

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення конструкції шнекового преса для казеїну марки
ПШ-300.

Виконав: здобувач вищої
освіти

6 курсу, групи МОм-61

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Кравчук А.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кравець О.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

В.о. зав. кафедри

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Кухтин М.Д.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри ОХ
Ворощук В.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

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

здобувачу вищої освіти Кравчуку Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення конструкції шнекового преса для казеїну марки ПШ-300

Керівник роботи Кравець Олег Ігорович, к.т.н. доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від 12.12.2025р № 4/7-998

2. Термін подання завершеної роботи 26 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації, монтажу та технічного обслуговування і ремонту шнекового преса для казеїну марки ПШ-300

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз сучасного стану виробництва казеїну, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.
2. Методи досліджень. Методи визначення компресійно-фільтраційних характеристик. Розробка методики визначення оптимального тиску при зневодненні казеїну
3. Результати дослідження процесу зневоднення казеїну в шнековому пресі.
4. Розрахунок вдосконаленого шнекового преса
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Шнековий прес для казеїну марки ПШ-300. Вигляд загальний, 1 лист ФА1
Деталювання. 1 лист ФА1

Схема установки для дослідження компресійно-фільтраційних характеристик, 1 лист ФА1

Графік залежності коефіцієнтів пористості та стисливості від тиску, 1 лист ФА1

Залежність питомого опору фільтруванню від тиску, 1 лист ФА1

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 Стручок В.С. – ст. викладач		
Нормоконтроль	Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітки
1.	Вступ	до 01.10.2025р.	
2.	1. Аналіз сучасного стану виробництва казеїну, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.	до 15.10.2025р.	
3.	2. Методи визначення компресійно-фільтраційних характеристик.	до 25.10.2025р.	
4.	3. Результати дослідження процесу зневоднення казеїну в шнековому пресі.	до 01.11.2025р.	
5.	4. Розрахунок вдосконаленого шнекового преса	до 05.11.2025р.	
6.	5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	до 10.11.2025р.	
7.	Загальні висновки	До 13.11.2025р.	
	Графічна частина		
8.	Шнековий прес для казеїну марки ПШ-300. Вигляд загальний, 1 лист ФА1	до 15.11.2025р.	
9.	Деталювання. 1 лист ФА1	до 20.11.2025р.	
10.	Схема установки для дослідження компресійно-фільтраційних характеристик, 1 лист ФА1	до 20.11.2025р.	
11.	Графік залежності коефіцієнтів пористості та стисливості від тиску, 1 лист ФА1	до 25.11.2025р.	
12.	Залежність питомого опору фільтруванню від тиску, 1 лист ФА1	до 25.11.2025р.	
13.			

Здобувач

(підпис)

Кравчук А.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кравець О.І.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Кравчук Андрій Сергійович. Удосконалення конструкції шнекового преса для казеїну марки ПШ-300.

Кваліфікаційна робота зосереджена на вдосконаленні шнекового преса для казеїну марки ПШ-300, а саме на підвищенні ефективності відтиску в шнековому пресі та зменшенні витрат енергії на подальший процес сушіння казеїну.

У роботі наведено результати дослідження компресійно-фільтраційних характеристик технічного казеїну та особливостей їх зміни в процесі його оброблення у шнековому пресі. Визначили залежність модуля стисливості від тиску. Встановили рівняння залежності коефіцієнту консолідації від тиску процесу відтиску. Отримали залежності для розрахунку граничного напруження зсуву у залежності від температури казеїну.

На підставі проведених досліджень обґрунтовано раціональні значення тиску процесу відтиску, за яких досягається більш ефективне видалення молочної сироватки.

Ключові слова: казеїн, відтиск, вдосконалення, компресійні властивості.

Abstract

Kravchuk Andrii Serhiiovych. *Improvement of the Design of the PSH-300 Screw Press for Casein.*

The qualification work is focused on improving the PSH-300 screw press for casein, in particular on increasing the efficiency of expression in the screw press and reducing energy consumption in the subsequent process of casein drying.

The paper presents the results of a study of the compression–filtration characteristics of technical casein and the specific features of their variation during processing in a screw press. The dependence of the compressibility modulus on pressure was determined. An equation describing the dependence of the consolidation coefficient on the pressure of the expression process was established. Dependencies were obtained for calculating the limiting shear stress as a function of casein temperature.

Based on the conducted studies, rational values of the expression process pressure were substantiated, at which more efficient removal of whey is achieved.

Keywords: casein, expression, improvement, compression properties.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Аналіз сучасного стану виробництва казеїну, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.....	10
1.1. Огляд сучасний стану виробництва казеїну	10
1.2. Основні процеси виробництва.....	11
1.3. Екологічний ефект виробництва казеїну.....	15
1.4. Шляхи підвищення ефективності зневоднення казеїну	16
1.5. Аналіз вихідної інформації	19
1.6. Техніко-економічне обґрунтування	21
1.7. Мета та основні завдання.....	21
2. Методи досліджень	23
2.1. Методи визначення компресійно-фільтраційних характеристик.....	23
2.2. Розробка методики визначення оптимального тиску при зневодненні казеїну	27
3. Результати дослідження процесу зневоднення казеїну в шнековому пресі	29
3.1. Теоретичні нюанси зневоднення молочно-білкових згустків.....	29
3.3. Результати досліджень оптимального тиску при зневодненні білкових згустків.....	40
3.5. Висновки до розділу	43
4. Розрахунок вдосконаленого шнекового преса.....	45
4.1. Розрахунок шнекового преса ПШ-300	46
4.1.1. Визначення продуктивності.....	46
4.1.2. Кінематичний розрахунок	46
4.2. Економічний ефекту від запропонованих заходів.....	49
4.3. Висновки до розділу	51
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	52
5.1. Охорона праці.....	52

5.1.1 Аналіз умов праці в галузі.....	52
5.1.2. Вимоги пожежної безпеки до будівель, споруду приміщення.гляд заходів поліпшення стану виробничого середовища	55
5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	59
5.2.1. Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій	59
5.2.2. Основні задачі підвищення стійкості переробних підприємств.....	63
Загальні висновки.....	66
Перелік посилань.....	68
Додатки.....	71
Специфікації	74

ВСТУП

Актуальність теми

Проблема зниження енергоємності технологічних процесів посідає провідне місце серед актуальних напрямів розвитку харчової промисловості на сучасному етапі. Для даної галузі характерний значний рівень споживання енергетичних ресурсів, що обумовлено широким застосуванням теплових, гідромеханічних і масообмінних операцій, зокрема процесів нагрівання, охолодження, пастеризації, випарювання, сушіння та механічного видалення вологи з сировини. За умов подорожчання енергоносіїв, посилення екологічних вимог і необхідності забезпечення стабільної роботи виробничих систем питання енергоефективності набуває особливої науково-практичної значущості.

Важливою умовою зниження енергоємності є впровадження ресурсозберігаючих технологічних рішень та інтенсифікація перебігу основних процесів. Це досягається шляхом удосконалення конструктивних параметрів технологічного обладнання, застосування прогресивних способів підведення та використання енергії, оптимізації режимів тепло- і масообміну, а також використання систем утилізації та рекуперації вторинних енергетичних ресурсів. Значний резерв підвищення енергоефективності полягає у поєднанні механічних і теплових методів оброблення сировини, що дозволяє істотно зменшити витрати енергії на найбільш енергоємних стадіях технологічного процесу.

Особливої актуальності проблема зниження енергоємності набуває для процесів зневоднення та сушіння, які визначають загальний рівень енергоспоживання виробництва. Обґрунтований вибір способів попереднього зневоднення, оптимізація параметрів роботи обладнання та використання комбінованих технологічних схем створюють передумови для істотного

скорочення загальних енергетичних витрат без погіршення показників якості готової продукції.

Таким чином, зменшення енергоємності технологічних процесів у харчовому виробництві є складним науково-технічним завданням, вирішення якого забезпечує підвищення економічної ефективності підприємств, зниження екологічного навантаження та формування науково обґрунтованих підходів до подальшої модернізації галузі.

Мета і завдання роботи

Метою роботи є вдосконалення роботи шнекового преса для казеїну шляхом визначення раціональних параметрів тиску під час процесу відтиску.

Для досягнення цієї мети були поставлені та виконані наступні завдання:

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

Об'єкт дослідження – процес зневоднення казеїну

Предмет дослідження – залежність компресійних властивостей та вологості казеїну від тиску процесу.

Наукова новизна отриманих результатів

Встановили рівняння залежності коефіцієнту консолідації від тиску процесу відтиску

Практичне значення

Підвищенні ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі та зменшенні витрат енергії на подальший процес сушіння. Зменшення вологості казеїну на виході з шнекового пресу на 1% забезпечує економію близько $3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії за одну годину роботи сушильної установки.

1. Аналіз сучасного стану виробництва казеїну, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження

1.1. Огляд сучасний стану виробництва казеїну

Білкові речовини становлять ключову з позицій харчової та біологічної цінності фракцію молока. Сумарна концентрація білків у ньому сягає близько 3,2 %, при цьому частка казеїнових білків становить орієнтовно 2,7 %, альбумінів — приблизно 0,4 %, а глобулінів — близько 0,12 % [1]. У молочній системі казеїн перебуває у вигляді кальцієвого комплексу та за своєю природою належить до класу складних білкових сполук — фосфопротеїнів.

Упродовж кількох останніх десятиліть фіксується стабільне зростання потреби у різних формах казеїну. Випуск цієї продукції в індустріально розвинених країнах відзначається високим рівнем виробничої концентрації, що зумовило формування міжнародного поділу праці у даній галузі. На сучасному етапі окремі держави спеціалізуються на виробництві та експорті казеїну, тоді як інші орієнтовані на його імпорт із подальшим використанням у харчовому та технічному напрямках. Домінуючі позиції на світовому ринку займають Нова Зеландія, Аргентина, Австралія та Франція, сукупна частка яких сягає майже 90 % загального обсягу світового виробництва і поставок цього продукту.

В умовах України також спостерігається поступове зростання масштабів виробництва казеїну. Разом із тим значна частина вітчизняних підприємств продовжує використовувати періодичні технологічні схеми, що передбачають застосування сироробних ванн і здійснення коагуляції білкових фракцій у сквашеній сироватці.

Недостатня оптимізація параметрів окремих етапів технологічного циклу нерідко зумовлює отримання продукції, яка поступається аналогам за низкою якісних характеристик, зокрема за масовою часткою зольних компонентів, лактози, жиру й білка, а також за показником вільної кислотності

[2]. Підвищення рівня цих показників можливе за рахунок інтенсифікації масообмінних процесів, насамперед шляхом прискорення дифузійного перенесення лактози, мінеральних солей, молочної кислоти та жирових компонентів із казеїнового зерна у рідку фазу.

Реалізація зазначених підходів забезпечує одержання казеїну з покращеними якісними характеристиками та високим ступенем відповідності сучасним вимогам.

1.2. Основні процеси виробництва

Відповідно до прийнятої класифікації казеїн відносять до категорії молочно-білкових концентратів. Отримання таких продуктів ґрунтується на процесах вилучення з початкової сировини водної фази, мінеральних сполук і лактози, що супроводжується істотним зростанням частки білкових компонентів у готовому продукті.

Таблиця 1.1. Вміст білків та інших речовин у різних продуктах [2]

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 вихідну сировину для виробництва казеїну використовують коров'яче молоко або молочну сироватку. При формуванні молочно-білкових концентратів визначальне значення має концентрація білкових речовин у

початковому матеріалі, тобто його білковмісність, кількісні показники якої наведено в табл. 1.1.

Аналіз наведених показників свідчить, що пахта та знежирене молоко істотно перевищують цільне молоко за рівнем вмісту білкових фракцій. Водночас молочна сироватка також характеризується відносно високою концентрацією білків, частка яких становить близько 16,9 % від загальної маси.

Сировинні ресурси з підвищеною білковою насиченістю вирізняються високою харчовою та біологічною цінністю і мають збалансований склад компонентів, необхідних для забезпечення нормального функціонування організму людини.

Таблиця 1.2. Вміст сироватки [2]

Компонент	Основний продукт		
	кисломолочний сир	твердий сир	казеїн технічний
Масова частка сухих речовин, % в тому числі	4,2–7,7	4,5–7,5	4,50–7,5
лактоза	3,2–5,1	3,90 – 4,90	3,2–5,2
мін.речовини	0,05–0,4	0,05–0,5	0,02–0,1
білок	0,5– 1,4	0,5–1,1	0,5–1,5
жир	0,5–0,8	0,3–0,8	0,3–0,90

Важливе місце у технологічних схемах отримання казеїну посідає молочна сироватка. З огляду на те, що вона формується як побічний продукт у процесі виробництва низки молочних продуктів, її залучення до виробництва казеїну є раціональним з точки зору впровадження ресурсозберігаючих і

безвідходних технологій. Фізико-хімічні характеристики та хімічний склад молочної сироватки визначаються типом казеїну, при виготовленні якого вона утворюється, а також особливостями використаної технології. Узагальнені показники складу молочної сироватки наведено в табл. 1.2.

Енергетична цінність молочної сироватки дещо нижча порівняно з молоком. Водночас за показниками біологічної цінності молочна сироватка практично не поступається молоку, що свідчить про їхню близькість за якісними характеристиками.

Таблиця 1.3. Енергетична цінність молочних продуктів

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

Узагальнені середні показники фізичних характеристик молочної сироватки наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні фізичні властивості молочної сироватки [3].

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 вирізняється значною термічною стабільністю в діапазоні температур, що реалізуються під час його технологічної обробки. Визначальний внесок у формування цих властивостей належить казеїну як основному білковому компоненту молочної системи. За умов нагрівання до температури близько 130 °С із відповідною витримкою казеїн зазнає коагуляції.

Теплофізичні показники казеїнових згустків кислотного та сичужного походження наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. Теплофізичні властивості казеїнового згустку

Вид згустку	Параметри					
	Коефіцієнт теплопров. $\alpha \cdot 10^8$	Теплоємність $C, \text{Дж}/(\text{кг К})$	Коефіцієнт теплопров. $\lambda, \text{Вт}/(\text{м К})$	Коефіцієнт пористості $\epsilon, \%$	Об'ємна маса, $\text{ркг}/\text{м}^3$	Вологість $W, \%$
Кислотний	10,20	2120	0,250	41,50	500-560	55-60
Сичужний	10,30	3015	0,320	47,0		

З метою створення належних умов для зберігання та транспортування казеїнів піддають процесу сушіння. Теплофізичні параметри казеїну після видалення вологи узагальнено та подано у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Теплофізичні властивості висушеного казеїну.

Характеристики	Значення
Вологість $W, \%$	2,780 - 2,340
Об'ємна маса $\rho, \text{кг/м}^3$	286 - 462
Фізична густина $\rho_f, \text{кг/м}^3$	1122 - 1182
Коефіцієнт пористості $\epsilon, \%$	15 - 20

1.3. Екологічний ефект виробництва казеїну

Залучення молочної сироватки до технологічних схем отримання казеїну сприяє розв'язанню актуальної екологічної проблеми, пов'язаної з недостатнім рівнем утилізації цього вторинного продукту. На сучасному етапі переробляється лише близько 60 % загального обсягу сироватки, що утворюється у молочній промисловості [4].

В умовах України показники її промислового використання є ще нижчими, що наочно відображено на рисунку 1.1.

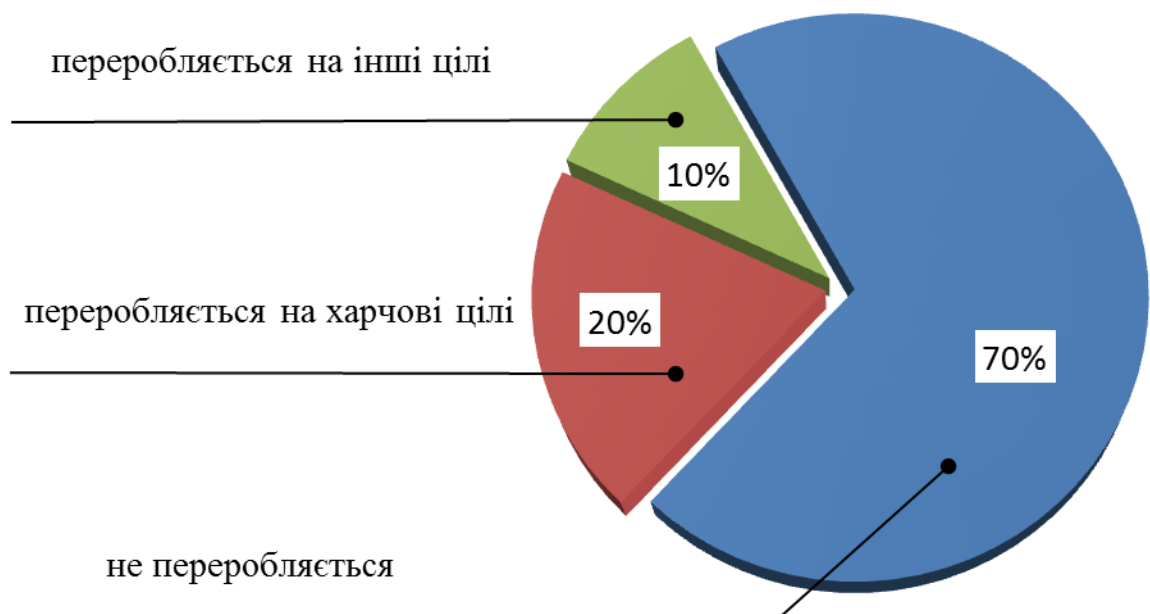


Рис. 1.1. Ступінь переробки сироватки в Україні

Такий стан справ призводить до значних втрат у молочній галузі: з приблизно 1 700 000 тонн сироватки, що щорічно виробляється в Україні [5], за даними, відображеними на рисунку 1.1, втрачається близько 1 200 000 тонн.

На сьогоднішній день єдиної концепції вирішення цієї проблеми не існує. Одні фахівці наголошують на необхідності створення централізованих виробничих потужностей для переробки сироватки [6], тоді як інші сумніваються в ефективності такого підходу, враховуючи, що більше 90 % складу сироватки становить вода, а її транспортування на великі відстані для переробки може виявитися економічно не вигідним.

В умовах впровадження ефективного виробництва казеїну з використанням сироватки одночасно досягається і економічний, і екологічний ефект. Навіть за умови низької рентабельності такого виробництва його значення у зниженні забруднення навколишнього середовища молочною сироваткою може компенсувати економічні витрати. Відомо, що стоки молокопереробних підприємств, що містять сироватку, є потужним джерелом забруднення, оскільки містять органічні сполуки з високою окиснювальною здатністю [7, 8]. З огляду на це, забруднювальний потенціал таких стоків може перевищувати вплив побутових каналізаційних вод у 500 разів [9].

1.4. Шляхи підвищення ефективності зневоднення казеїну

На сучасному етапі багато підприємств, що працюють із незбираним молоком, розширюють виробництво казеїну. При цьому вони, як правило, використовують наявне обладнання первинної обробки молока та сирні ванни, доповнюючи його апаратами для відділення сироватки та сушіння казеїну [11].

Для зневоднення казеїну деякі молокопереробні заводи застосовують декантатори, після обробки в яких продукт надходить у сушильну установку. Найпоширенішим обладнанням залишаються шнекові преси, проте їхня робота характеризується високими енергетичними витратами.

Найбільший обсяг енергії у технологічному процесі виробництва казеїну споживає операція його сушіння. Зниження енергетичних витрат на цьому етапі можливе за рахунок зменшення вологості сировини, що надходить у сушильну камеру, тобто підвищення ефективності попереднього зневоднення казеїну у шнековому пресі.

Розрахунок потенційної економії теплоти при зниженні вологості казеїну на вході у сушарку на 1% показують, що у таких умовах можна заощадити приблизно 28–30 МДж теплової енергії за годину роботи сушарки.

Основні проблеми процесу зневоднення казеїну. Перед тим як говорити про шляхи підвищення ефективності, треба врахувати основні обмеження:

- висока вологість початкового продукту — сирна маса містить близько 75–80% води.
- низька теплопровідність — казеїн легко перегрівається, що може погіршити його технологічні властивості.
- схильність до агломерації та утворення грудочок — впливає на якість порошку.
- висока енергоємність процесу — традиційне сушіння (наприклад, спрей-сушарки) потребує багато тепла і часу.

Оптимізація попередньої обробки

Регулювання концентрації білка і рН — впливає на структуру казеїну, зменшує утворення грудочок.

Фільтрація та відцентрове зневоднення — використання сучасних сепараторів і фільтр-пресів дозволяє зменшити вологість перед сушінням до 50–55%, що значно економить енергію.

Використання інтенсивних сушильних технологій

Шнекові та вакуумні прес-сушарки — дозволяють комбінувати механічне пресування і теплове сушіння, скорочуючи час і споживання енергії.

Плівкові (струминні) і ротаційні сушарки — рівномірне нанесення та випаровування води, зменшення перегріву продукту.

Сушіння в умовах зниженого тиску (вакуум) — зменшує температуру сушіння, зберігаючи біологічну цінність білка.

Використання інтенсивних технологій тепло- і масопереносу

Рекуперація тепла — повернення тепла з вихідного потоку повітря на нагрівання свіжого продукту.

Використання тонких шарів і високого градієнта температури — забезпечує швидке випаровування і зменшення часу сушіння.

Інфрачервоне та мікрохвильове сушіння — дозволяє швидко видаляти вологу без перегріву білка.

Енергетичні та економічні аспекти

Зменшення споживання енергії через комбіновані методи (прес + сушіння).

Зниження втрат продукту — менше перегрітої чи обвугленої маси, що підвищує вихід готового казеїну.

Модульність та автоматизація процесу — скорочує витрати на персонал та зменшує ризик технологічних помилок.

Якісні аспекти

Збереження функціональних властивостей казеїну — білковий склад, здатність до гелеутворення, розчинність.

Поліпшення гранулометрії — тонкий порошок без грудочок підвищує якість кінцевого продукту.

Контроль температури та вологості — зменшує ризик денатурації білка.

Попереднє зневоднення механічними методами (фільтр-прес, центрифуга) економить 30–50% енергії під час сушіння. Комбіновані та інтенсивні технології сушіння (шнекові прес-сушарки, вакуумні, інфрачервоне) дозволяють скоротити час сушіння і зберегти якість продукту. Рекуперація тепла та оптимізація режимів — ключ до енергоефективності та

економічності процесу. Контроль фізико-хімічних параметрів на всіх етапах забезпечує високу якість порошку казеїну.

1.5. Аналіз вихідної інформації

Шнековий прес типу ПШ-300 (рис. 1.2) призначений для часткового зневоднення та гранулювання казеїну перед його подачею у сушильну камеру.

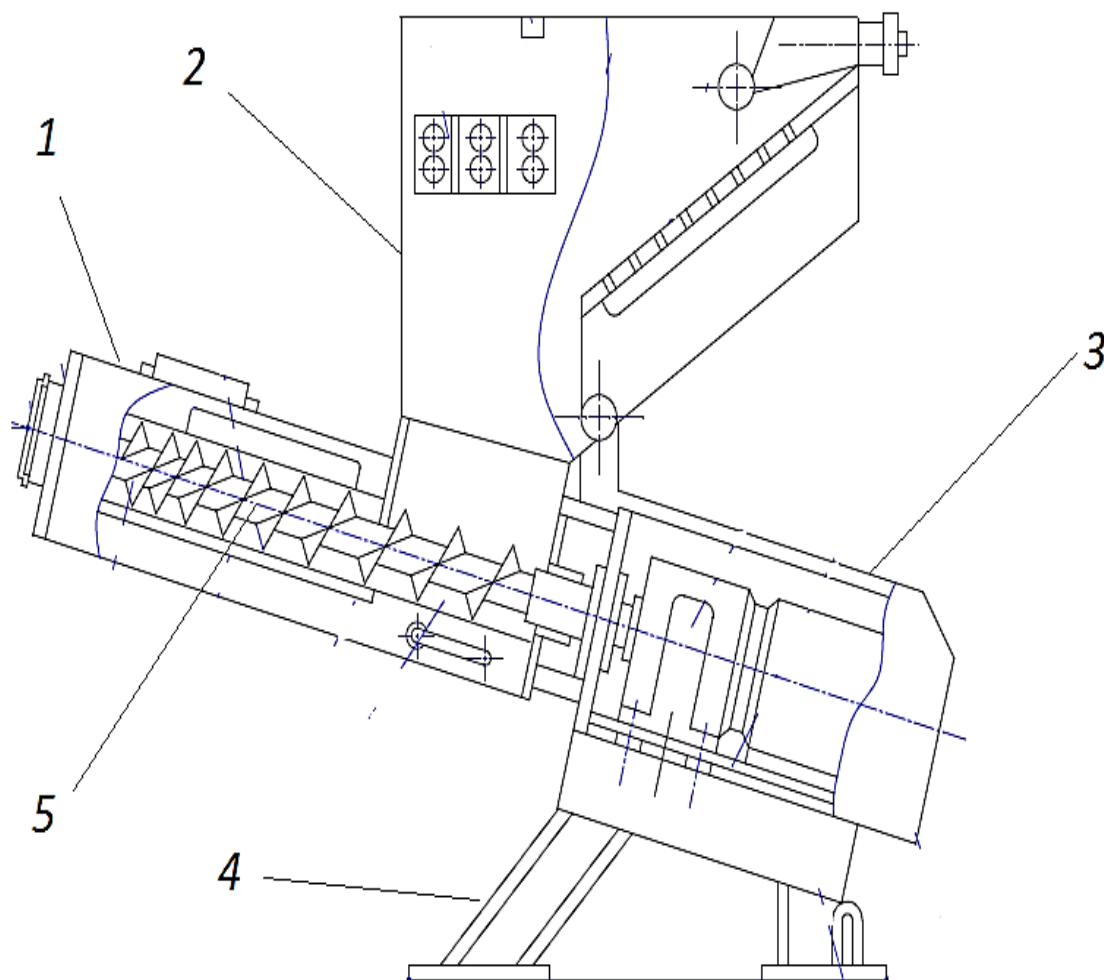


Рисунок 1.2. Шнековий прес марки ПШ-300

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

Вологий казеїн надходить у прес через лоток 2. Основним робочим елементом преса є шнек 5 зі змінним кроком навивки, який створює необхідний тиск для відтиску молочної сироватки з пор казеїнових зерен. Привід шнека 5 здійснюється за допомогою електродвигуна 3. Відведення сироватки здійснюється безперервно протягом усього циклу роботи преса.

Вихідна вологість казеїну після шнекового пресування становить приблизно 60 %. Основні технічні параметри шнекового преса ПШ-300 наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики шнекового преса 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 висота ширина	1500 880 640
9	Маса преса, кг	350

Шнековий прес ПШ-300 знайшов широке застосування в харчовій промисловості, зокрема у молокопереробній галузі для виробництва казеїну. Він поєднує низку переваг та недоліків порівняно з іншими машинами аналогічного типу.

1.6. Техніко-економічне обґрунтування

Економічний ефект від реалізації даного дослідження оцінюється виходячи з того, що підвищення ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі (під ефективністю мається на увазі зменшення вологості готового продукту) дозволяє знизити енергетичні витрати на наступний етап — сушіння. Оскільки видалення вологи термічним способом є більш витратним порівняно з механічним відтисненням, впровадження подібних заходів має високий потенціал з точки зору енергозбереження.

На випаровування 1 кг вологи витрачається близько $2,3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії. За умов, коли відтиск казеїну здійснюється у шнековому пресі, а подальше сушіння — у установці з псевдозрідженим шаром (наприклад, сушарка марки ВС–300), зниження вологості казеїну на виході з преса навіть на 1 % дозволяє економити приблизно $3 \cdot 10^7$ Дж теплової енергії за годину роботи сушильної установки.

Крім того, з огляду на актуальну проблему низького рівня використання молочної сироватки, організація ефективного виробництва казеїну з її залученням забезпечує не лише економічний, але й значний екологічний ефект. Навіть у разі невисокої рентабельності такого виробництва його цінність проявляється у зменшенні забруднення навколишнього середовища молочною сироваткою.

1.7. Мета та основні завдання

Аналіз технологічного процесу виробництва казеїну показав, що найбільш енергоємною операцією є сушіння, яке споживає близько 80 % загальної кількості теплової та електричної енергії. Як було зазначено раніше, зниження енергомісткості виробництва технічного казеїну можливо шляхом зменшення вологості продукту на виході зі шнекового преса.

Забезпечити максимальний рівень зневоднення казеїну можливо лише при детальному розумінні процесів, що відбуваються в камері шнекового преса, а також змін компресійно-фільтраційних властивостей казеїну.

Метою роботи є вдосконалення роботи шнекового преса для казеїну шляхом визначення раціональних параметрів тиску під час процесу відтиску.

Для досягнення цієї мети були поставлені та виконані наступні завдання:

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

2. Методи досліджень

2.1. Методи визначення компресійно-фільтраційних характеристик

Суть запропонованої методики полягає у визначенні необхідних характеристик шляхом проведення випробувань у тонкому шарі казеїну з поступовим (ступінчастим) збільшенням навантаження. При цьому тиск, що виникає в структурі казеїнового згустку у стані повної стабілізації, ототожнюється з величиною навантаження, прикладеного до шару.

Розподіл тиску у будь-який момент часу описується наступним чином:

$$P = P_{\text{ск}} + P_p$$

P – тиск, Па;

$P_{\text{ск}}$ – тиск в скелеті, Па;

P_p – тиск в рідині, Па.

У ході досліджень визначали такі параметри казеїну, як вологість, пористість, питомий опір фільтруванню, коефіцієнт фільтрації, коефіцієнт стисливості та коефіцієнт консолідації.

Вивчення зазначених характеристик проводили за допомогою спеціального приладу, схема якого представлена на рисунку 2.1.

Казеїновий згусток готували відповідно до технологічної інструкції. Розрізаний згусток нагрівали до температури 35–55 °С, після чого охолоджували шляхом змішування з холодною молочною сироваткою до 20 °С — температури, при якій здійснювалися випробування.

Підготовлений зразок розміщували між двома шарами фільтрувальної тканини на дні циліндра 2. Висота шару становила приблизно 7–10 мм, що є достатньою, оскільки діаметр часток казеїну значно менший за товщину шару.

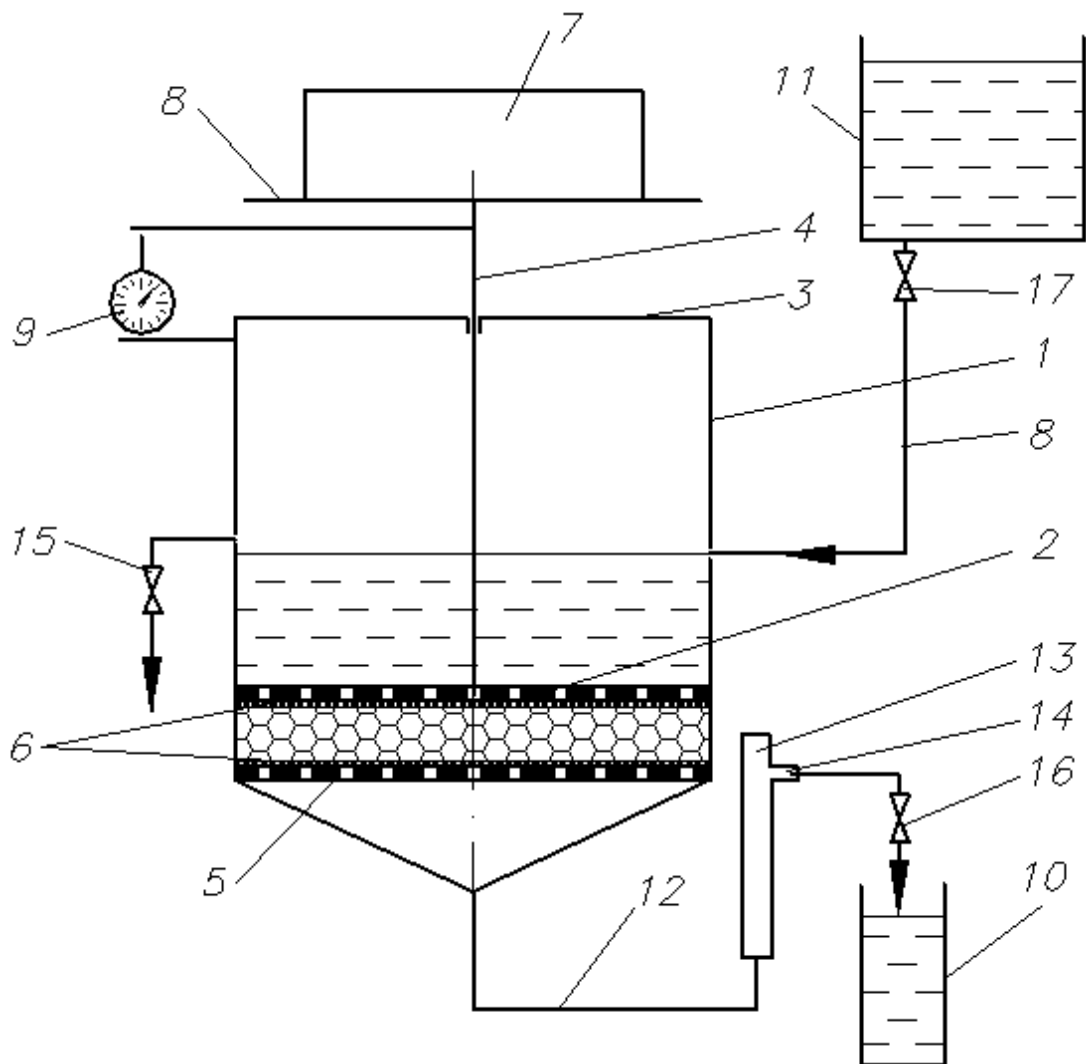


Рис. 2.1. – Схема дослідної установки:

1–корпус; 2–поршень; 3–кришка; 4–шток; 5–перфороване дно;
 6–фільтрувальна тканина; 7 вантаж; 8–пластина; 9 – датчик переміщення;
 10 – мірна ємність; 11 – ємність; 12–трубка; 13–скляна трубка; 14–фланець;
 15, 17–вентилі.

Після цього відкривали вентиль 17, і сироватка з резервуара 11 надходила у корпус установки 1. Шланги 12 та 13 виконували функцію гідрозатвору та були розташовані таким чином, щоб патрубок 14 завжди перебував на рівні дна 5. На пластину 8 встановлювали тягарці 7.

Після завершення деформації згустку переміщення поршня вимірювали годинниковим індикатором 9. Якщо покази індикатора протягом 2 хвилин змінювалися не більше ніж на 1 % від деформації, зафіксованої за перші 10

хвилин, вважалось, що шар казеїну досяг стабілізованого стану, і деформаційний процес завершено. Проводили відповідні вимірювання.

Далі переміщали ручку вентиля 16, і фільтрат надходив у мірний циліндр 10. Через 5 хвилин вентиль 17 закривали, після чого визначали об'єм сироватки у мірному циліндрі. Постійний рівень рідини в циліндрі підтримували за допомогою вентиля 15. Кількість ступенів навантаження складала від 6 до 10.

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

Проведення досліду передбачало попереднє тарування експериментальної установки. Тарування здійснювали шляхом визначення переміщення поршня $h_{\text{пр}}$ під дією тиску, який створювався шляхом встановлення вантажів на пластину. Таким чином визначали величину деформації приладу при різних значеннях прикладеного тиску.

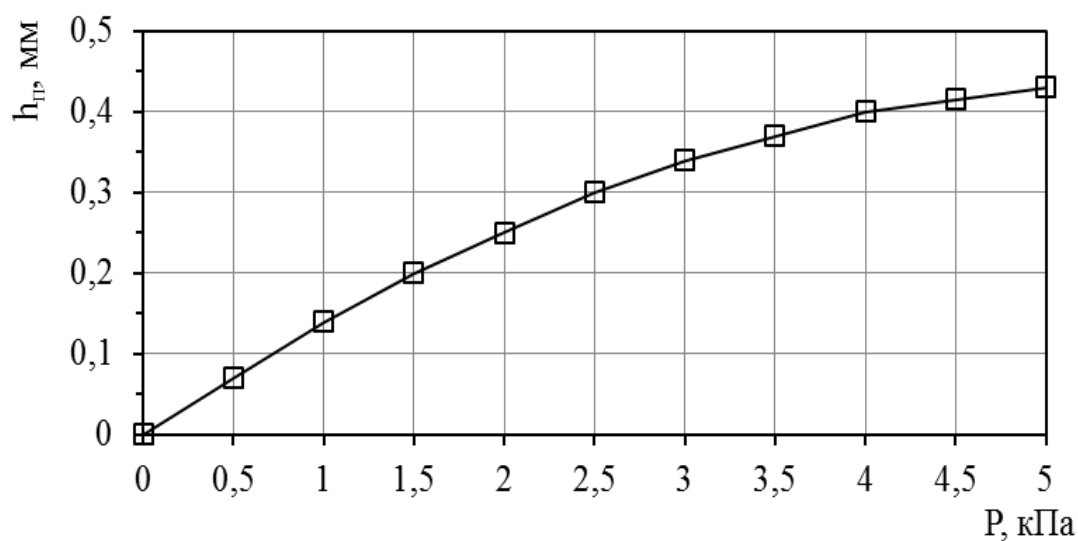


Рисунок 2.2. Деформація приладу

Перед проведенням досліджень також визначали опір фільтрувальних перегородок $R_{\text{ф}}$ (поверхонь поршня та дна з отворами) за такою формулою:

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

де S_{ϕ} – площа дна. m^2 .

Визначали вологість продукту W :

$$W = m_B / m_{oc}$$

де W – вологість казеїну;

m_B – маса вологи, кг;

m_{oc} – маса казеїну після відтиску, кг.

Коефіцієнт пористості казеїну, після n -го етапу навантаження, розраховували за виразом:

$$e = \frac{v_{\Pi}}{v_{ck}} = \frac{V_i - V_{ck}}{V_{ck}}.$$

де v_i – об'єм на i -му етапі, m^3 .

$$V_i = S \cdot h_i.$$

Висоту продукту після останнього етапу навантаження:

$$h_{\Pi} = h_B + \Delta h_{\Pi} - \Delta h_p;$$

де Δh_{Π} – деформація приладу, мм;

Δh_p – редуформація шару казеїну, мм;

Висота шару продукту після дії попередніх етапів навантаження:

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

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

Значення h_i відповідатиме висоті шару продукту до дії навантаження:

$$h = h_{3\Gamma}.$$

Об'єм скелету шару продукту:

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

де W_n – вологість;

$v_{зг}$ - об'єм продукту на останньому ступені навантаження, м³;

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

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

$$\rho_{ск} = \rho_t(1 - W);$$

$$\rho_{зг} = \rho_p W + \rho_{ск};$$

де ρ_t – густина твердих часток, кг/м³;

ρ_p – густина сироватки, кг/м³.

Об'єм шару продукту:

$$V_{зг} = S \cdot h_{зг}.$$

де S – площа поп.перерізу циліндра, м².

2.2. Розробка методики визначення оптимального тиску при зневодненні казеїну

Експериментальна методика проводилась наступним чином. Підготовлений зразок казеїну попередньо обробляли на шнековому пресі. Виготовлення згустку здійснювали відповідно до чинної технологічної інструкції. Перед початком кожного дослідження визначали початкову вологість зразка.

Для кожного експерименту використовували однакову наважку казеїну масою 60 г, яку поміщали в трубку між електродами: один електрод був нерухомо закріплений, а до іншого прикладали навантаження, створене за допомогою вантажу. Одночасно під час проведення дослідження підключали джерело постійного струму та вимірювали напругу й силу струму. Значення напруги під час експерименту коливались у межах 20–80 В, а сила струму

становила від 25 до 180 мА. Тривалість експериментів варіювалася від 35 хвилин до 1 години.

Після завершення кожного дослідження визначали об'єм відокремленої молочної сироватки та вимірювали залишкову вологість казеїнового згустку.

3. Результати дослідження процесу зневоднення казеїну в шнековому пресі

3.1. Теоретичні нюанси зневоднення молочно-білкових згустків

У технологічному процесі зневоднення молочно-білкових згустків відбувається видалення рідини (молочної сироватки), формування шару та забезпечення заданої вологості кінцевого казеїну. Аналітичні та експериментальні дослідження, наведені в роботах [19–20], показали, що для вивчення процесу зневоднення молочно-білкових згустків можна застосовувати основні положення теорії фільтраційної консолідації.

Шар казеїну розглядається як система, що складається з твердих дисперсних частинок (скелета) та заповненого рідиною простору (пор).

Властивості шару казеїну можуть бути охарактеризовані такими параметрами.

Пористість казеїну визначається як частка пор у загальному об'ємі шару казеїну:

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

де $V_{\text{п}}$ – об'єм пор в продукті, м^3 ;
 $V_{\text{заг}}$ – сумарний об'єм казеїну, м^3 .

Коефіцієнт пористості – відношення об'єму пор матеріалу $V_{\text{п}}$ до об'єму його скелету:

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

де $V_{\text{ск}}$ – об'єм скелету.

Для розрахунку процесу формування казеїну (зокрема, для визначення оптимальних значень тиску та тривалості відтиску) необхідно мати дані щодо

компресійно-фільтраційних властивостей матеріалу, таких як пористість, модуль стисливості та питомий опір фільтруванню.

У процесах відтиску слід також враховувати здатність шару казеїну стискатися під дією тиску рідини. Для кількісного опису цієї властивості використовували дві величини: коефіцієнт стисливості та модуль стисливості.

Коефіцієнт стисливості казеїну визначали як зміну пористості шару при зміні прикладеного тиску:

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

де Δe – різниця коеф. пористості;

Δp – різниця тиску, Па.

модуль стисливості казеїну:

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

Процес проходження рідини через шар казеїну визначається як опором, який створює сам казеїн, так і властивостями сироватки — питомим опором фільтруванню r ($1/m^2$):

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

де ΔH – напір, Па;

μ – динамічна в'язкість, Па·с;

$v_{\text{пт}}$ – об'єм сироватки, що профільтровується крізь шар казеїну, (m^3/m^2);

τ – тривалість, за який крізь казеїн проходить об'єм $v_{\text{пт}}$, с;

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

h – висота казеїну, м.

Рух сироватки через пори казеїну описується за закономі:

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

v – швидкість течіння сироватки, м/с;

h – висота шару, м;

k – коеф. фільтрування, м²/(Па·с).

Визначимо коефіцієнт фільтрування:

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

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

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

3.2. Результати досліджень компресійно-фільтраційних властивостей казеїну

Під час відтиску молочної сироватки необхідно забезпечити умови для її фільтрування крізь шар казеїну. У разі порушення цих умов відбувається запресовування частини сироватки в порах казеїну. Рушійною силою фільтрування є різниця тисків з обох сторін шару.

Ефективність зневоднення казеїну значною мірою визначається компресійно-фільтраційними властивостями шару та тим, як ці властивості змінюються під дією тиску, що прикладається у шнековому пресі.

Компресійно-фільтраційні характеристики молочних продуктів вивчені досить детально. Зокрема, у роботі [10] наведено результати досліджень сирів із підплавленням сирної маси, де доведено, що при тиску $15 \cdot 10^3$ Па фільтрування рідини через молочно-білковий згусток припиняється. У роботі [11] представлені результати дослідження компресійних і фільтраційних

властивостей так званого «сирного пилу», який за характеристиками близький до казеїну.

Проте відповідні властивості технічного казеїну на сьогодні залишаються недостатньо вивченими.

Визначення компресійно-фільтраційних параметрів шару казеїну проводили під дією відтискного тиску. Вимірювання здійснювали як при поетапному прикладанні навантаження (рис. 3.1), так і при одноразовому впливі тиску в діапазоні від 1 до 5 кПа.

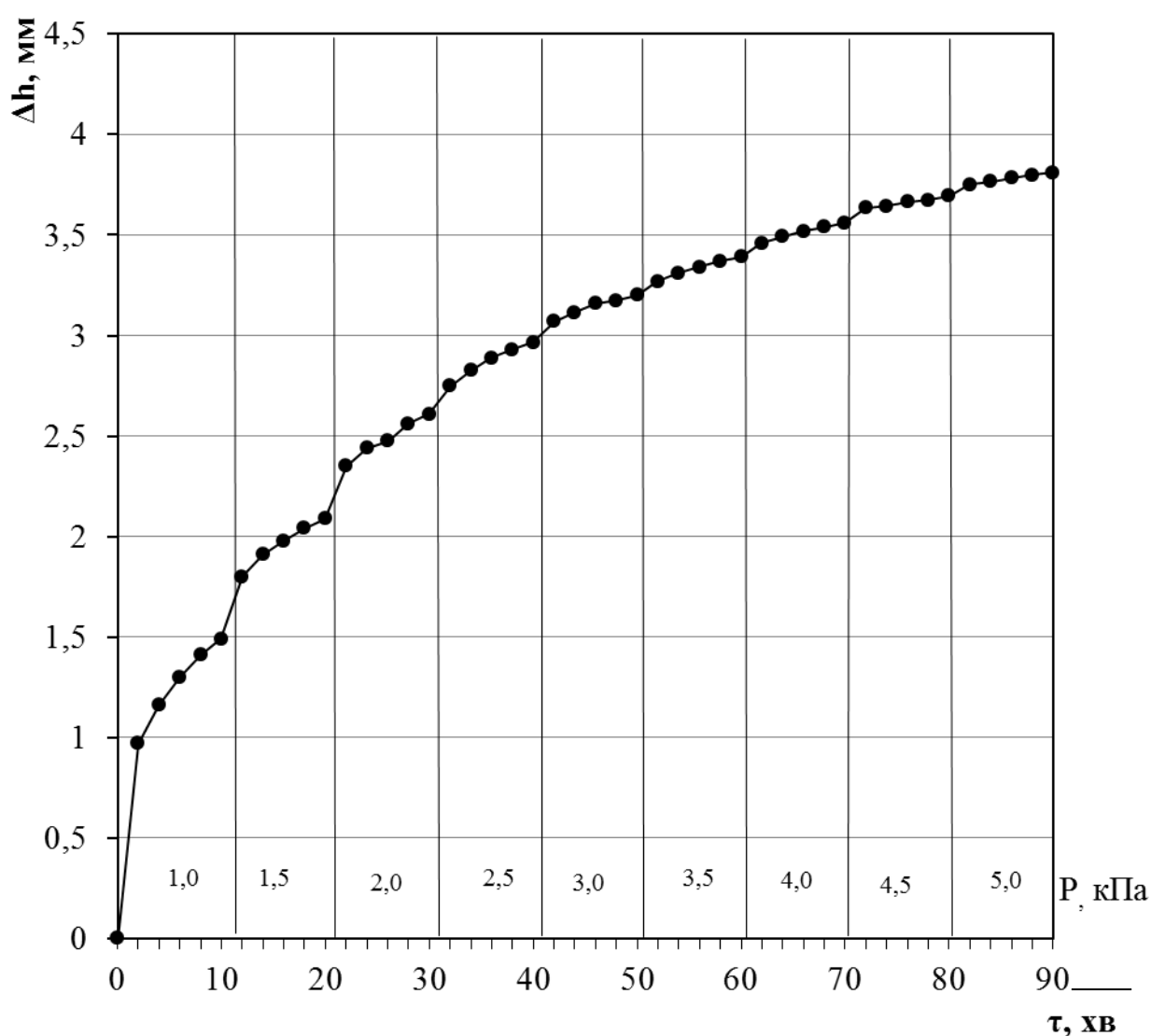


Рисунок 3.1. Деформація казеїну при ступінчастому збільшенні тиску

На кожному етапі прикладання навантаження протягом 10 хвилин спостерігається стабілізація висоти шару казеїну, що відповідає

встановленому значенню його пористості. Це значення залишається незмінним до моменту зміни прикладеного тиску. Варто зазначити, що в процесі одночасно відбуваються два взаємопов'язані явища: зменшення висоти шару казеїну внаслідок відведення сироватки та відтік молочної сироватки під дією зменшення висоти шару. На початковому етапі тиск впливає як на тверду фазу казеїну, так і на сироватку. Після прикладення навантаження понад 10 хвилин тиск сприймається переважно твердою фазою (скелетом), і процес зневоднення практично припиняється.

Було встановлено, що деформація шару осаду відбувається не миттєво, а протягом певного часу, після чого шар досягає стабілізованого стану. Тривалість консолідації залежить від товщини шару осаду та його стисливості. При цьому близько 70 % від загальної деформації під навантаженням відбувається протягом перших 3–5 хвилин, після чого швидкість деформації значно знижується. У проведених експериментах товщина шару осаду варіювалася в межах 10–25 мм. Умовно-стабілізований стан досягався при тривалості навантаження 20–35 хв.

При знятті навантаження відбувається релаксація напружень та часткове відновлення товщини шару осаду, що свідчить про пружно-пластичні властивості молочно-білкового згустку. Максимальна величина деформації після повного відновлення спостерігається при повному розвантаженні шару і складає 0,1–0,2 мм, залежно від його товщини.

Відновлення після зняття навантаження відбувається поступово. З підвищенням температури нагрівання згустку збільшується величина пружної деформації. Так, для молочно-білкового згустку при температурі 38 °C відновлення після деформації становить близько 10 % від товщини деформованого шару, тоді як при 50 °C цей показник зростає до 21 %.

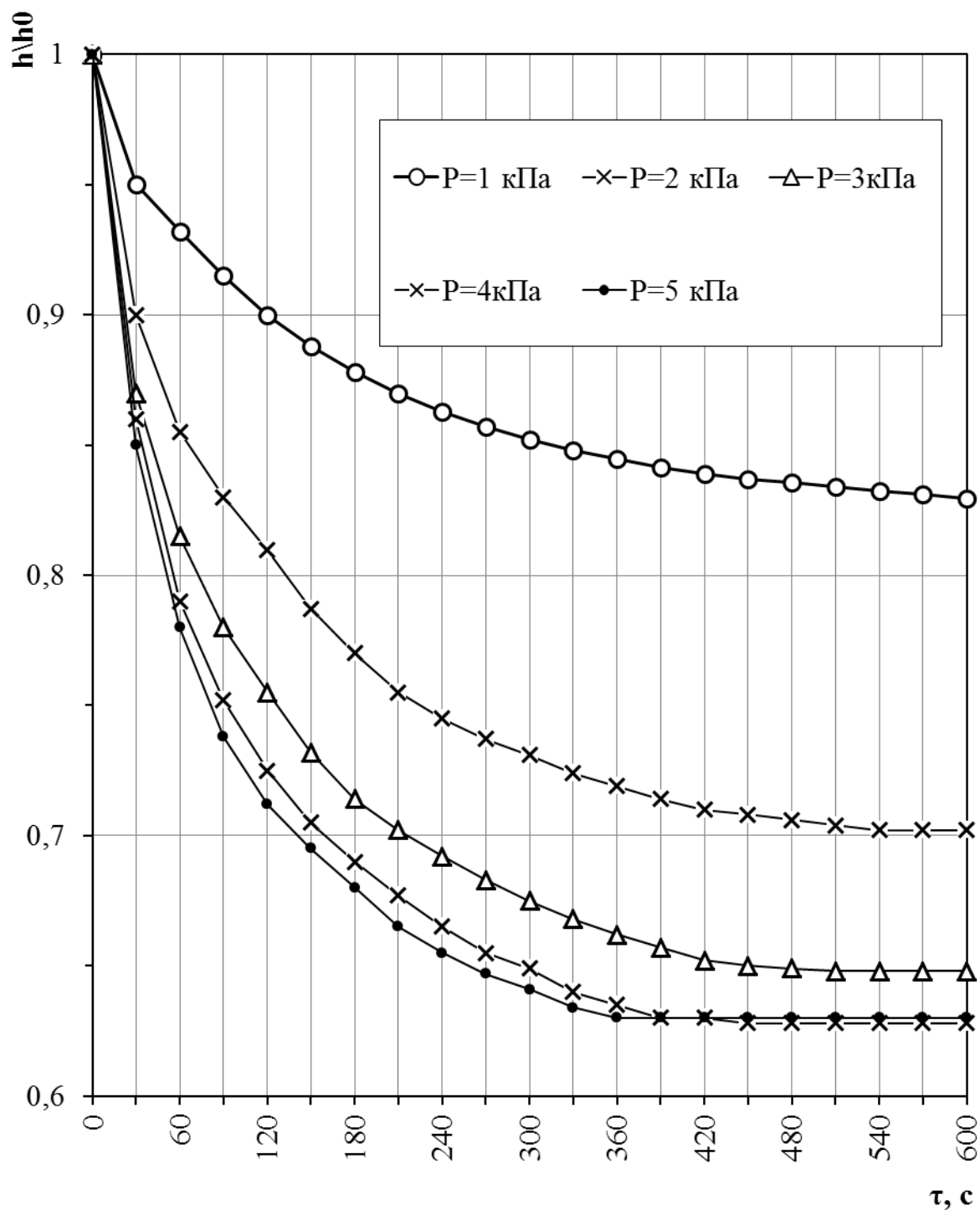


Рисунок 3.2. Криві деформації казеїну при різному тиску:
 1. – 1,0кПа; 2. – 2,0кПа; 3. – 3,0кПа; 4. – 4,0кПа; 5. – 5,0кПа.

Після завершення деформації шару казеїну на фінальному етапі здійснювали поступове розвантаження поршня та визначали висоту відновлення шару. Під час розвантаження спостерігалось часткове відновлення деформації, що досягало близько 85 % від початкової висоти

шару (рис. 3.3). Це явище пояснюється пружно-пластичними властивостями казеїну.

Після припинення впливу останнього ступеня навантаження час, необхідний для відновлення шару казеїну, складав приблизно 15 хвилин.

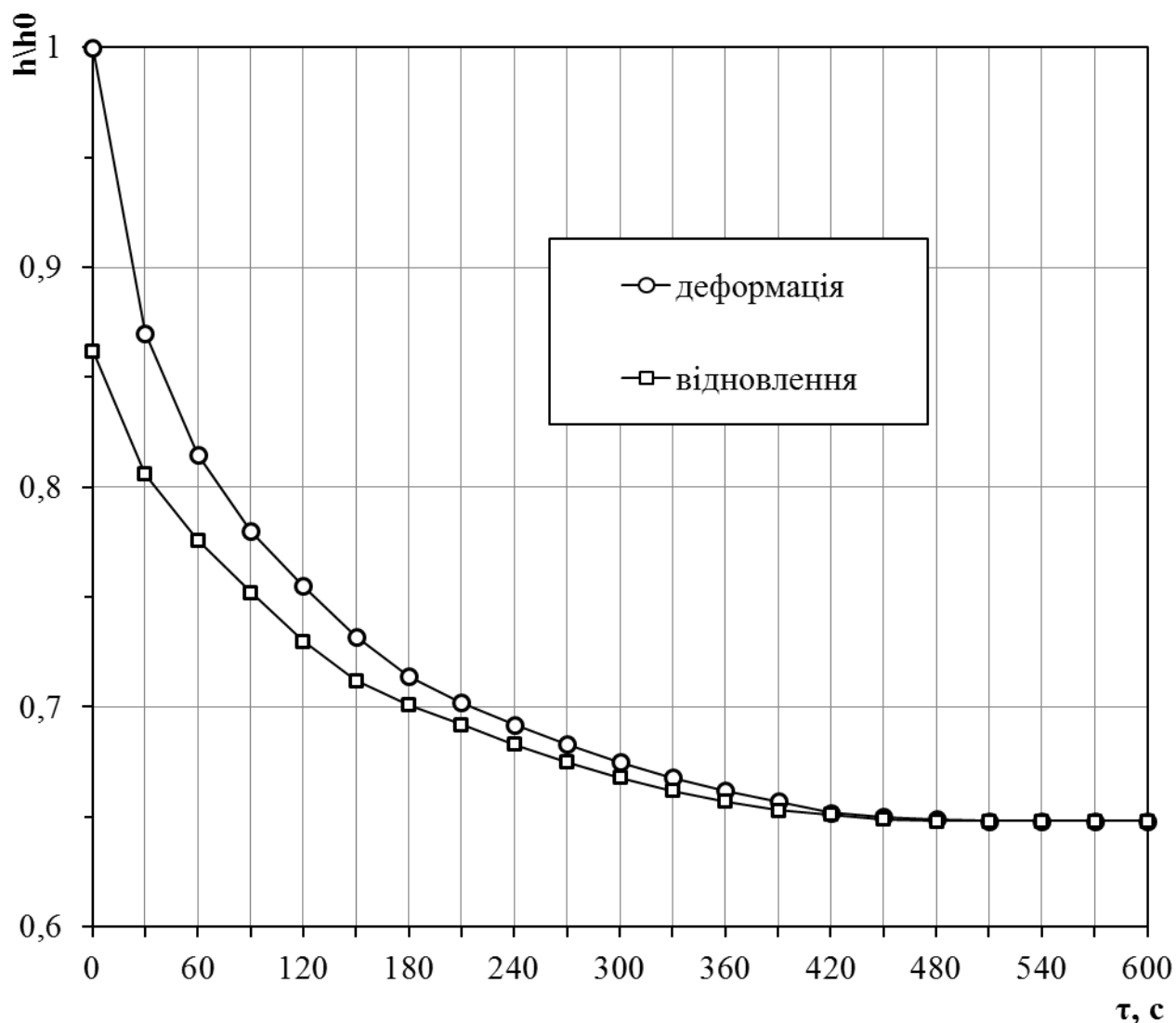


Рисунок 3.3. - Криві деформації та відновлення казеїну за тиску 3 кПа

На рисунку 3.4. представлено залежність пористості казеїну від тиску.

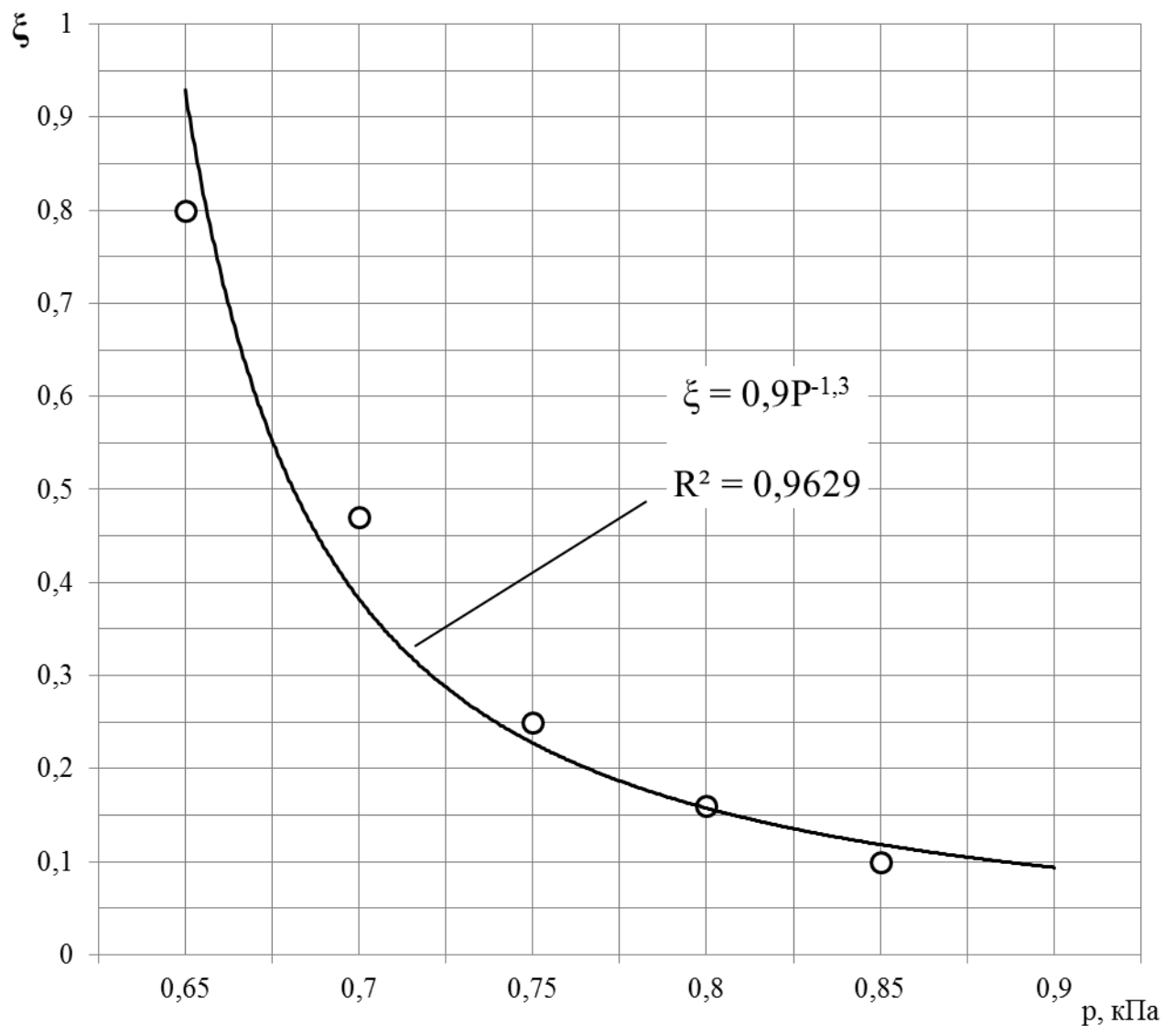


Рисунок 3.4. Залежність пористості казеїну від тиску

Початкова пористість казеїну визначається температурою його нагрівання, що впливає на ступінь коагуляції білкових частинок. Як показано на графіках, із збільшенням прикладеного навантаження пористість поступово зменшується.

Математично залежність пористості казеїну від величини навантаження можна подати у наступній формі:

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

Компресійну криву, яка відображає залежність коефіцієнта пористості казеїну від прикладеного тиску, наведено на рисунку 3.5.

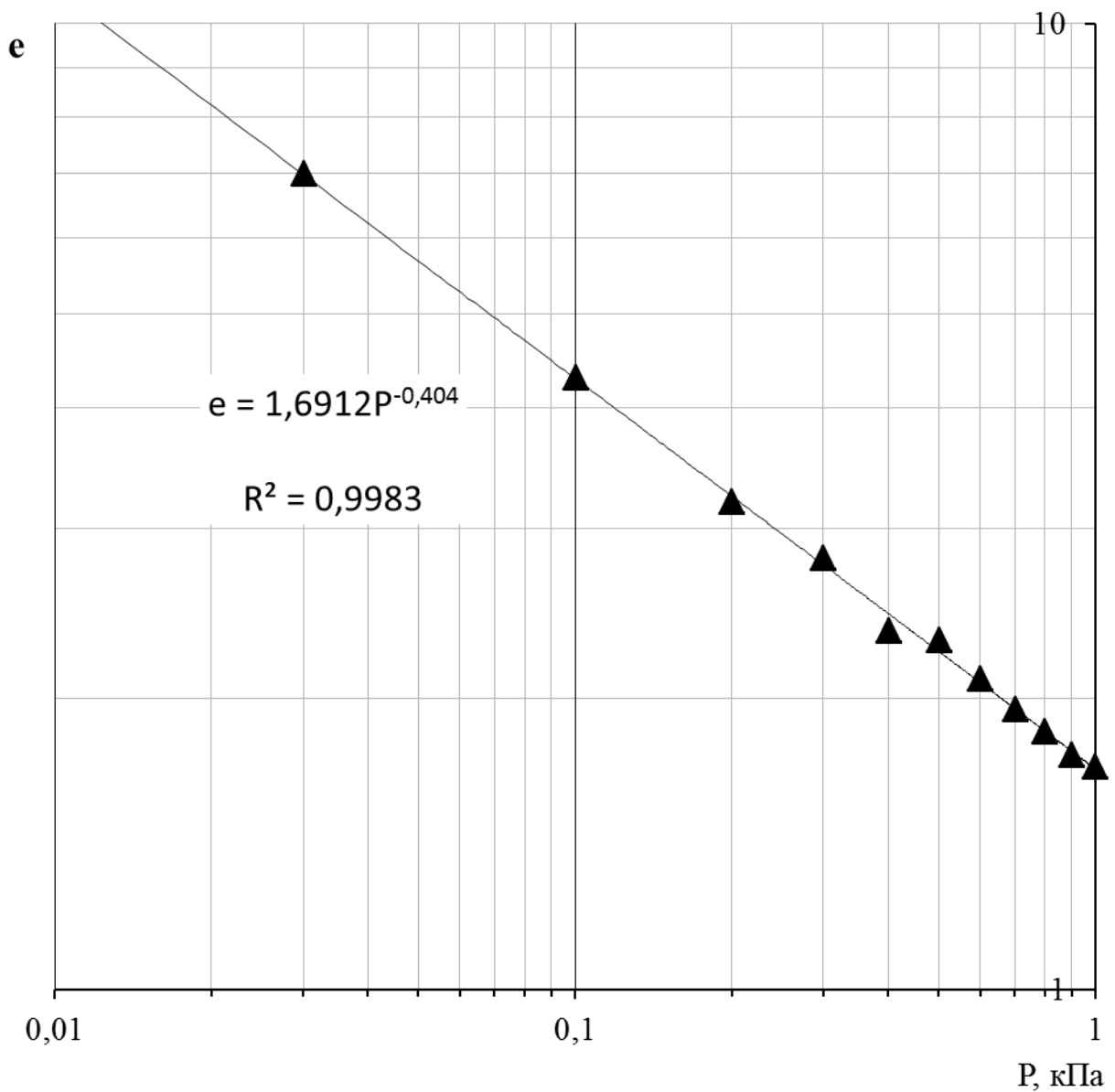


Рисунок 3.5. Залежність коефіцієнта пористості казеїну від тиску

У логарифмічних координатах ці залежності наближаються до лінійних, що свідчить про степеневий характер зв'язку між коефіцієнтом пористості казеїну та прикладеним тиском.

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

Математично залежність модуля стисливості казеїну від величини тиску пресування може бути виражена наступним чином:

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

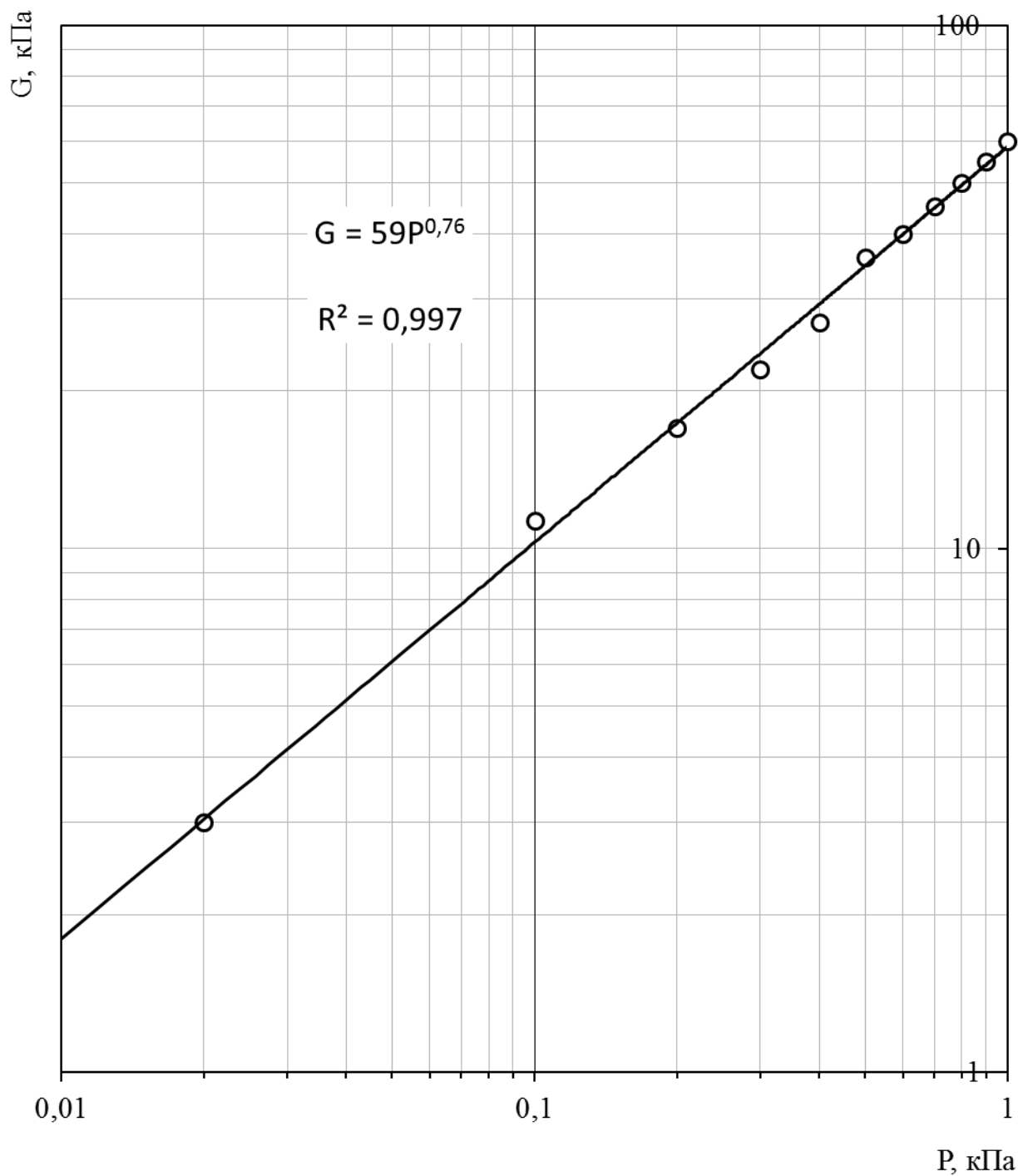


Рисунок 3.6. Залежність модуля стисливості від тиску

На рисунку 3.7 наведено залежність питомого опору фільтруванню крізь шар казеїну від величини тиску під час відтиску.

Під час видалення сироватки з казеїну як на шнекових пресах, так і на іншому обладнанні, призначеному для відтиску, важливе значення мають оптимальні робочі тиски. З одного боку, недостатній тиск призводить до

неповного відведення сироватки, а з іншого — надмірний тиск створює умови, за яких відбувається запресовування частини молочної сироватки в порах казеїну. Тому процес відтиску повинен здійснюватися при такому тиску, який забезпечує максимальне видалення сироватки та створює оптимальні умови для ефективного зневоднення.

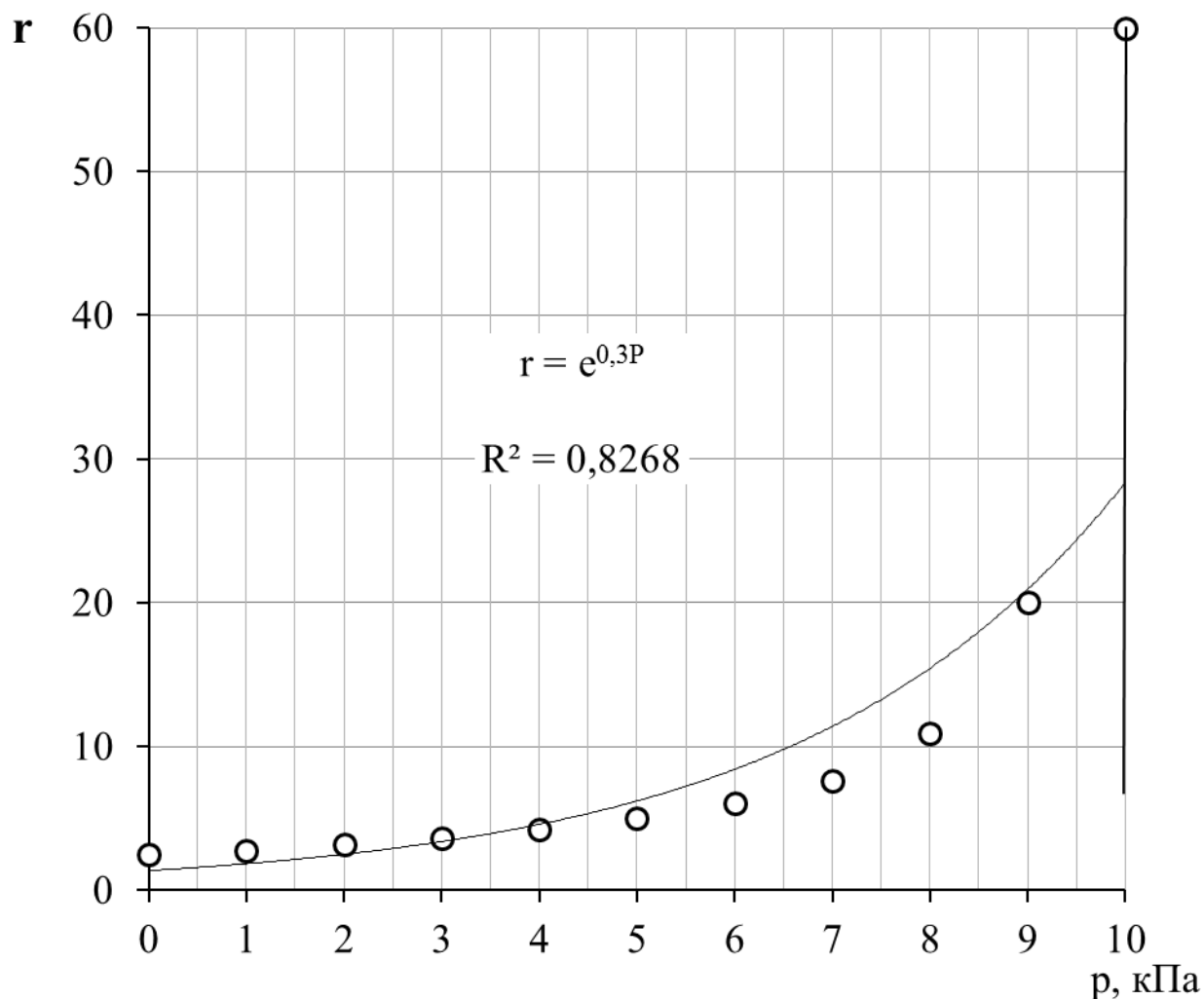


Рисунок 3.7. Залежність питомого опору фільтруванню від тиску

Виходячи з отриманої залежності питомого опору фільтрування технічного казеїну від тиску (рис. 3.7), можна рекомендувати раціональні значення робочого тиску під час процесу відтиску: мінімальне — 5 кПа, максимальне — 9 кПа. За таких умов створюються оптимальні умови для максимально ефективного відведення сироватки з пор казеїну.

3.3. Результати досліджень оптимального тиску при зневодненні білкових згустків

Коефіцієнт консолідації казеїну є узагальненою характеристикою процесу формування шару. У ході формування тиск у скелеті неперервно змінюється, що відображається на відповідних змінах коефіцієнта консолідації. Максимальна швидкість його зміни спостерігається на початковому етапі, коли тиск у скелеті відносно низький.

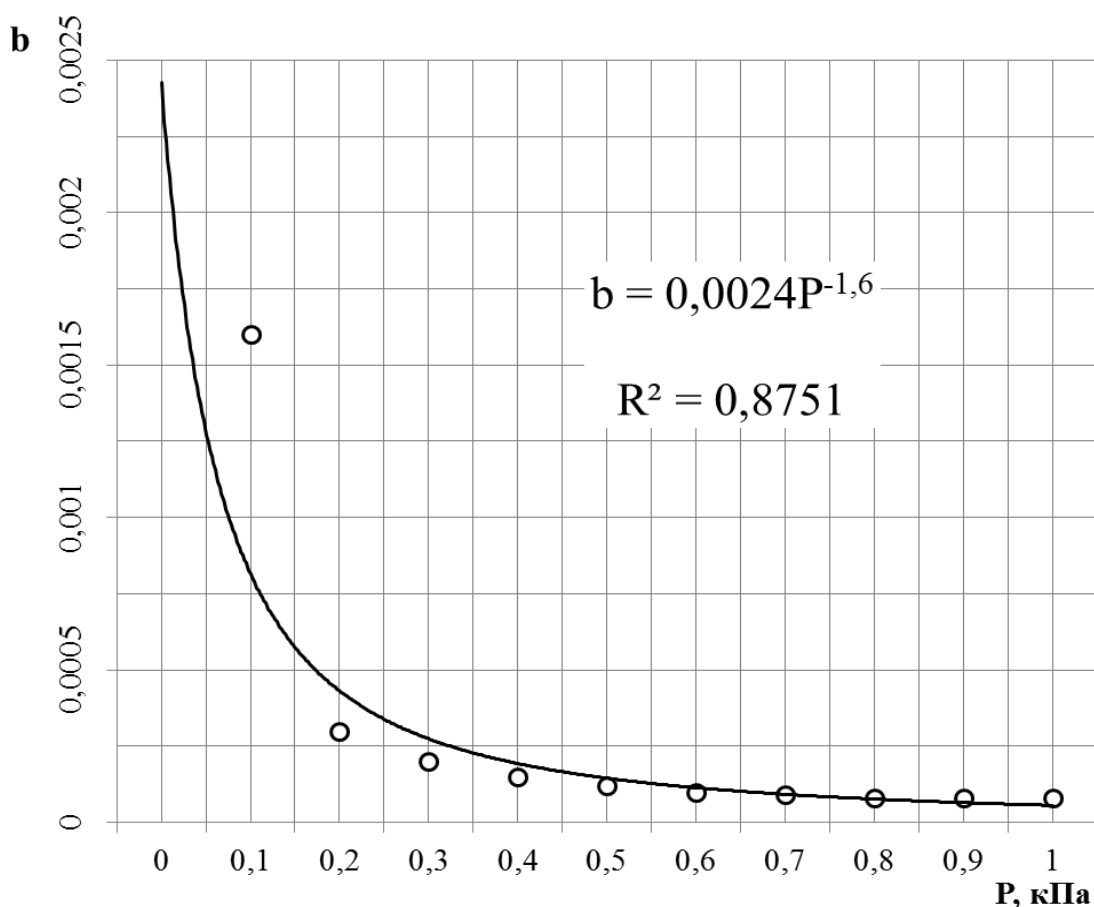


Рисунок 3.8. Залежність коефіцієнта консолідації від тиску

Результати визначення оптимального тиску при зневодненні білкових згустків наведено на рисунку 3.7. Як видно з графіка, прикладене навантаження впливає на згусток протягом перших 14 хвилин; далі відбувається стабілізація скелету згустку, і видалення сироватки майже припиняється, а вологість шару залишається практично незмінною.

Було отримано степеневе рівняння, що описує залежність коефіцієнта консолідації казеїну від прикладеного тиску:

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

3.4. Визначення граничного напруження зсуву шару казеїну

Під час відведення казеїну з шнекового преса порушення структурних зв'язків може відбуватися не лише на межі контакту шару казеїну з поверхнею шнека, а й шляхом зсуву однієї частини казеїнового шару відносно іншої. У такому випадку порушуються когезійні зв'язки між частинками та відбувається часткове руйнування самих білкових частинок. Граничне напруження зсуву казеїну слугує комплексною характеристикою цього процесу.

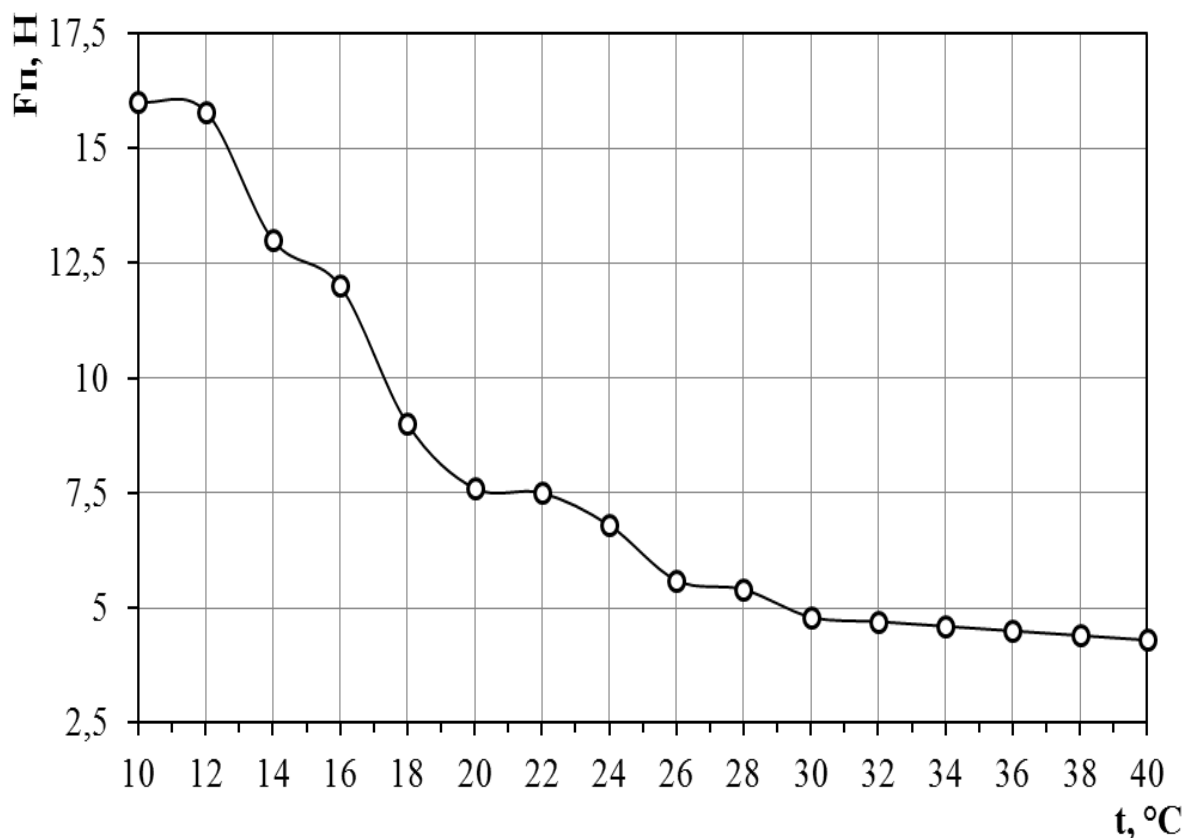


Рисунок 3.9. Сила пенетрації при різних температурах казеїну

Було проведено дослідження параметрів граничного напруження зсуву казеїну залежно від його температури. Вимірювання здійснювали за методикою визначення пенетрації з використанням дослідного комплексу «Instron». Результати залежності граничного напруження зсуву від температури представлені на рисунку 3.9 у вигляді графіка.

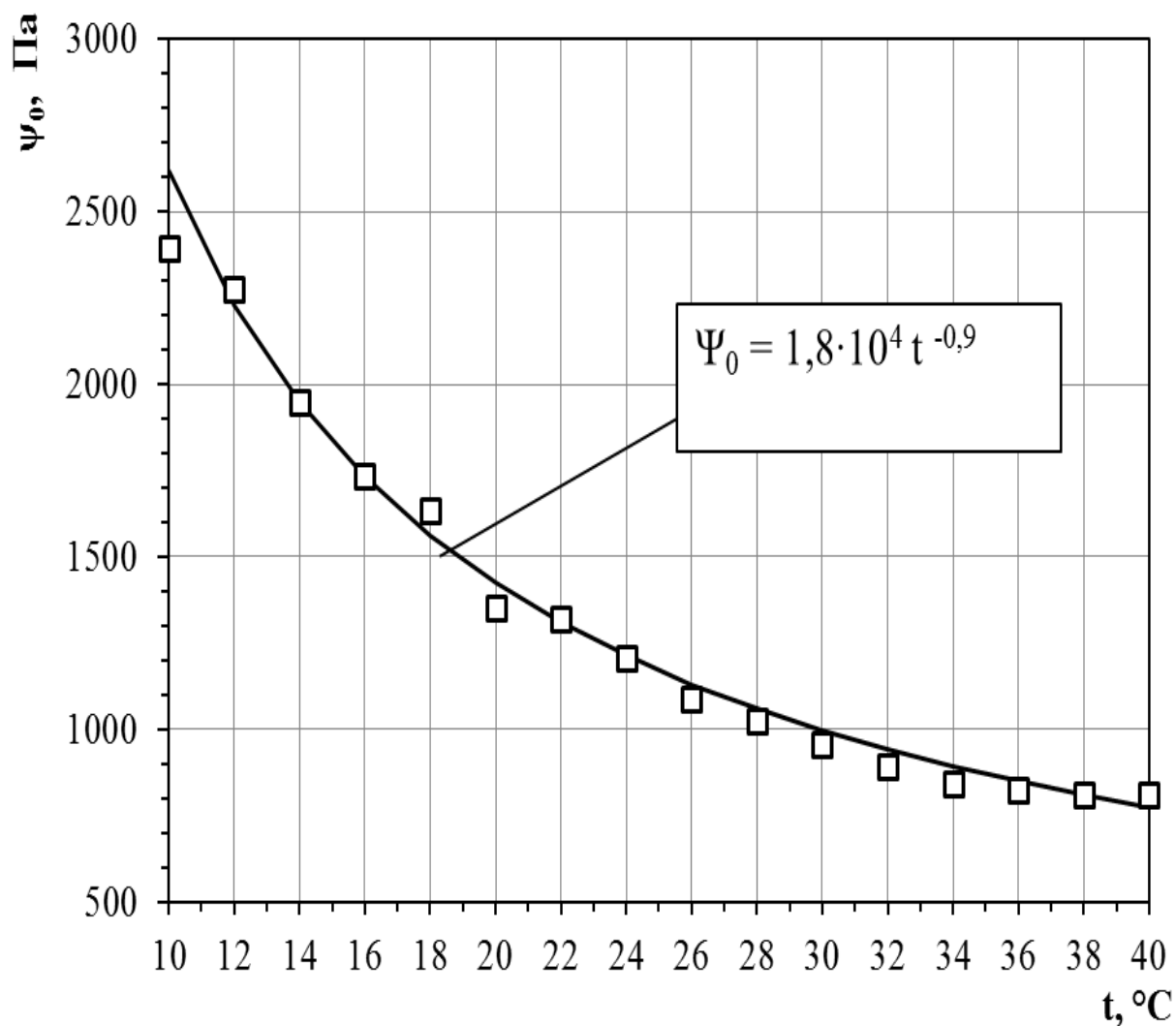


Рисунок 3.10. Граничне напруження зсуву казеїну при різній температурі

За результатами математичної обробки експериментальних даних були отримані емпіричні залежності, що дозволяють визначити граничне напруження зсуву казеїну залежно від температури процесу відтиску:

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

ана залежність адекватно відображає зміну параметрів граничного напруження зсуву казеїну у температурному діапазоні від 10 до 40 °С.

3.5. Висновки до розділу

Під час відтиску сироватки з казеїну на шнекових пресах важливе значення мають оптимальні робочі тиски. Було встановлено, що при недостатньому тиску відведення сироватки буде неповним, тоді як надмірний тиск спричиняє запресовування частини молочної сироватки в порах казеїну. Тому процес відтиску повинен здійснюватися при таких значеннях тиску, які забезпечують максимальне видалення сироватки.

Було визначено характер деформації казеїну: вона відбувається поступово протягом певного часу до досягнення стабілізованого стану шару. Тривалість консолідації залежить від товщини шару осаду та його стисливості. При цьому близько 70 % від загальної деформації відбувається протягом перших 3–5 хвилин, після чого швидкість деформації суттєво знижується.

Максимальна величина деформації шару казеїну після розвантаження спостерігається при повному знятті навантаження і становить 0,1–0,2 мм, що залежить від товщини шару.

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

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

Було встановлено залежність модуля стисливості казеїну від величини прикладеного зовнішнього тиску:

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

Було отримано степеневе рівняння, яке описує залежність коефіцієнта консолідації казеїну від величини тиску відтиску:

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

Було визначено емпіричні залежності, що дозволяють оцінити граничне напруження зсуву казеїну залежно від температури:

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

Рекомендовано встановлювати робочий тиск процесу відтиску в діапазоні від 5 до 9 кПа, що забезпечує оптимальні умови для максимально ефективного видалення сироватки з пор казеїну.

4. Розрахунок вдосконаленого шнекового преса

У попередньому розділі, на підставі аналізу результатів експериментальних досліджень компресійних властивостей казеїну та особливостей їх трансформації в процесі зневоднення у шнековому пресі, було обґрунтовано доцільний інтервал тисків пресування, який становить від 5,0 до 9,0 кПа. Саме зазначеному діапазону відповідають умови, за яких забезпечується найбільш інтенсивне вилучення молочної сироватки з пористої структури казеїну.

За значень тиску нижче 5,0 кПа процес відтиску є недостатньо ефективним, унаслідок чого значна частина сироватки залишається в порах білкового згустку, що зумовлює підвищену вологість продукту на виході з преса. Натомість перевищення тиску понад 9,0 кПа призводить до виникнення протилежного ефекту — часткового запресовування сироватки в поровий простір казеїну, внаслідок чого кінцевий продукт також характеризується надмірним вмістом води.

З огляду на викладене, раціональним є створення таких умов роботи шнекового преса, за яких тиск, що діє на казеїн, досягає граничного значення допустимого інтервалу, тобто близько 9,0 кПа. Реалізація цього режиму можлива шляхом відповідного підбору геометричних параметрів шнека, насамперед кроку його навивки. При цьому крок шнека не є сталим по довжині робочої зони, а поступово зменшується у напрямку транспортування казеїну, що й забезпечує формування необхідного тиску пресування. Мінімальне значення кроку навивки, яке відповідає тиску 9,0 кПа, становить 0,05 м.

Подальший етап дослідження передбачає виконання розрахунку вдосконаленої конструкції шнекового преса з урахуванням визначеного значення кроку навивки, що відповідає максимальному раціональному тиску відтиску.

4.1. Розрахунок шнекового преса ПШ-300

4.1.1. Визначення продуктивності

Залежно від мети проектування та характеру поставлених інженерних завдань, у практиці розрахунків зазвичай визначають фактичну, теоретичну або технологічну продуктивність обладнання. Під час оцінювання продуктивності шнекового преса встановлюють витрати казеїну на вході в апарат і на виході з нього, що є необхідною умовою для обґрунтування основних геометричних і конструктивних параметрів машини.

Продуктивність шнекового преса, призначеного для зневоднення казеїну, може бути визначена за відповідною розрахунковою залежністю:

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

де D – діаметр шнеку, м;

d – діаметр валу, м;

H – крок шнека;

δ – товщина навивки, м;

K_0 – коеф. відставання;

Ψ – коеф. заповнення міжвиткового простору;

ω – кутова швидкість шнека, рад/с.

Підставимо у вираз (1):

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

4.1.2. Кінематичний розрахунок

Кінематична схема шнекового преса типу ПШ-300 включає електродвигун 1, від якого обертальний рух передається через вал I на двоступінчастий циліндричний редуктор. У редукторі на валу I встановлені

зубчасті колеса 5 і 2 з числом зубців відповідно 64 та 20, а на валу II — шестерні 6 і 7 з числом зубців 20 та 64. Така компоновка забезпечує передавання крутного моменту від електродвигуна до робочого органа преса — шнека.

Електродвигун, що застосовується у шнековому пресі, має номінальну потужність $P=2,2$ кВт і частоту обертання $n=750$ об/хв.

Крутний момент на валу електродвигуна визначають за відомою залежністю:

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

де ω_d — кутова швидкість електродвигуна, рад/с;

P — потужність, Вт.

Або:

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

де n_d — кількість обертів вала двигуна, об/хв.

Тепер отримаємо значення крутного моменту:

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

Передаточне число двохступінчастого редуктора:

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

де Z_1 — число зубів шестерні 5, шт;

Z_2 — число зубів шестерні 2, шт;

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

де Z_3 — число зубів шестерні 6, шт;

Z_4 – число зубів шестерні 7, шт.

Отже:

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

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

Сумарне передаточне число розраховуємо як добуток передаточних чисел ступень редуктора:

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

Буде:

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

Крутний моменнт на вихідному валу:

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

Таким чином отримаємо крутний момент на вихідному валу:

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

Далі визначимо кількість обертів шнека:

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

Таким чином:

$$n_{\text{ш}} = \frac{750}{10,24} = 69 \text{ об/хв}.$$

Отже, кількість оертів шнека становить 69об/хв. Або близько 1,2 об/с.

Далі розрахуємо кутову швидкість шнека:

$$\omega_{\text{ш}} = \frac{\pi n_{\text{ш}}}{30}; \quad (9)$$

$$\omega_{\text{ш}} = \frac{3,14 \cdot 71}{30} = 7,3 \text{ рад/с.}$$

Крутні моменти на вихідному валу та на шнекові рівні:

$$T_{\text{ред}} = T_{\text{ш}} = 287,7 \text{ Н·м.} \quad (10)$$

4.2. Економічний ефекту від запропонованих заходів

Економічний ефект від виконання даної роботи визначимо, виходячи з того, що підвищення ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі (під ефективністю розуміється зменшення вологості казеїну на виході з преса) забезпечує зниження енерговитрат на подальший процес сушіння. Враховуючи, що видалення вологи шляхом сушіння є значно енергоємнішим і дорожчим у порівнянні з механічним відтиском, запропоновані технічні рішення є актуальними та економічно доцільними.

Для кількісної оцінки економічного ефекту виконаємо порівняння енерговитрат на видалення вологи з казеїну у шнековому пресі та у сушильній установці з псевдозрідженим шаром, яка найбільш поширена у виробництві технічного казеїну. Розрахунок проведемо для 1 кг вологи, вилученої з казеїну.

Затрати енергії на видалення 1 кг вологи з казеїну в шнековому пресі визначають за формулою:

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

де N – потужність електродвигуна преса марки ПШ-300, $N=2200\text{Вт}$ (розділ 1);

G_1 – продуктивність на вході, $G_1=58\text{кг/год}$;

G_2 – продуктивність на виході, $G_2=450\text{кг/год}$.

Затрати електроенергії на відтиск 1 кг вологи:

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

Аналогічним підходом виконаємо оцінювання енерговитрат, необхідних для вилучення 1 кг вологи з казеїну в процесі сушіння. При цьому розрахунок проведемо диференційовано, окремо визначаючи витрати теплової енергії у вигляді пари, що використовується для нагрівання сушильного агента, та споживання електричної енергії, яка витрачається на роботу вентиляційного обладнання і привід механізмів подавання та перемішування матеріалу в сушильній камері.

Розрахункові значення питомих енерговитрат, приведені до 1 кг вологи, випареної з казеїну, узагальнено та подано у таблиці 4.1. Отримані результати використаємо для порівняльного аналізу енергетичної ефективності механічного зневоднення казеїну в шнековому пресі та термічного видалення вологи в сушильній установці.

Таблиця 4.1. Порівняння затрат ресурсів

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 всіх розрахункових величин до єдиної системи одиниць встановлено, що для випаровування 1 кг вологи необхідно витратити орієнтовно $2,3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії. У випадку, коли попереднє

зневоднення казеїну здійснюється механічним способом у шнековому пресі, а завершальна стадія видалення вологи реалізується у сушильній установці з псевдозрідженим шаром (наприклад типу ВС-150), навіть незначне зменшення вологості продукту на виході з преса — лише на 1 % — забезпечує скорочення теплових витрат на сушіння приблизно на $3 \cdot 10^7$ Дж за одну годину роботи сушильного обладнання.

4.3. Висновки до розділу

Економічна доцільність застосування запропонованих оптимальних значень тиску в шнековому пресі зумовлена підвищенням ефективності відтиску казеїну, що забезпечує більш повне виділення молочної сироватки. Внаслідок цього зменшуються енергетичні витрати на подальше сушіння продукту, оскільки механічне відділення вологи є значно менш витратним порівняно з термічним сушінням. Розрахунки показали, що навіть зниження вмісту вологи на виході з преса на 1 % дозволяє економити близько $3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії протягом години роботи сушильної установки.

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 миттєве, а для шкідливого – довготривале дія, але в ряді випадків шкідливі наслідки, викликані короткотривалою дією шкідливого фактора розглядаються на рівні з травмами, розслідуються і обліковуються 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 прийняття неправильного рішення і закінчитись 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 прийняття 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. Вимоги пожежної безпеки до будівель, споруду приміщення.гляд заходів поліпшення стану виробничого середовища

Вимоги пожежної безпеки до будівель та приміщень включають ряд аспектів, які мають за мету запобігання поширенню пожежі, забезпечення безпеки людей у випадку виникнення пожежі, а також збереження майна. Основні вимоги можуть включати такі пункти:

- Системи пожежної сигналізації та оповіщення про пожежу: Наявність датчиків диму, тепла, автоматичних спостерігачів за вогнем, сигналізація, яка вчасно оповіщує людей про пожежу.
- Засоби пожежогасіння: Наявність вогнегасників, гідрантів, систем автоматичного гасіння пожежі (спринклерні системи тощо).
- Евакуаційні виходи та шляхи евакуації: Наявність безперешкодних шляхів виходу, їх відповідна ширина, відсутність перешкод на шляхах евакуації.

- Будівельні матеріали та конструкції: Використання вогнестійких матеріалів, конструкцій, які можуть зменшити ризик швидкого поширення вогню.

- Системи вентиляції та електрообладнання: Безпека електропроводки, системи вентиляції, які не сприяють поширенню вогню.

- Пожежно-технічне обладнання: Регулярна перевірка, обслуговування та функціонування пожежних систем, вогнегасників, димовивідних установок та інших пристроїв.

- План евакуації та навчання персоналу: Чіткий план дій у випадку пожежі, тренування персоналу щодо евакуації та використання пожежних систем.

Для всіх будівель і споруд необхідні бути визначені категорії та зони пожежної небезпеки. На входних дверях приміщень вивішується табличка з їх визначенням. Усі будівлі, споруди, приміщення і територія повинні своєчасно очищатися від горючого сміття, відходів виробництва та постійно утримуватися у чистоті. Розміщення у приміщеннях меблів та обладнання слід здійснювати таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу, який дорівнює ширині дверей, але не менше 1 м. За наявності у приміщенні одною виходу дозволяється розміщувати в ньому не більше 50 осіб. Евакуаційні шляхи (проходи, коридори, сходові марші тощо) і виходи повинні постійно утримуватися вільними, нічим не захащуватися.

На кожному поверсі вивішується план евакуації на випадок пожежі. Не допускається зберігати, у тому числі тимчасово, інвентар та різні матеріали у тамбурах виходів, у шафах (нішах) для інвентарних комунікацій, зачиняти на замки та інші запори, що важко відчиняються зсередини, зовнішні евакуаційні двері у разі знаходження в будинку людей. При необхідності встановлення на вікнах приміщень де перебувають люди решіток, останні повинні відкриватись, розсуватись або зніматись. Під час.

організації і проведення заходів з масовим перебуванням людей слід дотримуватись таких вимог:

- при кількості людей понад 50 осіб дозволяється використовувати приміщення забезпечене не менше ніж двома евакуаційними виходами, не має на вікнах глухих решіток, а в будівлях з горючими перекриттями розташовані не вище другого поверху;

- забороняється влаштування складових чи інших допоміжних приміщень під сходовими маршами;

- особи, яким доручено проведення таких заходів, перед їх початком зобов'язані ретельно оглянути приміщення і переконатись у повній готовності останніх у протипожежному відношенні, у тому числі забезпечені потрібною кількістю первинних засобів пожежогасіння, справних засобів зв'язку, пожежної автоматики та сигналізації;

- має бути організоване чергування в актовій залі членів ДНД чи відповідальних чергових;

- не дозволяється заповнення приміщень людьми понад установлено норму (0,75 м² на одну людину), звуження проходів між рядами (не менше 1м), установка в проходах додаткових стільців тощо.

Пожежні крани, які є у будинку, повинні бути укомплектовані пожежними рукавами і стволами одного з них діаметра, а також важелем для полегшення відкривання вентиля, утримуватися справними доступними для використання. Не рідше одного разу на шість місяців вони мають перевірятися на працездатність службою, яка здійснює їх технічне обслуговування (членами ДНД). Пожежні рукави необхідно утримувати сухими, складеними у „гармошку” або подвійну скатку, приєднаними до крана та ствола. Використання пожежних рукавів для господарчих та інших потреб, не пов'язаних з пожежогасінням, не допускається. Пожежні шафи для розміщення кранів слід пломбувати. На дверцятах із зовнішнього боку необхідно після літерного індексу „ПК” вказати порядковий номер крана та номер телефону виклику пожежної охорони.

Встановлюючи шафи слід враховувати можливість розміщення у них двох вогнегасників. Будинок та приміщення повинні бути забезпечені необхідною кількістю вогнегасників згідно з вимогами Правил пожежної безпеки в Україні, їх слід встановлювати у легкодоступних та видних місцях (коридорах, біля входів або виходів приміщень) таким чином, щоб вони не заважали під час евакуації і була можливість прочитування маркувальних написів на корпусі (інвентарний номер, пломби на пристроях ручного пуску, бирки, порядок приведення в дію, червоне фарбування). Відстань від можливого осередку пожежі (найбільш віддаленого місця у приміщенні) до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 20м, але кількість вогнегасників повинна бути не менше двох на поверх. Місця знаходження вогнегасників слід позначати вказівними знаками згідно чинними стандартами. Зарядження та перезарядження вогнегасників має виконуватися згідно інструкції з їх експлуатації (не рідше одного разу на рік). Перезарядженню підлягають також вогнегасники із зірваними пломбами. Усі працівники повинні вміти користуватися вогнегасниками та внутрішніми пожежними кранами. Горища, електрощитові та інші технічні приміщення не повинні використовуватися не за призначенням (для зберігання меблів, устаткування, інших сторонніх предметів). Двері горищ, електрощитових слід утримувати зачиненими. На дверях цих приміщень повинно бути вказане місце знаходження ключів. Стан вогнезахисної обробки деревинних конструкцій перевіряється не менше одного разу на рік зі складанням акта перевірки; організація, яка проводить вогнезахисну обробку складає акт про виконану роботу. У складських приміщеннях зберігання різних речовин та матеріалів має здійснюватися з урахуванням їх пожежонебезпечних, фізико-хімічних властивостей і сумісності. Спільне зберігання легкозаймистих та горючих рідин з іншими матеріалами, зберігання кислот у місцях, де можливе їх стикання з речовинами органічного походження не дозволяється, матеріали необхідно зберігати на стелажах або укладати у штабелі, залишаючи між ними проходи шириною

не менше 1м. відстань між стінами та штабелями повинна бути не менше 0,8м. Зберігання навалом та впритул до приладів і труб опалення не дозволяється. Приміщення, де використовуються комп'ютери, слід оснащувати переносними вуглекислотними вогнегасниками. Персональні комп'ютери після закінчення роботи на них повинні відключатися від електромереж.

5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1. Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи промислового підприємства розуміють здатність його у надзвичайних ситуаціях випускати продукцію в запланованому об'ємі та номенклатурі, а при отриманні пошкоджень, руйнувань або порушенні зв'язків по кооперації, відновлювати виробництво в мінімальні терміни. Це розуміння стійкості поширюється у тому числі на підприємства харчової та переробної промисловості.

Стійкість підприємств харчової промисловості в умовах НС є особливо важливою, оскільки забезпечення населення продуктами харчування має здійснюватися навіть після виникнення масштабних надзвичайних ситуацій. У той же час як сировина так і готова продукція харчових підприємств має властивість швидко псуватися, що значно ускладнює забезпечення стійкості, зокрема технологічної.

Дослідження стійкості роботи підприємства – це всебічне вивчення обстановки, яка може скластися під час надзвичайної ситуації та визначення її впливу на виробничу діяльність підприємства. Мета дослідження полягає в тому, щоб виявити слабкі місця в роботі об'єкта та виробити найбільш ефективні пропозиції, спрямовані на підвищення його стійкості.

Дослідження стійкості роботи підприємства проводиться силами інженерно-технічного персоналу із залученням спеціалістів науково-дослідних та проектних організацій. Організатором та керівником досліджень є керівник підприємства.

Увесь процес планування і проведення досліджень поділяється на три етапи:

I етап — підготовчий;

II етап — оцінка стійкості роботи об'єкта;

III етап — розроблення заходів, які підвищують стійкість роботи підприємства в умовах надзвичайної ситуації.

На першому етапі розробляються керівні документи, які визначають склад учасників досліджень та організовується їх підготовка.

Основними документами для організації досліджень стійкості роботи об'єкта є: наказ керівника підприємства, щодо проведення дослідження; календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень; план проведення досліджень.

Наказ керівника підприємства розробляється на підставі вказівок старшого начальника з урахуванням умов пов'язаних з виробничою діяльністю об'єкта. В наказі вказується: мета і завдання дослідження; терміни проведення робіт; склад учасників досліджень; склад і завдання дослідницьких груп; строки готовності облікової документації.

Календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень визначає: основні заходи; терміни їх виконання; відповідних виконавців; сили та засоби, які залучаються для виконання завдань.

План проведення досліджень є основним документом, який визначає зміст роботи керівника дослідження і груп головних спеціалістів. В плані вказується: тема дослідження; мета дослідження; тривалість дослідження; склад дослідницьких груп та зміст їх роботи; порядок проведення дослідження. Термін дослідження встановлюється залежно від обсягу роботи та підготовки учасників і може тривати 2 – 3 місяці. Залежно від складу

основних виробничо-технічних служб на об'єкті створюються дослідницькі групи. Їх кількість і чисельність залежить від обсягу вирішуваних завдань та специфіки виробництва.

На підготовчому етапі з керівниками груп проводиться спеціальне заняття, на якому керівник підприємства доводить до виконавців план роботи, завдання кожної групи та визначає терміни дослідження.

На другому етапі проводиться безпосереднє дослідження стійкості роботи об'єкта. В ході дослідження визначаються умови захисту робітників та службовців від уражаючих факторів, проводиться оцінка уразливості виробничого комплексу від різних уражаючих факторів, оцінюється характер можливих пошкоджень від вторинних уражаючих факторів, вивчається стійкість роботи системи забезпечення та кооперативних зв'язків з іншими об'єктами, з'ясовуються вразливі місця в системі управління, виробництвом.

Кожна група оцінює стійкість відповідних елементів виробничого комплексу та робить необхідні розрахунки.

Штаб Цивільної оборони ОГД в цей період оцінює загальний стан ІДО і визначає заходи для забезпечення захисту робітників і службовців. Для цієї роботи притягається ряд начальників служб, які виконують відповідні функції. Служба оповіщення і зв'язку вивчає і оцінює стійкість зв'язку з органами ЦО, виробничими підрозділами і формуваннями ЦО. Оцінює надійність системи зв'язку і оповіщення, повноту обладнання пунктів управління. Служба сховищ і укриттів оцінює інженерний захист робітників і службовців, правильність експлуатації сховищ і укриттів, готовність їх до використання за прямим призначенням. Розраховує час на оповіщення робітників і службовців, збір і укриття їх в захисних спорудах.

Служба радіаційного та хімічного захисту оцінює можливості роботи об'єкта в умовах радіації і дає пропозиції щодо захисту робітників і службовців від радіоактивного зараження, визначає типові режими радіаційного захисту людей, розробляє графік робочих змін для проведення РіНР. Аналізує забезпеченість робітників і службовців засобами

індивідуального захисту, умови зберігання і порядок їх видачі. Готує пропозиції щодо організації і ведення радіаційної і хімічної розвідки, організації санітарної обробки людей, знезараження одягу, транспорту, техніки і споруд.

Медична служба розробляє заходи щодо організації медичного обслуговування робітників та службовців на об'єкті і в заміській зоні, а також при проведенні РіНР. Визначає сили і засоби для надання першої медичної допомоги потерпілим. Виробляє рекомендації з організації дозиметричного контролю при перебуванні людей у зоні радіоактивного зараження і рекомендації з захисту продуктів харчування і джерел водопостачання.

Служба охорони громадського порядку розробляє заходи з підсилення пропускнуго режиму, охороні матеріальних цінностей, забезпечення громадського порядку.

На третьому етапі підводяться підсумки проведених досліджень. Групи спеціалістів за підсумками досліджень готують підсумки і пропозиції з захисту робітників та службовців і підвищенню стійкості елементів виробництва, які досліджуються.

Група комплексних досліджень на основі доповідей інших груп складає загальний план, в якому визначаються: можливості щодо захисту робітників і службовців в ЗС; загальна оцінка стійкості об'єкта, найбільш слабкі (вразливі) ділянки виробництва; практичні заходи, терміни та обсяги робіт, які виконуються при повсякденній діяльності та при загрозі АС; порядок та приблизні строки відновлюваних робіт при різних ступенях руйнування. За результатами досліджень розробляються плани, в яких визначаються відповідні заходи, необхідні кошти на їх проведення, терміни і відповідальні особи за їх виконання.

Правильність проведених розрахунків та реальність пропозицій і рекомендацій перевіряються на спеціальних навчаннях під керівництвом начальника ЦО об'єкта. Завчасно плануються і проводяться, в основному, заходи які потребують значних матеріальних витрат та часу на їх виконання.

Економічна ефективність цих заходів може бути досягнута при їх коригуванні з завданнями щодо безаварійної-роботи об'єкта, поліпшення умов праці, удосконаленню виробничого процесу, реконструкції виробництва і таке інше.

5.2.2. Основні задачі підвищення стійкості переробних підприємств

Організація і забезпечення захисту населення від сучасних засобів поразки і наслідків аварій, катастроф і стихійних лих — головна задача цивільної оборони. Люди, як відомо, складають найвищу цінність суспільства, і забезпечення їхньої безпеки — найважливіша мета всіх оборонних заходів. Забезпечення захисту населення від сучасних засобів нападу досягається проведенням цілого комплексу заходів, спрямованих на максимальне ослаблення результатів впливу зброї масової поразки, і створенням сприятливих умов для проживання і діяльності населення, функціонування об'єктів і сил цивільної оборони при виконанні задач. До таких заходів відносяться: забезпечення всього населення захисними спорудженнями і засобами індивідуального захисту; загальне обов'язкове навчання населення способам захисту від зброї масової поразки і діям по ліквідації наслідків нападу супротивника, аварій, катастроф і стихійних лих; розосередження робітників, службовців і евакуація населення з великих міст і зон можливого затоплення; забезпечення життєдіяльності евакуйованого населення; проведення протиепідемічних, санітарно-гігієнічних, спеціальних профілактичних і інших медичних заходів. В інтересах захисту населення організуються і проводяться такі заходи, як розвідка, оповіщення про повітряну небезпеку, про радіоактивне, хімічне, бактеріологічне зараження і катастрофічне затоплення, а також ряд заходів, що відносяться до інших груп задач.

Важлива група задач ЦО — забезпечення стійкого функціонування народного господарства в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу.

Усталена робота об'єктів агропромислового комплексу дає можливість забезпечити населення країни достатньою кількістю основних продуктів харчування, а промисловістю-сировиною.

Підвищення стійкості роботи об'єктів агропромислового комплексу і переробних підприємств досягається завчасним проведенням комплексу організаційних, інженерно-технічних, агротехнічних, зооветеринарних і інших заходів, спрямованих на максимальне зниження результатів впливу зброї масової поразки на об'єкти, а також створення умов для швидкої ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій і забезпечення виробництва доброякісної харчової продукції.

Першорядне значення в підвищенні стійкості роботи переробного підприємства має організація надійного захисту людей, сировини, обладнання і продуктів переробки від впливу шкідливих факторів, а також забезпечення стійкого керування службами і силами ЦО об'єкта й організація робіт з ліквідації наслідків нападу супротивника і відновленню нормальної виробничої діяльності об'єкта.

На стійкість роботи об'єктів народного господарства в надзвичайних ситуаціях впливають наступні фактори:

- надійність захисту робітників та службовців від дії уражуючих факторів;
- здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти в певній степені ударній хвилі, світловому випроміненню і радіації;
- захищеність об'єкта від вторинних уражуючих факторів (пожеж, вибухів, зараження отруйними речовинами);
- надійність системи забезпечення об'єкту всім необхідним для виробництва продукції (сировиною, паливом, комплектуючими виробами, електроенергією, водою, газом);
- стійкість і неперервність управління виробництвом та цивільною обороною;

- підготовленість об'єкту до ведення рятувальних і невідкладних аварійновідновлювальних робіт та робіт по відновленню порушеного виробництва.

Однією з основних задач цивільної оборони є проведення міроприємств, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій, тобто здатності його виконувати свої функції в цих умовах.

Перераховані фактори визначають собою і основні, загальні для всіх об'єктів народного господарства, шляхи підвищення стійкості роботи в надзвичайних ситуаціях, а саме:

- забезпечення надійним захистом робітників і службовців від дії уражуючих факторів;
- захист основних виробничих фондів від уражуючих факторів;
- підвищення надійності та оперативності управління виробництвом;
- підготовка до відновлення порушеного виробництва.

Загальні висновки

При відтиску молочної сироватки із казеїну на шнекових пресах ключовим фактором є дотримання оптимальних значень робочого тиску. Дослідження показали, що при недостатньому тиску значна частина сироватки залишається в порах казеїну, тоді як надмірний тиск призводить до її запресовування, що також знижує ефективність відтиску. Таким чином, оптимальні умови досягаються при тиску, за якого кількість відведеної сироватки є максимальною.

Початкова пористість казеїну визначається температурою його нагрівання, що впливає на ступінь коагуляції білкових частинок.

Характер деформації казеїнового шару визначається поступовим протіканням процесу: деформація не відбувається миттєво, а досягає стабілізованого стану після певного часу. Тривалість консолідації залежить від товщини шару осаду та його стисливості. Близько 70 % загальної деформації відбувається протягом перших 3–5 хвилин, після чого швидкість деформації значно зменшується.

Коефіцієнт консолідації казеїну є узагальненою характеристикою процесу формування шару. У ході формування тиск у скелеті неперервно змінюється, що відображається на відповідних змінах коефіцієнта консолідації. Максимальна швидкість його зміни спостерігається на початковому етапі, коли тиск у скелеті відносно низький.

Максимальна пружна деформація шару казеїну після розвантаження становить 0,1–0,2 мм і безпосередньо залежить від товщини шару. Визначили залежність модуля стисливості від тиску. Встановили рівняння залежності коефіцієнту консолідації від тиску процесу відтиску. Отримали залежності для розрахунку граничного напруження зсуву у залежності від температури казеїну.

Економічний ефект від впровадження цих оптимальних значень тиску полягає у підвищенні ефективності відтиску казеїну в шнековому пресі та зменшенні витрат енергії на подальший процес сушіння.

Зменшення вологості казеїну на виході з шнекового пресу навіть на 1 % забезпечує економію близько $3 \cdot 10^6$ Дж теплової енергії за одну годину роботи сушильної установки.

Перелік посилань

1. Крупа В.В. Кваліфікаційна робота магістра: структура, вимоги до виконання та захист: Методичні рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти. Крупа В.В. та ін. Тернопіль, ТНТУ, 2023р. 66 с.
2. T. M. Afzal, T. Abe, Y. Hikida. Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley. *Journal of Food Engineering*. 1999 Dec; 42(4):177-182.
3. A. Sumorek, W. Pietrzyk. Influence of corona wind on the convective drying course. *International Agrophysics*. 2001 Jan; 15:125-129.
4. D.Wray, H.S. Ramaswamy Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Drying Technology*. 2015 Apr; 7(33):769-783.
5. M. Zhanga, J. Tangb, A. S. Mujumdar, S. Wangb. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*. 2006 Oct; 10(17):524-534.
6. Малезик І.Ф. Дослідження процесу НВЧ-сушіння морквяних вичавок при одержанні каротиновмісного збагачувача / І.Ф. Малезик, О.С. Бессараб, Г.М. Бандуренко, Т.М. Левківська // Наукові праці ОНАХТ. – 2014. – №45. – С.51-55.
7. Кравець О.І. Особливості фільтраційно-компресійного сушіння харчових мас / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // матеріали Міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 14-15 трав. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 223..
8. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // *Scientific Journal of TNTU*. — Tern.: TNTU, 2024. — Vol 114. — No 2. — P. 111–118.

9. Лобур Д.Ю. Шляхи зниження енергоємності процесів сушіння дисперсних матеріалів / Д.Ю. Лобур, О.І. Кравець // зб. тез доп. XIII Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 335-336.

10. Кравець О.І. Компресійно-фільтраційне сушіння пружно-пластичних харчових мас / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток технічних наук: проблеми та рішення» – Брно, Чеська Республіка, – 2018. – С. 56-59.

11. Савич, І. А., Кравчук, А. С., Стадницький, М. А., Шинкарик, М. М., & Кравець, О. І. (2025). Підвищення ефективності процесів відтиску та сушіння казеїну. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції „Стан і перспективи харчової науки та промисловості “присвяченої 30-річчю заснування кафедри харчової біотехнології і хімії ТНТУ імені Івана Пулюя, 125-126.

12. В.І. Кравець. Конструкція шнекової фільтраційної сушарки / Кравець В.І., Стадницький М.А., Кравець О.І., Шинкарик М.М. // зб. тез доп. XIV Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2025 р. Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 427.

13. М.А. Стадницький. Сучасні тенденції підвищення ефективності сушіння / Стадницький М.А., Кравець В.І., Савич І.А., Кравець О.І. // зб. тез доп. XIV Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2025 р. Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 431.

14. Стадницький М.А. Зміна вологості казеїну у процесі його сушіння / М.А. Стадницький, В.І. Кравець, М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // мат. Міжнародної науково-практичної конференції: «БІОТЕХНОЛОГІЇ ПРОДОВОЛЬЧИХ ПРОДУКТІВ: ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ» з нагоди 80 – річниці ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод» 25 листопада 2025 р. м. Київ : ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод». 2025. С.125-126.

15. Кравець В.І. Вплив пористості казеїну на процес його компресійно-фільтраційного сушіння / В.І. Кравець, М.А. Стадницький, М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // мат. Міжнародної науково-практичної конференції: «Біотехнології продовольчих продуктів: проблеми і перспективи» 10 грудня 2024 р. м. Київ : ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод». 2024. С.41-44.

16. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

17. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.

Додатки

Специфікації