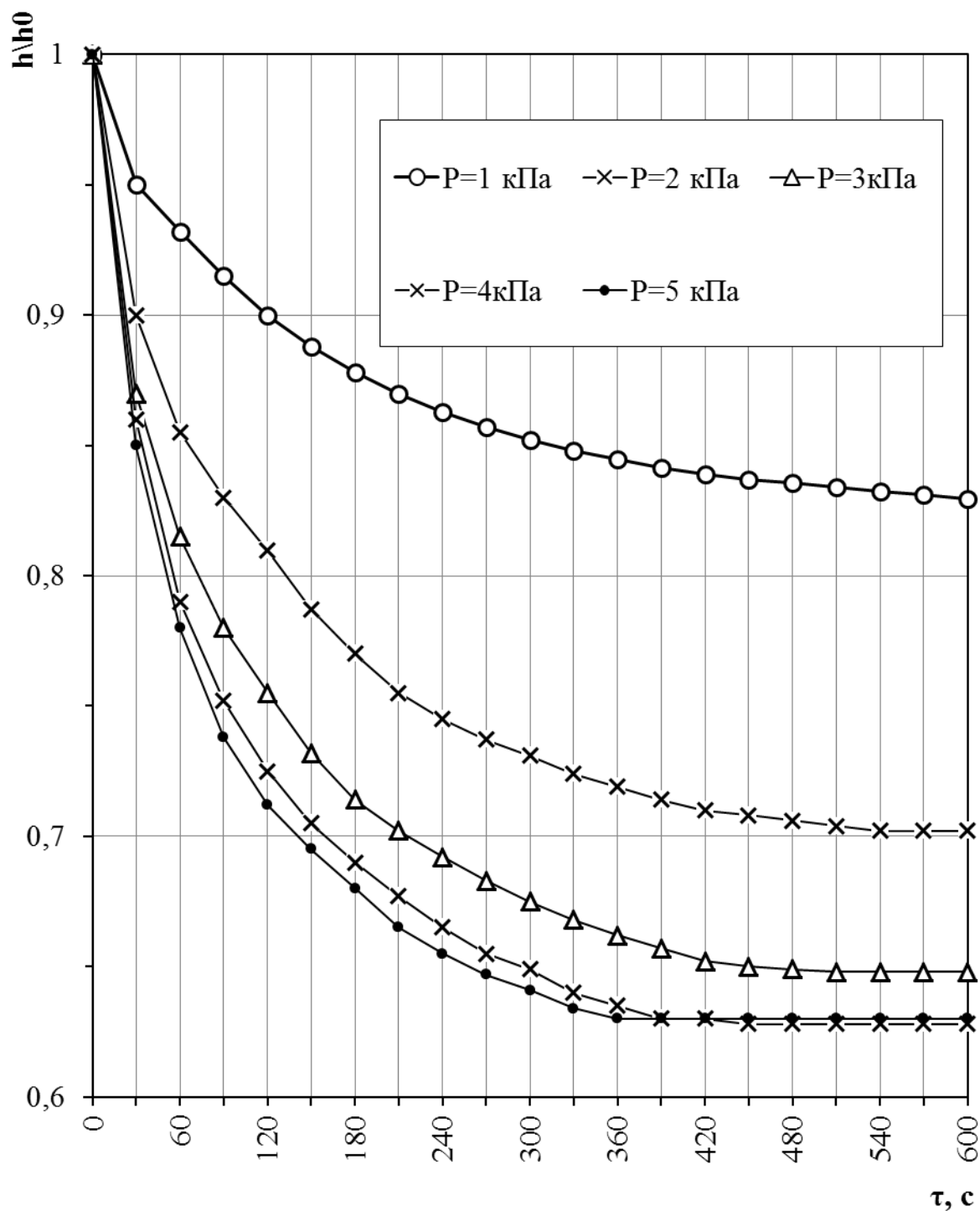
Встановлено, що деформація шару осаду проходить не миттєво, а протягом деякого часу, після чого осад досягає стабілізованого шару. Тривалість консолідації залежить від товщини шару осаду та ступеня його стисливості.

Близько 70% від загальної величини деформації при даному навантаженні відбувається на протязі перших 3-5 хвилин. Потім швидкість деформації значно сповільнюється. В проведених експериментах товщина шару осаду складала 10-25 мм. При цьому, слід відмітити, що умовно-стабілізований стан був досягнутий при тривалості навантаження 20-35 хв.

При знятті навантаження відбувається релаксація напружень та відновлення товщини шару осаду, що свідчить про те, що молочно-білковому згустку притаманні пружно-пластичні властивості.

Максимальна величина деформації після відновлення спостерігається при повному розвантаженні шару і складає 0,1-0,2 мм в залежності від товщини шару.

Відновлення після зняття навантаження проходить не миттєво. При підвищенні температури нагрівання згустку величина пружної деформації зростає. Так, для молочно-білкового згустку відновлення після деформації при температурі 38 °С складає 10% по відношенню до товщини деформованого згустку; а при температурі 50 °С – 21%.



**Рис. 3.2. Криві деформації шару казеїну при різних значеннях тиску:
1. – 1,0кПа; 2. – 2,0кПа; 3. – 3,0кПа; 4. – 4,0кПа; 5. – 5,0кПа.**

Після завершення деформації шару казеїну на останньому етапі проводили поступове розвантаження поршня і вимірювали висоту відновлення шару казеїну. При розвантаженні казеїну проходить часткове відновлення

деформації, яка досягає 85% початкової висоти (рис. 3.3). Це пояснюється наявністю у казеїну пружно-пластичних властивостей.

Після припинення дії останнього ступеня навантаження час відновлення шару казеїну склав 15 хв.

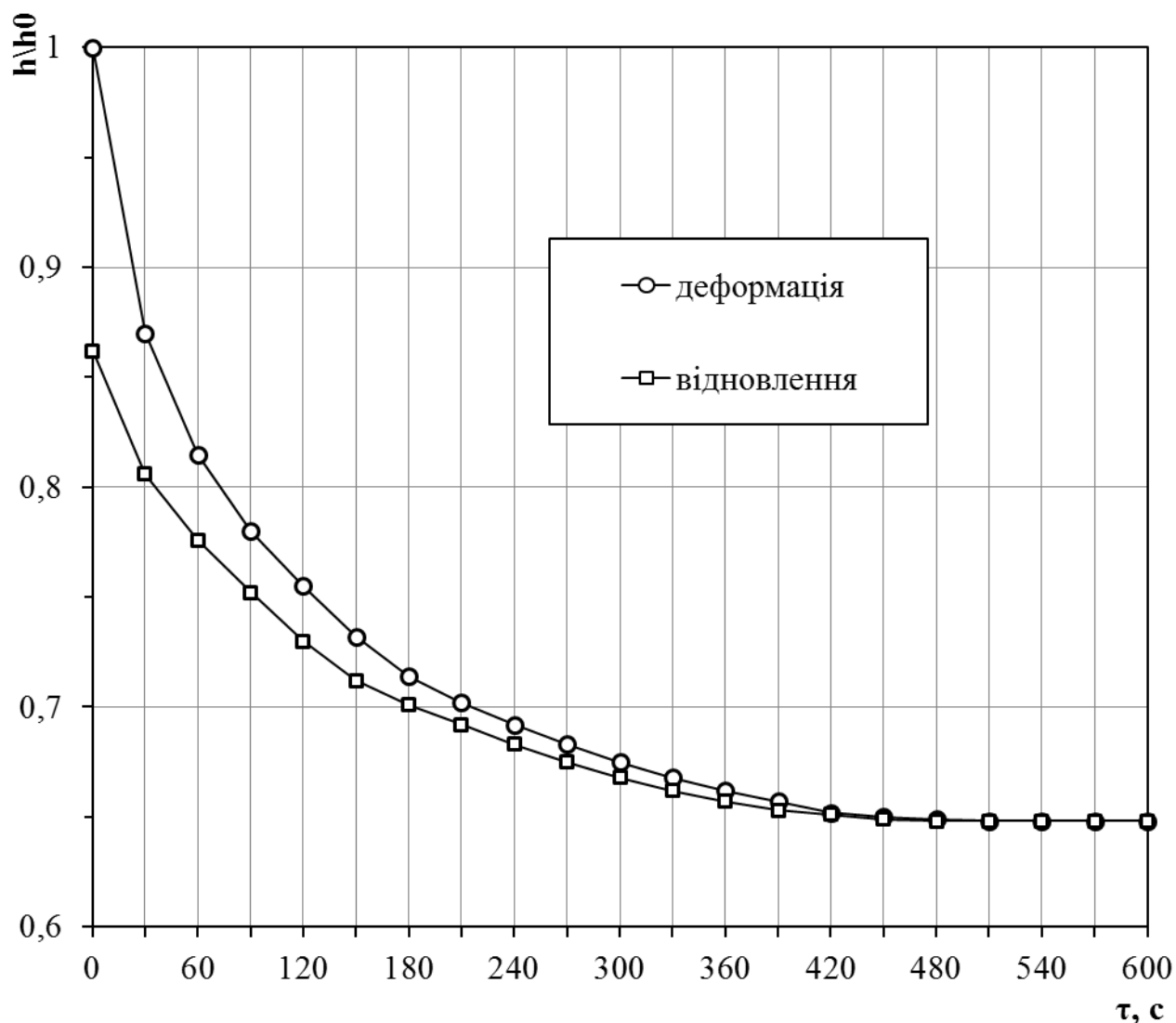


Рис. 3.3. Криві деформації та відновлення шару казеїну при тиску 3,0 кПа

На рисунку 3.3. представлено графік залежності величини пористості казеїну від прикладеного тиску.

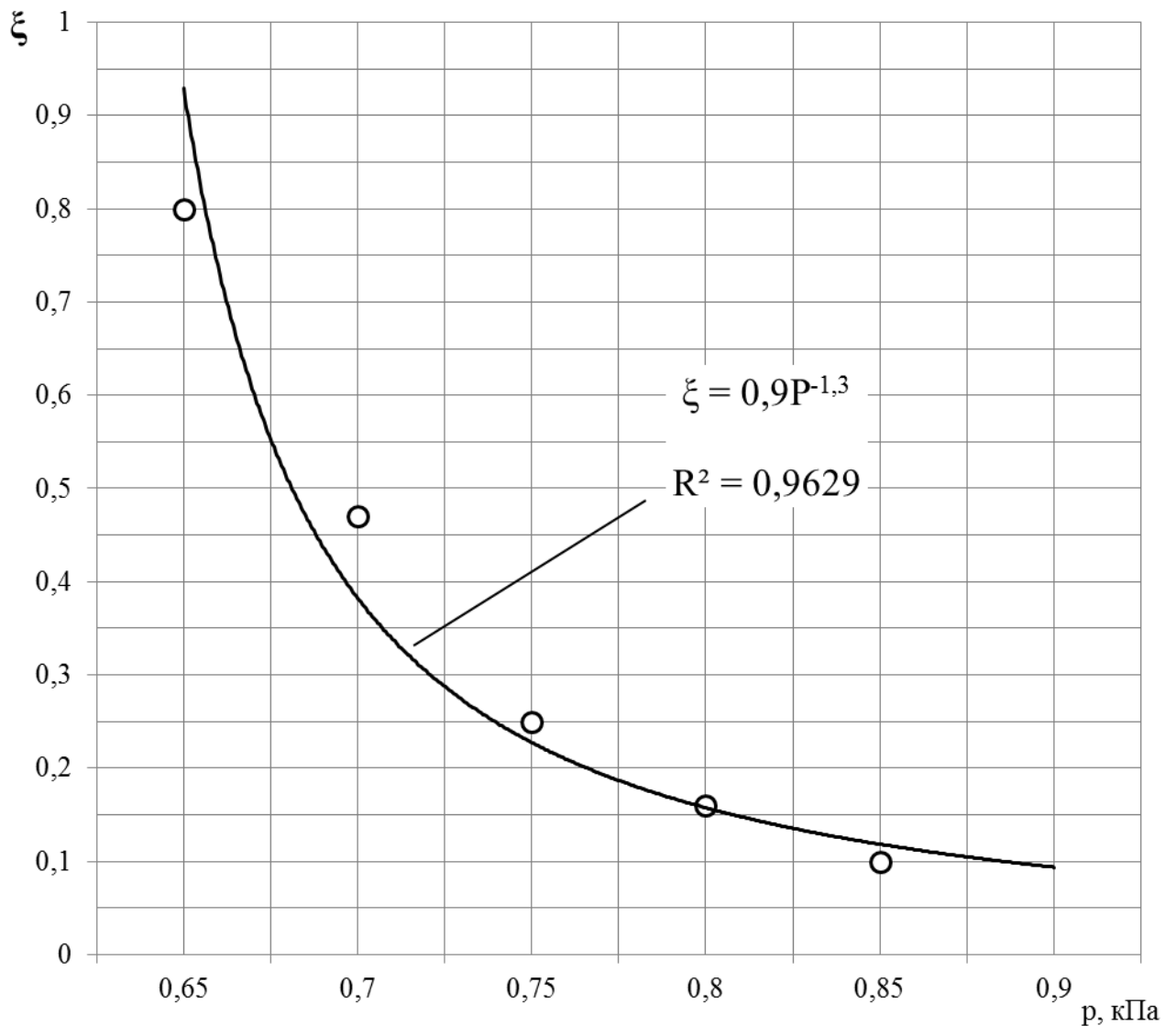


Рисунок 3.4. – Залежність пористості казеїну від величини зовнішнього тиску

Початкова пористість казеїну залежить від температури його нагріву, тобто від ступеня коагуляції частинок білка. Як помітно із графіків, при підвищенні навантаження пористість поступово знижується.

Математична залежність пористості казеїну від величини прикладеного навантаження має наступний вигляд:

$$\xi = 0,9P^{-1,3}.$$

Компресійну криву, що виражає залежності коефіцієнта пористості казеїну від тиску, приведено на рисунку 3.5.

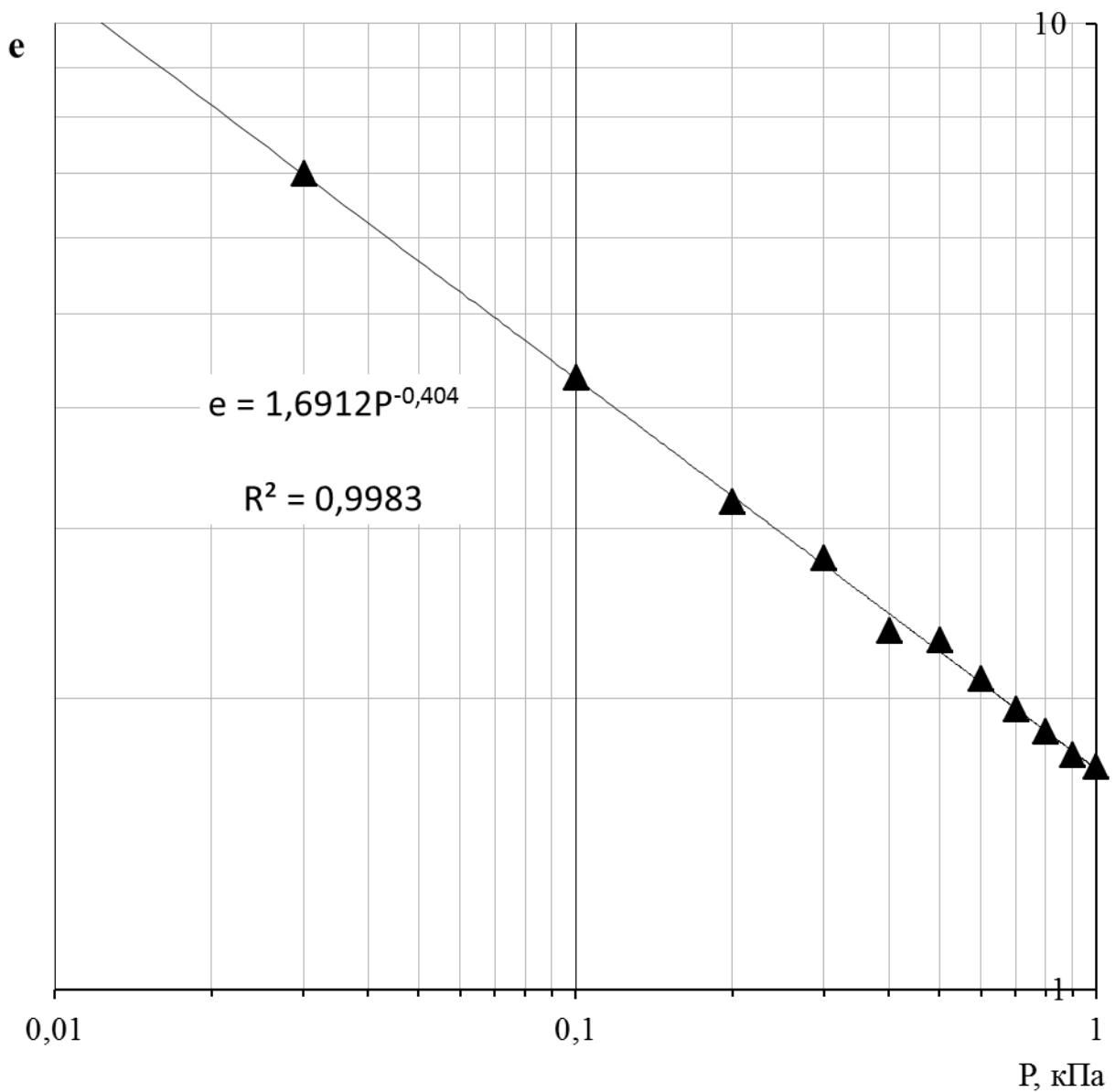


Рис. 3.5. Залежність коефіцієнта пористості казеїну від величини тиску

В логарифмічних координатах вони близькі до лінійних, що вказує на степеневу залежність між такими величинами як коефіцієнт пористості казеїну та тиском.

На рисунку 3.6. представлено графічну залежність модуля стисливості казеїну від тиску.

Залежність модуля стисливості казеїну від величини тиску пресування також можна представити математично:

$$G = 59P^{0,76}.$$

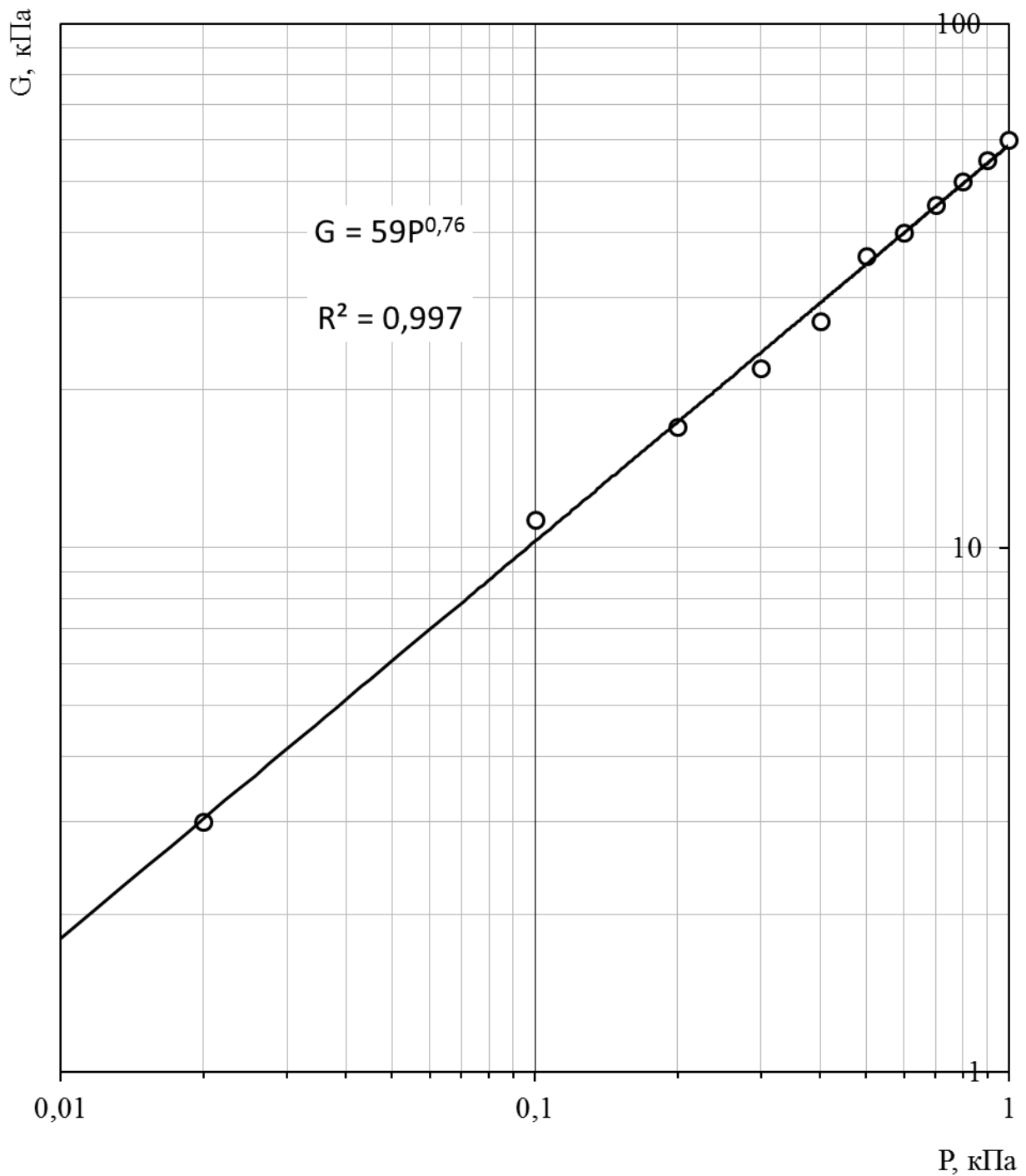


Рис. 3.6. Залежність модуля стисливості казеїну від величини тиску

Отримана залежність питомого опору фільтруванню крізь шар казеїну від тиску процесу відтиску (рис. 3.7.).

При відтиску сироватки із казеїну як на шнекових пресах так і на іншому обладнанні, що призначене для відтиску, важливими є оптимальні значення робочих тисків.

З одного боку, при недостатньому тиску значна частина сироватки на буде відведена; з іншого боку, надмірний тиск створить умови, при яких матиме місце так зване запресовування частини молочної сироватки в порах казеїну. Тому важливо щоб відтиск відбувався при тиску, який створює оптимальні умови – при яких кількість відведеної сироватки буде максимальною.

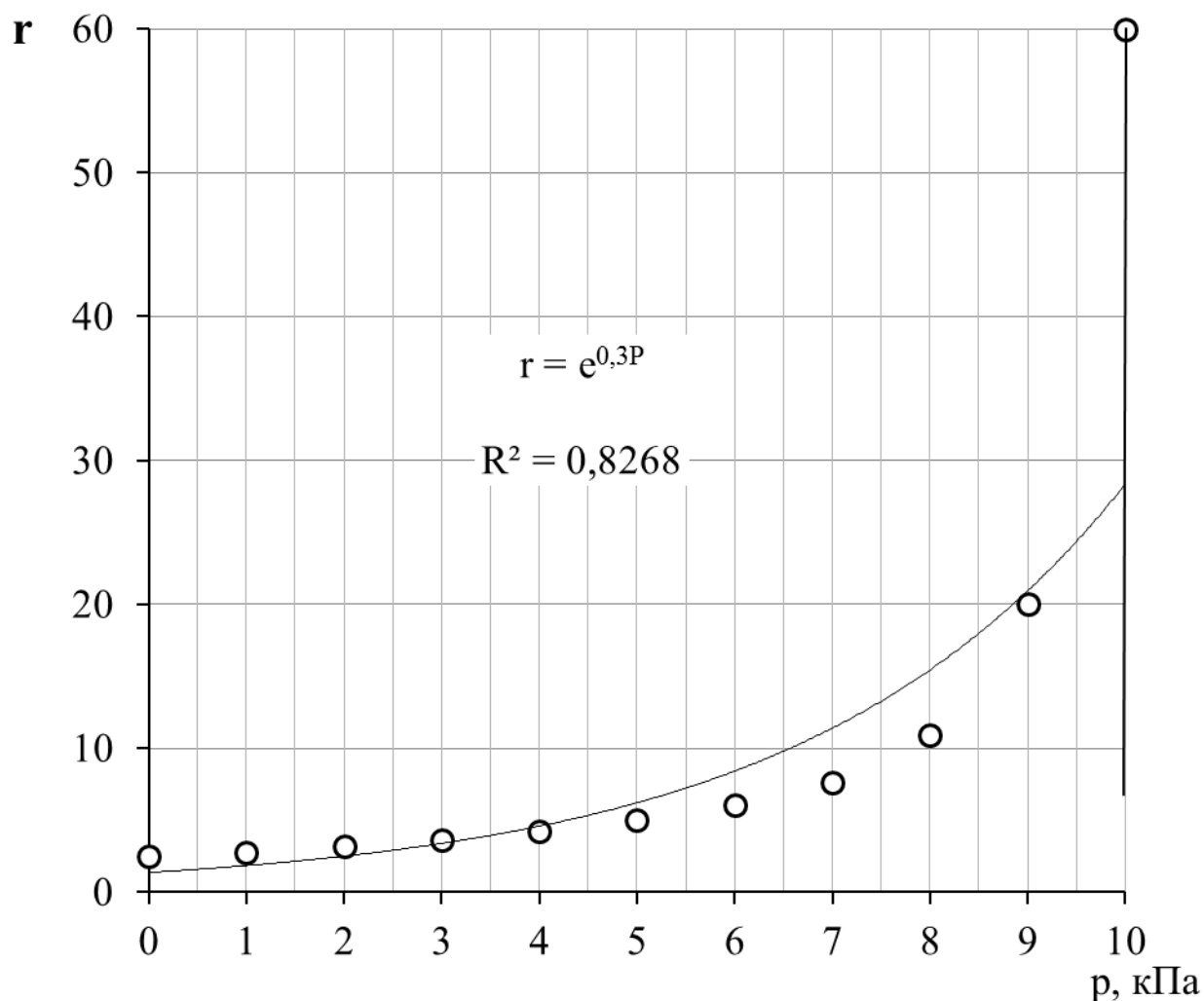


Рис. 3.7. Залежність питомого опору фільтруванню казеїну від величини зовнішнього тиску

Відповідно до отриманої залежності питомого опору фільтрування казеїну технічного від тиску (рис. 3.7.) можна запропонувати раціональні значення робочого тиску процесу відтиску (пресування): мінімальне значення

5 кПа, максимальне – 9 кПа. При таких значеннях тиску будуть створені умови для максимального відведення сироватки із пор казеїну.

3.3. Результати досліджень оптимального тиску при зневодненні білкових згустків

Коефіцієнт консолідації казеїну по суті є узагальненою характеристикою процесу формування. В процесі формування тиск у скелеті неперервно змінюється, що відображається на зміні коефіцієнту консолідації казеїну.. Максимальна швидкість його зміни буде спостерігатися в початковий момент часу, коли тиск у скелеті відносно малий.

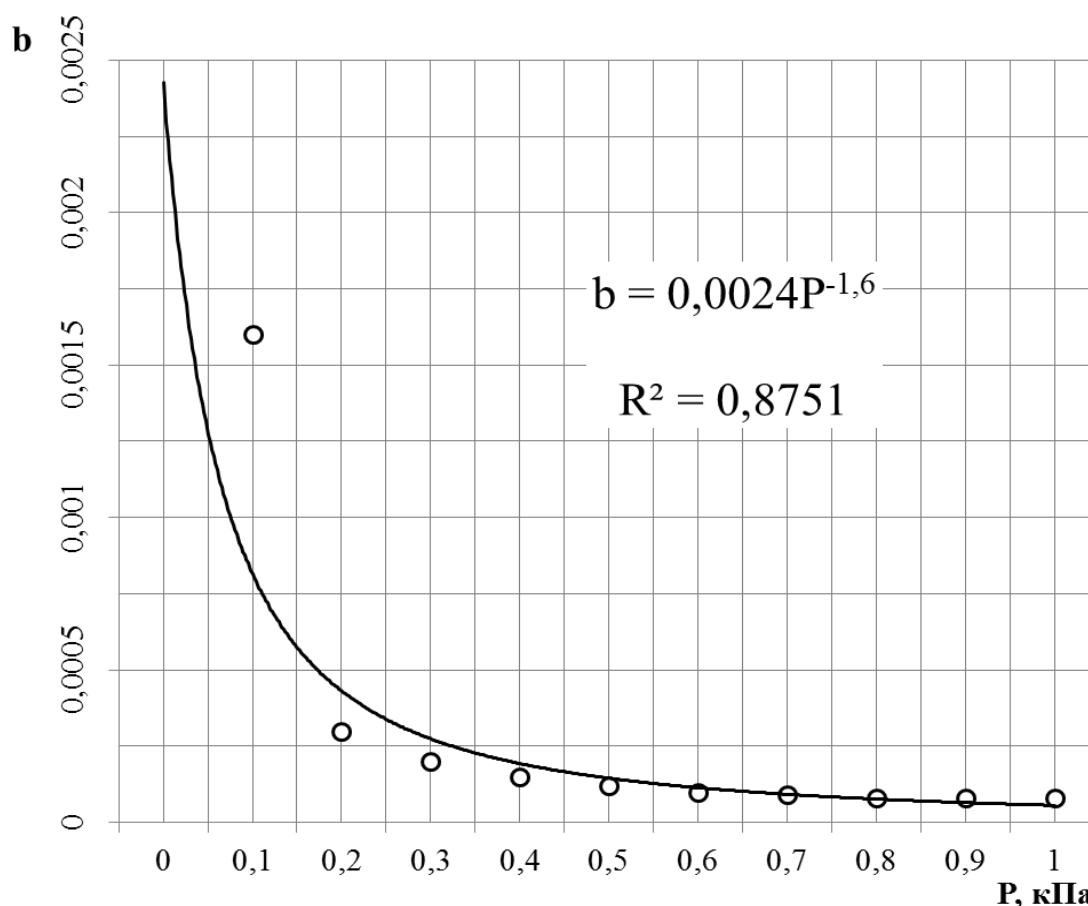


Рисунок 3.8. – Залежність коефіцієнта консолідації казеїну від величини зовнішнього тиску

Результати визначення оптимального тиску при зневодненні білкових згустків показано на рисунку 3.7., з якого помітно, що навантаження, яке

прикладене до згустку діє до 14 хв., а далі відбувається стабілізація скелету згустку та видалення сироватки майже не відбувається, одночасну вологість майже не змінюється.

Отримали степенеve рівняння, що описує залежність коефіцієнта консолідації від тиску:

$$b = \frac{2,4 \cdot 10^{-2}}{p^{1,6}}$$

3.4. Дослідження граничного напруження зсуву казеїну

При відведенні казеїну з шнекового преса порушення зв'язків можливе не по границі між шаром казеїну та поверхнею шнеку, а шляхом зсуву певної частини казеїну відносно іншої. У цьому випадку будуть порушуватися когезійні зв'язки та проходити руйнування самих частинок казеїну. Граничне напруження зсуву казеїну буде комплексно оцінювати цей процес.

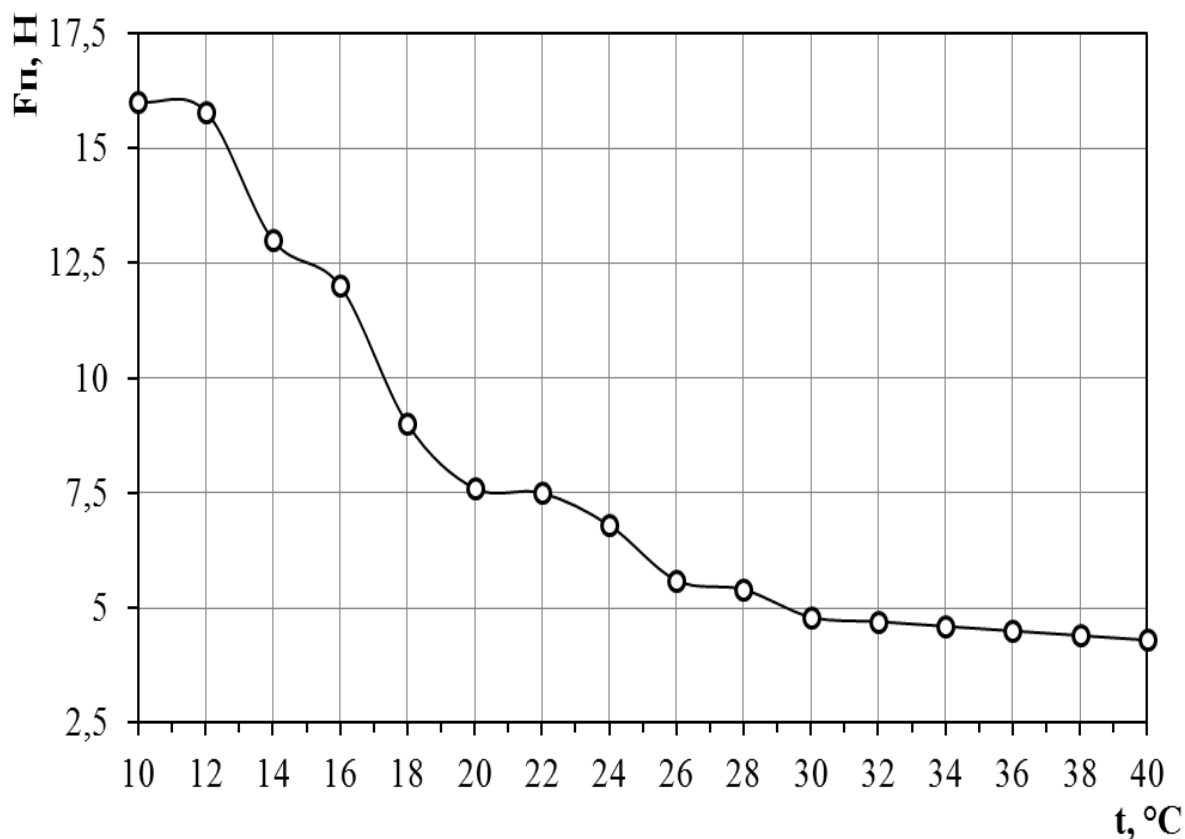


Рис. 3.9. Зусилля пенетрації при різних значеннях температури казеїну

Досліджено параметри граничного напруження зсуву в залежності від температури казеїну. Дані дослідження виконували на основі методики визначення пенетрації за допомогою дослідного комплексу «Instron». Отримано значення в залежності від температури представлені на рис. 3.9. у вигляді графіка.

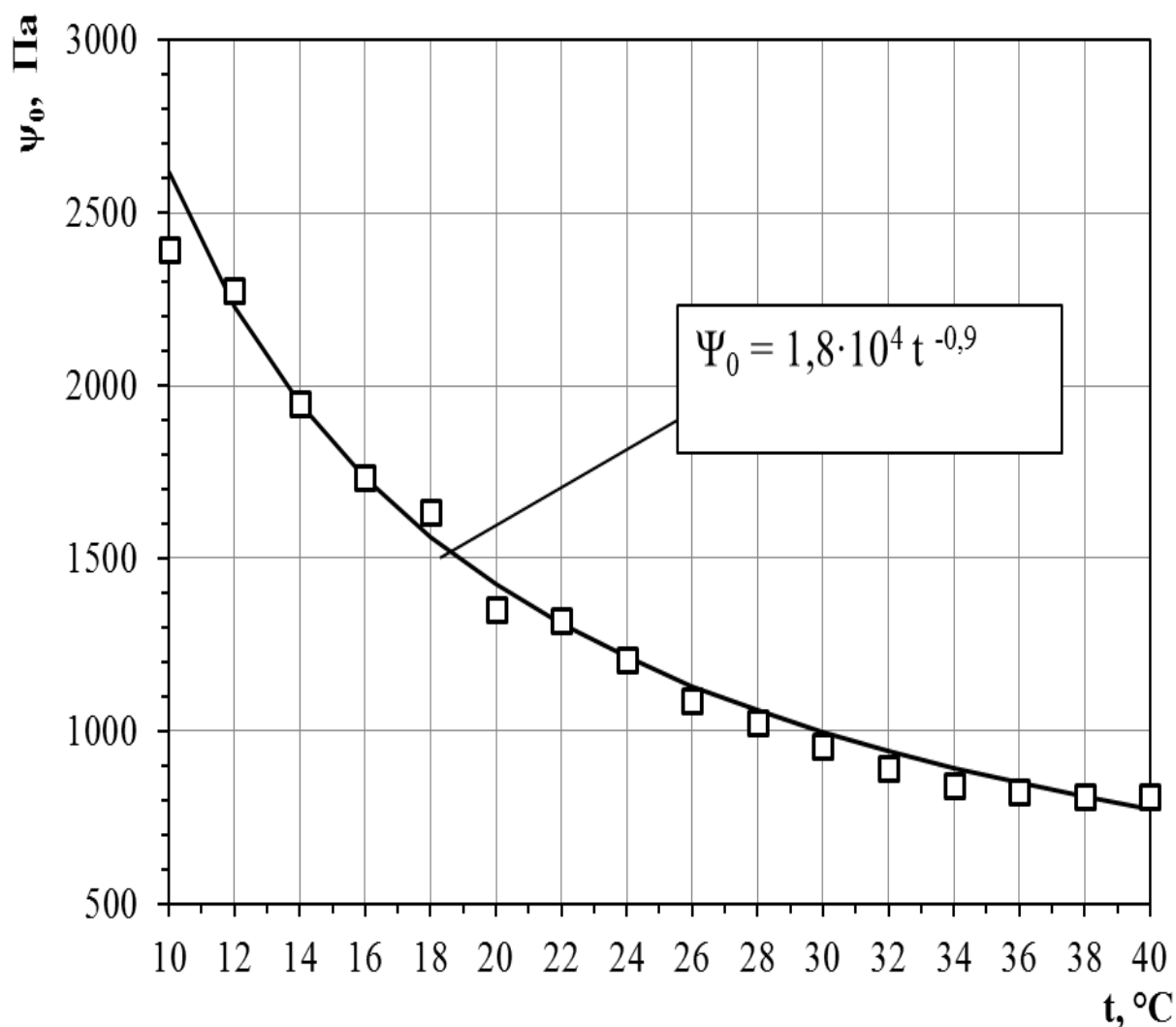


Рис. 3.10. Граничне напруження зсуву білкової дисперсної фази при різних значеннях температури

Шляхом математичної обробки отримали емпіричні залежності для визначення граничного напруження зсуву казеїну в залежності від значення температури процесу відтиску:

$$\Psi_0 = 1,8 \cdot 10^4 t^{-0,9}.$$

Дана залежність адекватно описує відповідну залежність в діапазоні температури від 10 до 40 °С.

3.5. Висновки до розділу

При відтиску сироватки із казеїну на шнекових пресах важливими є оптимальні значення робочих тисків.

Встановлено, що з одного боку, при недостатньому тиску значна частина сироватки не буде відведена; з іншого боку, надмірний тиск створить умови, при яких матиме місце так зване запресовування частини молочної сироватки в порах казеїну. Тому важливо щоб відтиск відбувався при тиску, який створює оптимальні умови, при яких кількість відведеної сироватки буде максимальною.

Встановили характер зміни деформації казеїну: деформація проходить не миттєво, а протягом деякого часу, після чого шар казеїну досягає стабілізованого шару. Тривалість консолідації залежить від товщини шару осаду, а також від ступеня його стисливості.

Близько 70% від загальної величини деформації відбувається на протязі перших 3-5 хвилин. Потім швидкість деформації шару казеїну значно сповільнюється.

Максимальна величина деформації шару казеїну після відновлення спостерігається при повному розвантаженні шару і складає 0,1-0,2 мм. Це значення залежить від товщини шару.

Математична залежність пористості казеїну від величини прикладеного навантаження має наступний вигляд:

$$\xi = 0,9P^{-1,3}.$$

Отримали залежність модуля стисливості казеїну від величини зовнішнього тиску:

$$G = 59P^{0,76}.$$

Отримали степеневе рівняння, що описує залежність коефіцієнта консолідації казеїну від тиску відтиску:

$$b = \frac{2,4 \cdot 10^{-2}}{p^{1,6}}.$$

Встановили емпіричні залежності для визначення граничного напруження зсуву казеїну в залежності від значення температури:

$$\Psi_0 = 1,8 \cdot 10^4 t^{-0,9}.$$

Запропонувати раціональні значення робочого тиску процесу відтиску, при яких будуть створені умови для максимального відведення сироватки із пор казеїну: від 5 кПа до 9 кПа.

4. РОЗРАХУНОК ВДОСКОНАЛЕНОГО ШНЕКОВОГО ПРЕСА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

В попередньому розділі на основі аналізу результатів дослідження компресійних властивостей казеїну та їх зміни в процесі відтиску у шнековому пресі були запропоновані раціональні значення тиску відтиску, що становить в межах від 5,0 кПа до 9,0 кПа.

Ці значення тиску відповідають умовам, при яких відбувається максимальне сироватки із пор казеїну. При тиску нижче 5,0 кПа не достатня кількість сироватки буде видалена із казеїну – його вологість на виході буде занадто високою. При тиску понад 9,0 кПа частина сироватки буде запресована в порах казеїну, як наслідок – казеїн на виході буде також занадто вологий.

Тому доцільно створити умови при яких тиск, що діятиме на казеїн у шнековому пресі відповідатиме максимальному значення тиску в межах допустимого, тобто 9,0 кПа.

Досягти такого значення тиску можна за рахунок встановлення певного кроку навивки шнеку. Проте крок шнека в даному випадку не має постійного значення – він зменшується в напрямку руху казеїну, що і забезпечує виникнення необхідного тиску. Мінімальне значення кроку навивки шнеку, що відповідатиме такому тиску буде становити становити 0,05 м.

Проведемо розрахунок вдосконаленого шнекового преса враховуючи значення крок навивки шнека, що відповідає тиску 9,0 кПа.

4.1. Розрахунок вдосконаленого преса

4.1.1. Загальний розрахунок продуктивності

В залежності від поставленої задачі розраховують, як правило, дійсну, теоретичну або технологічну продуктивність.

При розрахунку продуктивності визначають казеїну на воді у прес та на виході з нього. Ці дані незамінні при визначенні необхідних розмірів шнекового преса.

Продуктивність шнекового пресу для казеїну можна визначити за формулою:

$$\Pi = 0,125(D^2 - d^2) \cdot (H - \delta) \cdot (1 - K_0) \rho \cdot \psi \cdot \omega; \quad (1)$$

де D – діаметр шнека, м;

d – діаметр вала, м;

H – крок витків шнека;

δ – товщина навивки шнека в остовому напрямку по зовнішньому діаметру, м;

K_0 – коефіцієнт відставання.

Ψ – коефіцієнт заповнення міжвиткового простору шнека;

ω – кутова швидкість обертання шнека, рад/с.

Після підстановки значень у формулу (1) отримаємо:

$$\Pi = 0,125(0,125^2 - 0,06^2) \cdot (0,05 - 0,007) \cdot (1 - 0,108_0) 900 \cdot 1 \cdot 2,2 = \\ 0,125 \text{ кг/с} = 450 \text{ кг/год.}$$

4.1.2. Кінематичний розрахунок основних вузлів шнекового преса

Кінематична схема шнекового преса типу ПШ-300 складається з електродвигуна 1, від якого рух передається через вал I до двохступінчастого циліндричного редуктора, в якому розміщені на валу I зубчасті колеса 5 і 2, з відповідною кількістю зубів 64 та 20, а на валу II розміщені шестерні 6 і 7 із кількістю зубів відповідно 20 та 64.

Електродвигун, що використовується в шнековому пресі має потужність 2,2 кВт і здійснює 750 об/хв.

Крутний момент на валу визначається за формулою:

$$T_d = \frac{P}{\omega_d}; \quad (2)$$

де ω_d – кутова швидкість обертання валу електродвигуна, рад/с;
 P – потужність електродвигуна, Вт.

Або:

$$T_d = \frac{30P}{\pi n_d}; \quad (3)$$

де n_d – частота обертання валу електродвигуна, об/хв.

Підставивши відповідні дані, отримаємо значення крутного моменту на валу:

$$T_d = \frac{30 \cdot 2200}{3,14 \cdot 750} = 28,1 \text{ Н/м.}$$

Визначимо передаточне відношення двохступінчастого редуктора за наступними виразами:

$$I_1 = \frac{Z_2}{Z_1}; \quad (4)$$

де Z_1 – кількість зубів шестерні 5, шт;

Z_2 – кількість зубів шестерні 2, шт;

$$I_2 = \frac{Z_3}{Z_4}; \quad (5)$$

де Z_3 – кількість зубів шестерні 6, шт;

Z_4 – кількість зубів шестерні 7, шт.

Таким чином:

$$I_1 = \frac{64}{20} = 3,2;$$

$$I_2 = \frac{64}{20} = 3,2.$$

Загальне передаточне відношення визначимо як добуток передаточних відношень двох ступень редуктора:

$$I_{\text{заг}} = I_1 \cdot I_2; \quad (6)$$

Отримаємо:

$$I_{\text{заг}} = 3,2 \cdot 3,2 = 10,24.$$

Крутний момент на вихідному валу редуктора:

$$T_{\text{ред}} = T_{\text{д}} \cdot I_{\text{заг}}; \quad (7)$$

В нашому випадку крутний момент на вихідному валу редуктора буде становити:

$$T_{\text{ред}} = 28,1 \cdot 10,24 = 287,74 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Тепер у нас є всі необхідні дані щоб визначити частоту обертання шнека за формулою:

$$n_{\text{ш}} = \frac{n_{\text{д}}}{I_{\text{заг}}}; \quad (8)$$

Отже, визначимо:

$$n_{\text{ш}} = \frac{750}{10,24} = 71 \text{ об/хв}.$$

Таким чином частота обертання шнека преса становить 71 об/хв. Або близько 1,2 об/с.

Тепер на основі отриманих вище даних визначимо кутову швидкість обертання шнека. З цією метою можна застосувати на ступню загальновідому формулу:

$$\omega_{\text{ш}} = \frac{\pi n_{\text{ш}}}{30}; \quad (9)$$
$$\omega_{\text{ш}} = \frac{3,14 \cdot 71}{30} = 7,4 \text{ рад/с}.$$

Крутні моменти на вихідному валу редуктора та на шнеці зі зрозумілих причин є рівними:

$$T_{\text{ред}} = T_{\text{ш}} = 287,74 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (10)$$

4.2. Визначення економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів

Економічний ефект від виконання даної роботи розрахуємо виходячи з того, що підвищення ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі (під підвищенням ефективності маємо на увазі нижчу вологість казеїну на виході) дозволить зменшити затрати енергії на подальший процес сушіння. Оскільки видалення вологи із казеїну шляхом сушіння є дорожчим у порівнянні з механічним відтиском то очевидно, що робота тематика роботи є актуальною а сама робота економічно обґрунтованою.

Для визначення кількісного значення економічного ефекту порівняємо затрати енергії на зневоднення казеїну в шнековому пресі та в сушарці з псевдо зрідженим шаром (саме таке обладнання найчастіше використовується для сушіння технічного казеїну). Розрахунок проведемо для 1 кг видаленої з казеїну вологи.

Визначимо затрати енергії на видалення 1 кг вологи з казеїну в шнековому пресі за формулою:

$$E = \frac{N}{G_1 - G_2},$$

де N – затрати енергії на 1 год. роботи шнекового преса ПШ-300 (потужність електродвигуна преса), $N = 2200 \text{ Вт}$ (розділ 1, табл. 1.7.);

G_1 – продуктивність преса по вологовому казеїну (на вході),
 $G_1 = 580 \text{ кг/год}$;

G_2 – продуктивність преса по частково відтисненому казеїну (на виході),
 $G_2 = 450 \text{ кг/год}$ (розділ 1, табл. 1.7.).

Тоді отримаємо значення затрати енергії на видалення 1 кг вологи в шнековому пресі:

$$E = \frac{2200}{580 - 450} = 16,9 \text{ Вт/кг.}$$

Таким же способом визначимо витрати енергоресурсів на видалення 1 кг вологи з казеїну в сушарці. При цьому окремо визначимо затрати пари для нагрівання сушильного агента з розрахунку на 1 кг випареної з казеїну вологи та електроенергії (витрачається на живлення вентилятора та приведення в рух завантажувальних лопастей). Результати представлені в таблиці 4.1. Порівнюємо отримані дані для механічного відтиску із затратами енергії на процес сушіння.

Таблиця 4.1. Порівняння затрат енергетичних ресурсів на зневоднення казеїну

Обладнання	Витрати пари, що використовується для нагрівання сушильного агента з розрахунку на 1 кг випареної з казеїну вологи, кг/кг	Витрати електроенергії на видалення 1 кг вологи, Вт/кг
Прес шнековий типу ПШ-300	-	16,9
Сушарка марки ВС-300	0,2	100

Після приведення отриманих до однієї розмірності отримаємо, що на випаровування 1 кг вологи витрачається близько $2,3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії. За умов, якщо відтиск казеїну відбувається в шнековому пресі а його

подальше сушіння в установці із псевдо зрідженим шаром (наприклад марки ВС-150), зменшення вологості казеїну на виході із пресу навіть на 1% дозволить заощадити близько $3 \cdot 10^7$ теплової енергії за 1 годину роботи установки для сушіння.

4.3. Висновки до розділу

Економічний ефект від впровадження запропонованих раціональних значень тиску, з точки зору підвищення ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі, обумовлений зменшенням затрати енергії на подальший процес сушіння, оскільки робота пресу при вказаних тисках дозволить забезпечити більш повне відділення сироватки з казеїну. Це в свою чергу знизить затрати енергії на виробництво казеїну, оскільки видалення вологи із казеїну шляхом сушіння є значно дорожчим у порівнянні з механічним відтиском.

Встановили, що зменшення частки вологи в казеїні на виході із шнекового пресу навіть на 1%, дозволить заощадити близько $3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії за 1 годину роботи установки для сушіння.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці

5.1.1 Аналіз умов праці в галузі

Умови праці це сукупність факторів виробничого середовища, які впливають на здоров'я і працездатність людини в трудовому процесі. Ці фактори поділяють на шкідливі і небезпечні. Вплив шкідливих факторів на працюючих в певних умовах приводить до травми або іншого різкого погіршення здоров'я, а небезпечних до захворювання або зниження працездатності.

Фактори відрізняються не тільки кінцевими, несприятливими для людини результатами, що залежать від рівня виробничого фактора, але і тривалістю дії. Для небезпечного фактора характерне миттєва, а для шкідливого – довготривала дія, але в ряді випадків шкідливі наслідки, викликані короткотривалою дією шкідливого фактора розглядаються на рівні з травмами, розслідуються і облікуються як небезпечні випадки на виробництві. До них відносяться: гострі отруєння, теплові удари, обмороження а також ураження блискавкою на виробництві.

Вплив на людину шкідливого фактора може привести до травми, наприклад, одноманітна праця, через одноманітні операції настає втома, що приводить до зниження працездатності і уваги.

Останнє в травмонебезпечних ситуаціях може привести до невчасно прийнятого правильного або прийняттю неправильного рішення і закінчиться травмою. За природою дії шкідливі і небезпечні фактори поділяють на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Вплив на людину шкідливого фактора може привести до травми, наприклад: через одноманітні операції настає втома, що приводить до зниження працездатності і уваги. Останнє в травмонебезпечних ситуаціях може привести до невчасно прийнятого правильного або прийняттю

неправильного рішення і закінчитись травмою. За природою дії шкідливі і небезпечні фактори поділяють на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Фізичні фактори: рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи обладнання, рухомі вироби, заготовки і матеріали; підвищена або знижена температура поверхні обладнання, матеріалів повітря робочої зони; вологість і рухомість повітря; небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі; підвищений рівень шуму, вібрації, інфрачервоного і ультразвуку; підвищення або нестача природного освітлення, відсутність світла, недостатнє освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла, блиск, підвищена пульсація світлового потоку; гострі краї, шорсткості на поверхні обладнання, інструмента заготовок; розміщення робочих місць на значній висоті від підлоги; підвищений рівень УФ і ІЧ радіації; електромагнітні випромінювання, статична електрика; підвищена напруга електромагнітних полів; підвищена або знижена іонізація повітря; підвищений рівень іонізуючого випромінювання в робочій зоні; підвищений або знижений барометричний тиску в робочій зоні і його різка зміна.

Для хлібопекарних, макаронних, кондитерських, цукрових, бродильних виробництв характерними є більшість із наведених шкідливих і небезпечних факторів. Наприклад: на хлібозаводах в багатьох випадках зовнішня поверхня печей перевищує температуру допустиму за санітарну норму 45°C, а температура газовідвідних каналів і труб через відсутність ізоляції становить 55-245°C. В приміщеннях багатьох підприємств виділяється пара. Температура повітря в літній час в ряді випадків на робочому місці складає 30 - 38°. Печі є джерелом ІЧ радіації.

Хімічні фактори. Речовини, які проникають в організм людини через дихальні шляхи, шкіру чи травну систему можуть виявляти загально токсичне; подразнюючу слизові носа, рота, очей; алергічну; мутагенну дії, а також впливати на репродуктивну функцію людини. На виробництвах харчової промисловості фактори цієї групи мають достатньо широке

розповсюдження при технічних процесах (видалення сірчаного газу, оксидів азоту з печей, диму і шкідливих речовин при підгорянні масла або продукції, CO₂ при обмороженні та інші).

Біологічні фактори. Поділяються на хвороботворні мікроорганізми і макроорганізми перші проникають в вигляді бактерій, вірусів, риккетсій, бактеріоподібні нерухомі організми що викликають інфекційні захворювання, спірохет, грибів і найпростіших.

Мікроорганізми поділяють на організми рослинного, і тваринного походження. Ці фактори зустрічаються в цукрових, хлібопекарських і бродильних виробництвах.

Психофізіологічні фактори. Поділяють на фізичні і нервово-психологічні перевантаження перші включають статичні, динамічні, навантаження гіподинамію. М'язові статичні навантаження особливо погано впливають на працездатність. Вони поділяються на легкі (людина у вільній позі), середні (якщо вимушена поза складає 10-25% часу зміни), тяжкі (вимушена поза 50%) і дуже тяжкі >50%. Психоневрологічні перевантаження поділяють на розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

До професійних захворювань відносять захворювання які виникають при дії на працюючих специфічних для даної професії шкідливих виробничих факторів, а також захворювання які зустрічаються серед контактуючих з цими факторами людей на роботі частіше ніж при інших умовах. До них відносяться захворювання що є наслідком ускладнень, прямих наслідків або різкого погіршення яких-небудь інших захворювань, що самостійно не носять професійного характеру, але викликані професійним захворюванням.

Професійні захворювання розвиваються в результаті більш або менш тривалого періоду роботи протягом якого в організмі під дією шкідливих факторів нагромаджується критична маса токсичної чи шкідливої речовини (газу, пари, пилу) а також якщо в ньому проходять поступові зміни

фізіологічних функцій окремих органів системи (шум, вібрація, мікроорганізми, фізичні чи емоційні перевантаження).

Період нагромадження цих змін до моменту прояву називають періодом прихованого розвитку професійного захворювання. Він може складати 1-2 або навіть 20-30 років. При використанні на виробництві професійних заходів. Професійні захворювання можуть не проявитися протягом усього стажу роботи.

У випадку встановлення у працівника професійного захворювання йому можуть назначити допомогу по тимчасовій непрацездатності, пенсію по інвалідності, а також може розглядатися питання про компенсацію підприємством збитків здоров'ю.

5.1.2. Огляд заходів поліпшення стану виробничого середовища

Вимоги безпеки технічних процесів закладаються при їх проектуванні. Тому облік вимог безпеки при розробці і здійсненні технічних процесів має велике профілактичне значення для попередження виробничого травматизму. Безпека виробничих процесів забезпечується комплексом проектних і організаційних рішень, які передбачають відповідний вибір технічних процесів, робочих операцій і порядку обслуговування обладнання; виробничого обладнання і умов його розміщення; способу зберігання і транспортування вихідних матеріалів, заготовка напівфабрикатів і готової продукції, а також видалення відходів виробництв; засобів захисту працюючих. Велике значення має правильний розподіл функцій між людиною і обладнанням з метою зменшення важкості і напруженості трудового процесу, забезпечення його безпеки. Виробничі процеси мають бути пожежно і вибухо безпечними, а також не повинні забруднювати середовище викидами шкідливих речовин і не бути джерелами шкідливих фізичних факторів (шуму, вібрації і т.д.). Технологічні процеси виробництв дуже різноманітні, однак є ряд загальних вимог здійснення яких сприяє їх безпеці, а саме:

- усунення безпосереднього контакту людей з вихідними речовинами, матеріалами і відходами виробництв, що впливають на працівників шкідливо;

- зміна технологічних процесів і операцій пов'язаних з виникненням шкідливих і небезпечних факторів, процесами і операціями, на яких ці фактори відсутні або можливість їх прояву мінімальна;

- використання дистанційного управління усунути неможливо; - забезпечення герметизації і теплоізоляції виробничого обладнання, проведення процесів під вакуумом зо запобігає видаленню шкідливих речовин в робочу зону;

- оснащення обладнання засобами колективного захисту працюючих від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів;

- заміна складних багатостадійних процесів чи шкідливого фактора більш безпечними і простими, шляхом усунення побічних та небезпечних операцій. перехід від періодичного процесу до безперервного;

- використання систем безперервного контролю і управління технологічними процесами;

Захист та засоби щодо колективного та індивідуального захисту працюючих.

Засіб захисту на виробництві – засіб, застосування якого включає або знижує дію на одного або декількох працюючих небезпечних або шкідливих виробничих факторів. Засіб колективного захисту призначений для одночасного захисту двох і більше працівників.

Засіб індивідуального захисту призначений для захисту одного працівника.

Безпечна відстань - найменша допустима відстань між працівником і джерелом небезпеки, необхідна для забезпечення безпеки працюючого.

Небезпечна зона - простір, в якому можлива для працівника небезпечного або шкідливого виробничого фактора, який існує на виробничому місці, за його межами або з'являється через певний період

роботи машини, обладнання, механізмів. Розмір небезпечних зон залежить від виду, характеру дії, властивостей та характеристик небезпечних факторів. Небезпечні зони бувають постійними і змішаними (зона роботи підйомного крану, екскаватора, навантажувачів). В окремих випадках небезпечна зона може мати чітко визначені межі (переміщення складу хімічних речовин, резервуар) або змінюватись залежно від інших умов і факторів. При зменшенні температури повітря тіло людини втрачає тепло, як наслідок - різні захворювання. Переохолодженню сприяє надмірна вологість і швидкість повітря понад 0,56-0,8 м/с.

ВИСНОВКИ

При відтиску сироватки із казеїну на шнекових пресах важливими є оптимальні значення робочих тисків.

Встановлено, що з одного боку, при недостатньому тиску значна частина сироватки не буде відведена; з іншого боку, надмірний тиск створить умови, при яких матиме місце так зване запресовування частини молочної сироватки в порах казеїну. Тому важливо щоб відтиск відбувався при тиску, який створює оптимальні умови, при яких кількість відведеної сироватки буде максимальною.

Встановили характер зміни деформації казеїну: деформація проходить не миттєво, а протягом деякого часу, після чого шар казеїну досягає стабілізованого шару. Тривалість консолідації залежить від товщини шару осаду, а також від ступеня його стисливості.

Близько 70% від загальної величини деформації відбувається на протязі перших 3-5 хвилин. Потім швидкість деформації шару казеїну значно сповільнюється.

Максимальна величина деформації шару казеїну після відновлення спостерігається при повному розвантаженні шару і складає 0,1-0,2 мм. Це значення залежить від товщини шару.

Математична залежність пористості казеїну від величини прикладеного навантаження має наступний вигляд:

$$\xi = 0,9P^{-1,3}.$$

Отримали залежність модуля стисливості казеїну від величини зовнішнього тиску:

$$G = 59P^{0,76}.$$

Отримали степеневе рівняння, що описує залежність коефіцієнта консолідації казеїну від тиску відтиску:

$$b = \frac{2,4 \cdot 10^{-2}}{P^{1,6}}.$$

Встановили емпіричні залежності для визначення граничного напруження зсуву казеїну в залежності від значення температури:

$$\Psi_0 = 1,8 \cdot 10^4 t^{-0,9}.$$

Запропонувати раціональні значення робочого тиску процесу відтиску, при яких будуть створені умови для максимального відведення сироватки із пор казеїну: від 5 кПа до 9 кПа.

Економічний ефект від впровадження запропонованих раціональних значень тиску, з точки зору підвищення ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі, обумовлений зменшенням затрати енергії на подальший процес сушіння, оскільки робота пресу при вказаних тисках дозволить забезпечити більш повне відділення сироватки з казеїну. Це в свою чергу знизить затрати енергії на виробництво казеїну, оскільки видалення вологи із казеїну шляхом сушіння є значно дорожчим у порівнянні з механічним відтиском.

Встановили, що зменшення частки вологи в казеїні на виході із шнекового пресу навіть на 1%, дозволить заощадити близько $3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії за 1 годину роботи установки для сушіння.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кравець О.І. Дослідженням процесу відтиску технічного казеїну / О.І. Кравець, Д.П. Шок // зб. тез доп. ІХ Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 лист. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 163.
2. Промышленная переработка вторичного молочного сырья / А.Г. Храмцов, К.К. Полянский, С.В. Васи́син, П.Г. Нестеренко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1986. – 138с.
3. Власенко В.В. Технологія виробництва і переробки молока та молочних продуктів / В.В. Власенко, М.І. Машкін, П.П. Бігун – Вінниця: ГПАНІС, – 2000. – 306с.
4. Технология молока и молочных продуктов : учебник для вузов / Г. Н. Крусь [и др.] ; под ред. А. М. Шалыгиной. – М.: КолосС, 2004. – 455с.
5. Павлюк Р.Ю. Інноваційні технології функціональних тонізуючих напоїв та дресінгів з використанням молочної сироватки та наноструктурованого плодовоовочевого пюре / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, А.А. Берестова, Т.В. Крячко, В.В. Лавриненко. // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій». – 2010. – № 38. – Том 2. – С.239-244.
6. А.Ф. Зябрев. Переработка сыворотки – путь к созданию эффективного молочного производства / Зябрев А.Ф., Кравцова Т.А., Горячий Н.В., Сидоркин И.А. // Переработка молока. – 2011. – №8. – С.10-11
7. Євпланов А.П. Доход вместо штрафа [Електронний ресурс]: Российская Бизнес-газета. – 2010. – №771 (38). – Режим доступу: <http://www.rg.ru/2010/10/12/syvorotka.html>

8. Кравченко Э.Ф. Экологические и экономические аспекты переработки молочной сыворотки. / Э.Ф. Кравченко // Молочная промышленность. – 2006. – №6. – С.20-21.
9. 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.
10. Храмов А. Г. Рациональная переработка и использование белково-углеводного молочного сырья / А. Г. Храмов, П. Г. Нестеренко – М.: Молочная промышленность, 1998. – 105с.
11. Дослідження компресійно-фільтраційних характеристик сирів з підплавлення сирної маси / Шинкарик М., Єресько Г, Формазюк Л., Ворощук В. // Наукові праці українського державного університету харчових технологій. – 2003. – №10 С. 111-114.
12. 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.
13. Сеньо П.С. Теорія ймовірностей та математична статистика: підручник. / П.С. Сеньо – К.: Знання, 2007. – 556с.
14. Кармелюк Г. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: посібник з розв'язування задач. / Г. І. Кармелюк – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 576с.
15. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 332с.
16. Гусак А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак,
17. Е. А. Бричикова. – Минск.: ТетраСистемс, 2009. – 640с.
18. Исаев Н.Н. Прессование дисперсных продуктов с заданной степенью осадки. Изв. вузов. – Пищевая технология. – 1977. – №5 – 102с.

19. Shirato M.A. et. al. Calculation of consolidation period in expression operation. Engng Japan, 1974. T.13. – №4. – P.229.
20. Raghavan G.S.V. Physical and hydraulic characteristics in compacted clay soils / G.S.V. Raghavan, E. McKyes // Journal of Terramechanics. – 1983. – V. 19, № 4. – P. 235-242.
21. Shirato M.A. et. al. Calculation of consolidation period in expression operation. Engng Japan, 1974. T.13. – №4. – P.229.
22. Raghavan G.S.V. Physical and hydraulic characteristics in compacted clay soils / G.S.V. Raghavan, E. McKyes // Journal of Terramechanics. – 1983. – V. 19, № 4. – P. 235-242