

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІДРОЛІЗАТУ, ОДЕРЖАНОГО ІЗ ПШЕНИЦІ

Башта А.О., Манк В.В., Немирович П.М., Лагода В.А., Погорілий Т.М.—

Національний університет харчових технологій

Вивчено основні фільтрувальні властивості гідролізату, одержаного із пшениці ферментативним методом. Визначено коефіцієнт консолідації осаду, який є узагальненим показником фільтрувальних властивостей гідролізату і дозволяє встановити оптимальний тиск фільтрування.

За останні роки світове виробництво крохмалепродуктів розвивається швидкими темпами, розробляються і широко впроваджуються новітні технології їх одержання.

В Україні асортимент цукристих крохмалепродуктів є досить обмеженим, а сировина залишається традиційною – кукурудза і картопля. Недостатня увага приділяється розробленню та впровадженню сучасних технологій крохмалепродуктів із нетрадиційної сировини (пшениця, жито, ячмінь, сорго, рис). В той же час з урахуванням обсягів виробництва та цін на пшеницю шостого класу, масової частки в ній крохмалю, тенденцій використання фуражного зерна на перспективу, використання такої пшениці як нетрадиційної крохмалевмісної сировини є досить актуальним. Застосування сучасних ферментних препаратів дозволяє нині отримувати цукристі крохмалепродукти безпосередньо із сировини без проміжного видалення чистого крохмалю. Такі технології значно простіші, потребують менших виробничих витрат порівняно з традиційними, дозволяють комплексно використати сировину з одержанням цінних кормових добавок.

Основним недоліком ферментативного розріджування крохмалю є ускладнене фільтрування крохмальних гідролізатів, яке викликане двома головними причинами. Це, по-перше, неповна клейстеризація зерен крохмалю, і

по-друге, явище ретроградації, пов'язане з утворенням водневих зв'язків між лінійними молекулами амілопектину і їх агрегацією. Дрібні частинки ретроградованого крохмалю погіршують фільтрувальні властивості гідролізату. Крім того, високий вміст в твердій фазі органічних речовин (білки, геміцелюлоза, клітковина) приводить до того, що осад, який відділяється при фільтруванні, є досить стисливим.

Метою даної роботи є дослідження основних фільтрувальних властивостей гідролізату (пористості, питомого об'ємного опору та модуля стисливості осаду), одержаного із пшениці без попереднього вилучення крохмалю.

Слід зазначити, що в літературі практично відсутні дані щодо досліджень фільтрувальних властивостей гідролізатів із нетрадиційної сировини.

Фільтрувальні властивості суспензій визначають швидкість їх фільтрування, ефективність промивання осаду та повноту його видалення з фільтрувальної перегородки.

Швидкість фільтрування суспензій визначається головним чином показниками, якими характеризують утворений осад [1–3], а також опором фільтрувальної перегородки та шару допоміжної фільтрувальної речовини, що може за потреби попередньо наливатись на неї.

Відповідно до сучасних уявлень про механізм фільтрування суспензій через шар осаду, що утворюється на поверхні фільтрувальної перегородки, осад характеризується двома параметрами: проникністю, що визначає його гідродинамічну провідність, і стисливістю, яка враховує гідравлічну ємність осаду. Проникність осаду визначається законом Дарсі, а для оцінки його стисливості використовується закон ущільнення [4]. Відповідно, фільтрувальні властивості суспензій також оцінюються двома показниками: питомим опором осаду і його модулем стисливості. Перший з цих показників одержав загальноприйняте використання в теорії і практиці фільтрування. Він є величиною, оберненою проникності осаду і характеризує опір структури осаду

потокі рідкої фази за інших рівних умов – тиску, температури тощо.

Аналіз процесів фільтрування суспензій на основі вивчення тільки питомого опору і модуля стисливості осаду є неповним і не дозволяє визначити оптимальний тиск на шар осаду, при якому досягається найбільш ефективне фільтрування. Тому для встановлення найбільш ефективних режимів фільтрування в роботах [4, 5] запропонований третій показник – коефіцієнт консолідації осаду, який є узагальнюючою характеристикою процесу.

Слід зазначити, що поряд з наведеними показниками, для оцінювання фільтрувальних властивостей суспензій важливим є також пористість утвореного осаду, яка визначається фізико-хімічними властивостями суспензії, перш за все, характеристиками її твердої фази. В свою чергу, від пористості осаду залежать його питомий опір і стисливість. Тому дослідження фільтрувальних властивостей суспензій доцільно розпочинати з визначення пористості осаду. Знання цього показника необхідне як для аналізу механізму і закономірностей процесу фільтрування, так і вибору ефективних фізико-хімічних способів його інтенсифікації.

В даній роботі досліджувались фільтрувальні властивості гідролізату, одержаного ферментативним гідролізом пшениці шостого класу, після стадій клейстеризації та розріджування крохмалю. В гідролізаті після розріджування знаходиться ретроградований крохмаль, клітковина, білкові речовини, жир у вигляді емульсії (в основному гідролізний). При коагулюванні білків емульсія руйнується, частинки жиру з'єднуються в крупні краплини та з пластівцями білків. Ці утворення, клітковина, а також інші нерозчинні домішки підлягають видаленню із гідролізатів після розріджування. Гідролізат мав такі технологічні показники: GE – 18...22%, CP – 23...28%, pH – 4, 75.

Для стисливих осадів їх пористість змінюється по товщині шару. Тому на практиці, як правило, приймають величину середньої пористості ($\bar{\varepsilon}$), яка є часткою вільного об'єму осаду (відношення об'єму пор до об'єму осаду) і розраховується за формулою [3]:

$$\bar{\varepsilon} = 1 - \frac{m_T}{\rho_T \cdot V_0}, \quad (1)$$

де m_T – маса твердої фази, кг; ρ_T – густина твердої фази, кг/м³; V_0 – об'єм осаду, м³.

Середня пористість визначалась в момент звільнення поверхні осаду від рідини, оскільки при подальшому просушуванні відбувається його ущільнення. При цьому для визначення $\bar{\varepsilon}$ за різних тисків спочатку фільтрували суспензію за перепаду тисків $\Delta P = 0,05$ МПа, а потім, не даючи поверхні осаду звільнитись від рідкої фази, додавали чистий фільтрат і проводили фільтрування з поступовим підвищенням тиску, визначаючи для кожного перепаду тисків товщину шару осаду.

Густина твердої фази визначалась пікнометричним методом [6], в якості пікнометричної рідини використовували ізооктан. Середня густина твердої фази складала 1446 кг/м³, що погоджується з величинами густин окремих складових пшениці (білок – 1180 кг/м³, зерно пшениці – 1370...1420 кг/м³ та крохмалю – 1550 кг/м³).

Встановлено, що за перепадів тисків 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 МПа середня пористість осаду (при початковій товщині шару осаду 2 см) відповідно становила 0,7; 0,69; 0,67; 0,63; 0,62; 0,61; 0,6. Поступове зниження цього показника пов'язано зі зміною структури осаду внаслідок місцевих зсувів частинок, часткового руйнування агрегатів, більш щільної упаковки шару осаду [4]. Можлива також дифузія дрібних частинок всередині пор осаду.

Поряд із середньою пористістю осаду на практиці широко використовують інший показник – середній коефіцієнт пористості ($\bar{e}$), який являє собою відношення об'єму пор осаду до об'єму його твердої фази:

$$\bar{e} = \frac{\bar{\varepsilon}}{1 - \bar{\varepsilon}}. \quad (2)$$

Як видно із рис. 1, залежність середнього коефіцієнта пористості (при початковій товщині шару осаду 2 см) має нелінійний характер і описується наступним емпіричним рівнянням:

$$\bar{e} = 6,06 - 0,34 \ln(\Delta P). \quad (3)$$

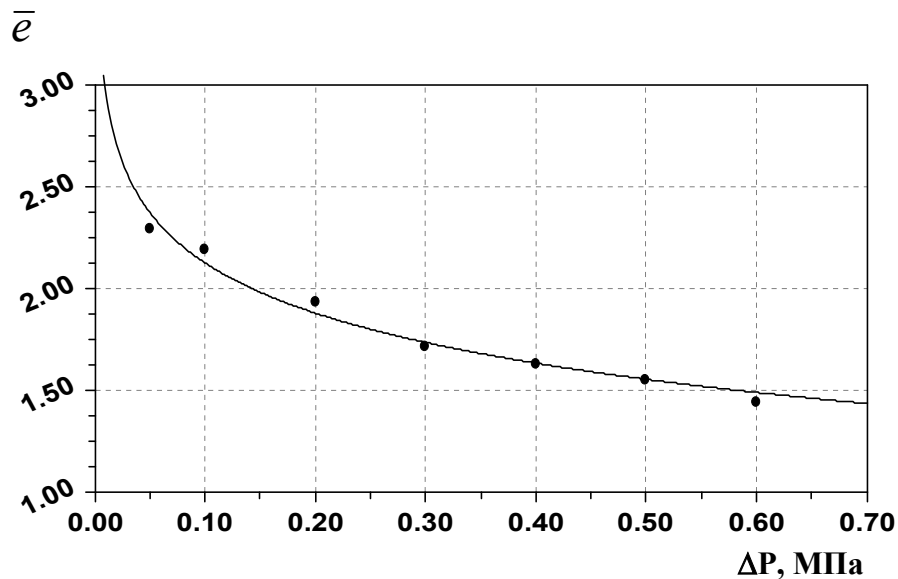


Рис.1. Залежність середнього коефіцієнта пористості $\bar{e}$ осаду гідролізату від перепаду тисків ΔP

Опір осаду потоку рідкої фази характеризують величиною об'ємного або масового питомого опору. Перший з цих показників отримав на практиці більш широке використання.

Питомим об'ємним опором осаду r_0 називають гідравлічний опір одиниці об'єму осаду з рівномірною пористістю товщиною 1м потоку рідкої фази з коефіцієнтом динамічної в'язкості 1 Па·с. Розмірність показника – м⁻².

Як відзначалось вище, пористість осаду змінюється по його товщині. Тому на практиці користуються поняттям середнього питомого об'ємного опору ($\bar{r}_0$), який визначається його середньою пористістю ($\bar{e}$).

Для визначення $\bar{r}_0$ використовувалась загальноприйнята методика [1, 3], що базується на дослідах з фільтрування суспензії за безперервного зростання шару осаду. При цьому будувались графіки в координатах $\tau/V' - V'$, де τ – тривалість фільтрування, V' – питомий об'єм фільтрату, тобто відношення об'єму фільтрату до площі фільтрування (м³/м²).

В указаних координатах одержані залежності (рис. 2) представляють собою рівняння прямої лінії, нахиленої до осі абсцис:

$$\tau / V' = M \cdot (V' - V'_0) + N, \quad (4)$$

де M і N константи.

При фільтруванні з утворенням стисливого осаду в початковий період спостерігається більш висока швидкість протікання рідини через перегородку і осад, що ще не сформувався в шар певної товщини. Це пов'язано з впливом інерційних ефектів [4], які приводять до порушення лінійного закону фільтрування. Тому лінійна залежність τ/V' від V' дотримується при $V' \geq V'_0$, (рис.2), де V'_0 – початковий питомий об'єм фільтрату, за якого залежність τ/V' від V' є лінійною.

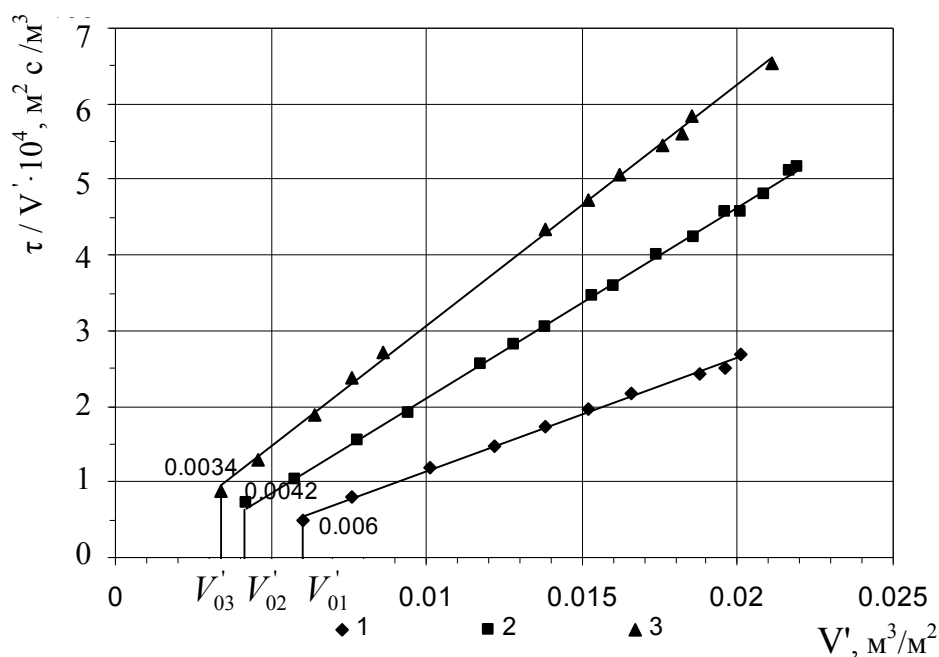


Рис. 2. Криві кінетики фільтрування гідролізату в характеристичних координатах: 1 – з наливом шару фільтроперліту; 2 – з наливом шару кізельгуру; 3 – без наливу порошку

Як видно із рис. 2 величина V' залежить від структурно-механічних властивостей твердої фази гідролізату і виду фільтрувального порошку, що наливається на фільтрувальну тканину. Так, питомий об'єм фільтрату V' менше у разі наливання кізельгуру порівняно з фільтроперлітом.

З підвищенням тиску фільтрування величина V'_0 зростає (рис. 3).

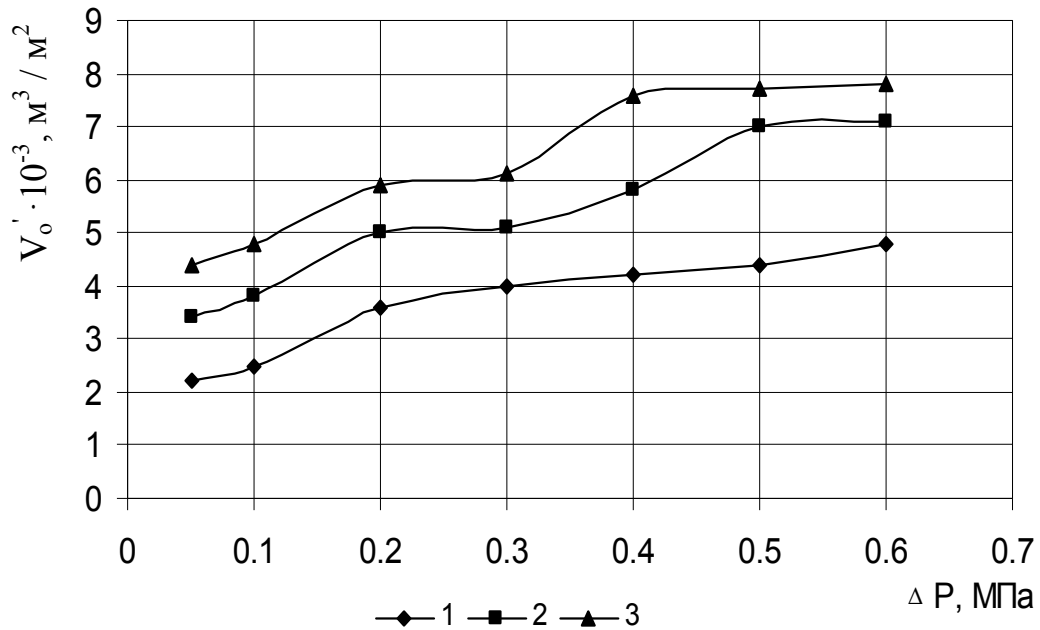


Рис. 3. Залежність величини початкового питомого об'єму фільтрату від різниці тисків: 1 – з шаром фільтроперліту; 2 – з шаром кізельгуру; 3 – без шару допоміжного порошку

Величини M і N в рівнянні (4) визначались графічно (рис. 2) та можуть бути розраховані за формулами [4]:

$$M = \frac{\mu \cdot \bar{r}_o \cdot u}{2 \cdot \Delta P} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta P}{2 \cdot \bar{G}} \cdot u}; \quad (5)$$

$$N = \frac{\mu \cdot (R_n + R_{\text{д.ф.р}})}{\Delta P}, \quad (6)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с; u – відношення об'єму осаду до об'єму фільтрату; $\bar{G}$ – середній модуль стисливості осаду, Па.

Середній модуль стисливості осаду визначався для різних величин ΔP двома методами з використанням наступних рівнянь [4]:

через величину середньої пористості осаду $\bar{\varepsilon}$

$$\bar{G} = (1 - \bar{\varepsilon}) \cdot \frac{\partial \Delta P}{\partial \bar{\varepsilon}} = \frac{\partial \Delta P}{\partial \bar{\varepsilon}} \cdot (1 + \bar{\varepsilon}); \quad (7)$$

та через величину u

$$\bar{G} = u \cdot (1 + u) \cdot \frac{\partial \Delta P}{\partial u} \quad (8)$$

Перед цим визначали величини u і середнього коефіцієнта пористості $\bar{e}$ та встановлювали конкретний вид залежності параметру $\bar{e}$ від ΔP . Так, наприклад (див. рис. 1), при визначенні в дослідях по фільтруванню величини $\bar{e}$ отримали залежність $\bar{e} = \bar{e}(\Delta P)$, яка має такий характер: $\bar{e} = a - b \cdot \ln(\Delta P)$, де a і b – сталі. Тоді на основі рівняння (7) та після певних математичних перетворень формула для обчислення середнього модуля стисливості осаду $\bar{G}$ через коефіцієнт пористості $\bar{e}$ має вигляд:

$$\bar{G} = (1 + (a - b \cdot \ln(\Delta P))) \cdot \frac{\Delta P}{b} \quad (9)$$

Якщо в дослідях по фільтруванню визначається величина u , то залежність $u = u(\Delta P)$ має степеневий характер: $u = k \cdot (\Delta P)^n$, де k і n – сталі. Тоді модуль стисливості на основі рівняння (8) розраховували за формулою:

$$\bar{G} = (1 + k \cdot (\Delta P)^n) \cdot \frac{\Delta P}{n} \quad (10)$$

На основі одержаних експериментальних даних будувались графіки в координатах τ/V' від V' (рис. 4) для різних перепадів тисків ΔP ($\Delta P = 0,05 \dots 0,6$ МПа) при вмісті сухих речовин у вихідній суспензії 30 % і температурі фільтрування + 90 °С.

Як видно графіки залежностей τ/V' від V' для різних тисків ΔP мають прямолінійний характер. Це підтверджує, що досліджуваний процес належить до фільтрування з утворенням стисливих осадів.

На основі визначених величин M і G визначали значення $\bar{r}_0$:

$$\bar{r}_0 = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot M}{\mu \cdot u} \cdot \left(1 + \frac{\Delta P}{2 \cdot \bar{G}} \cdot u\right) \quad (11)$$

Залежності величин $\bar{G}$ та $\bar{r}_0$ для різних перепадів тиску представлені на рис. 5 і 6.

Коефіцієнт консолідації розраховували за формулою:

$$\bar{b} = \frac{\bar{G}}{\mu \cdot \bar{r}_0} \quad (12)$$

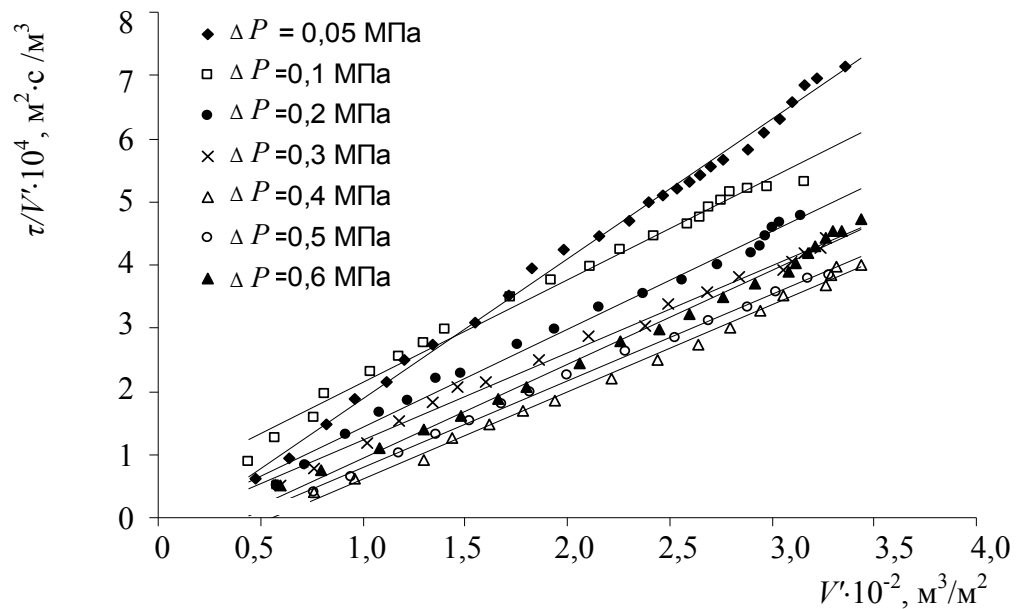


Рис. 4. Закономірності фільтрування суспензії гідролізату в характеристичних координатах за різних тисків

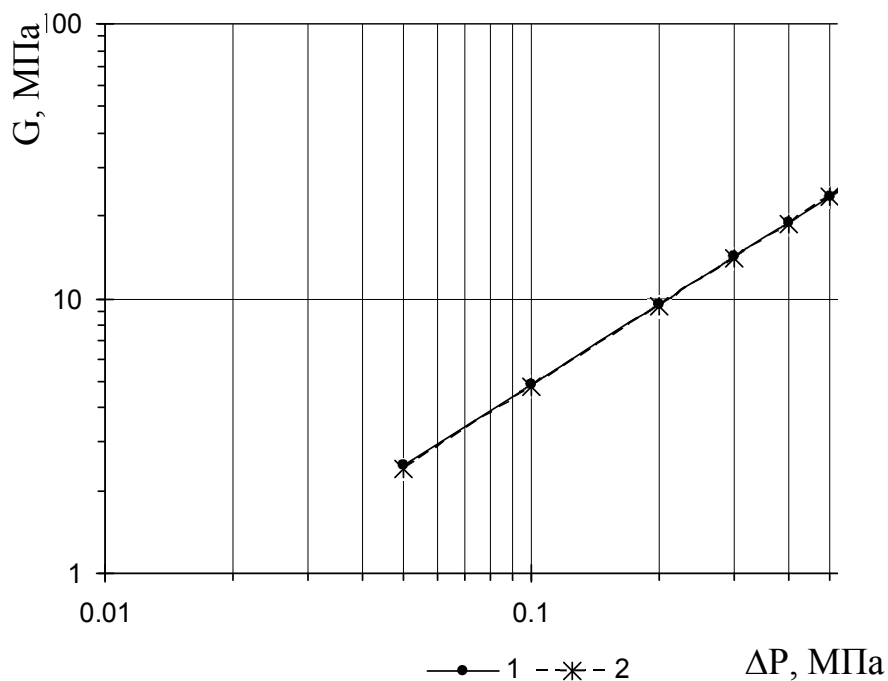


Рис. 5. Залежність величини середнього модуля стисливості осадів від перепаду тисків з урахуванням величин: 1 – ц; 2 – е

На основі одержаних даних розраховані величини $\bar{G}$, $\bar{r}$ та визначений коефіцієнт консолідації осаду, який є узагальненим показником фільтрувальних властивостей суспензії і дозволяє визначити оптимальний тиск фільтрування.

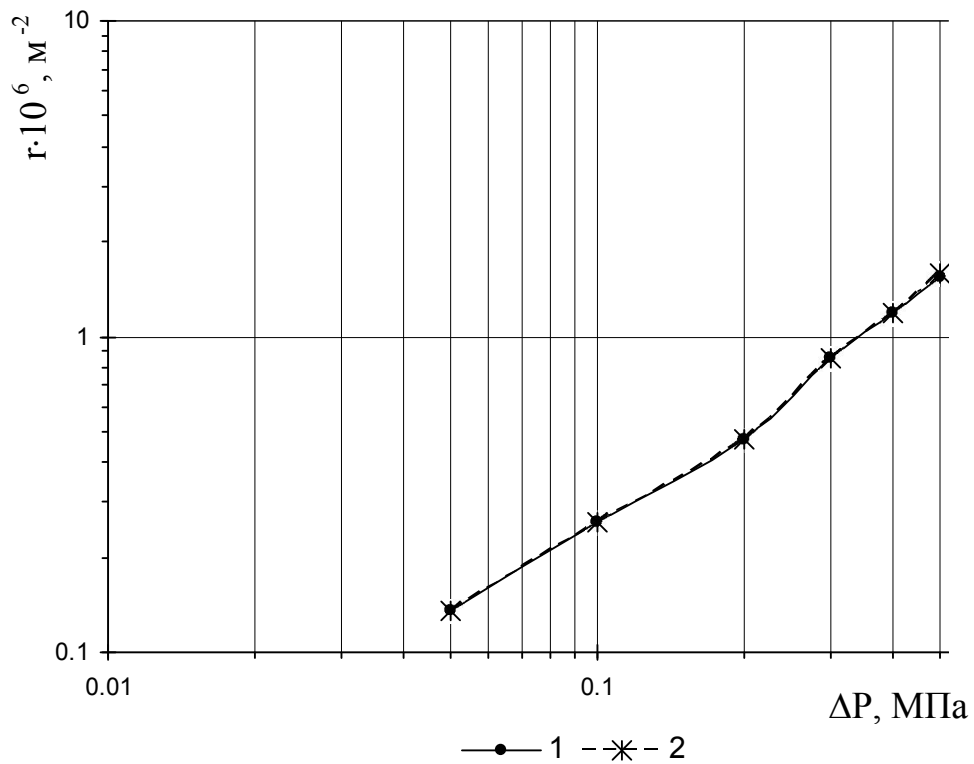
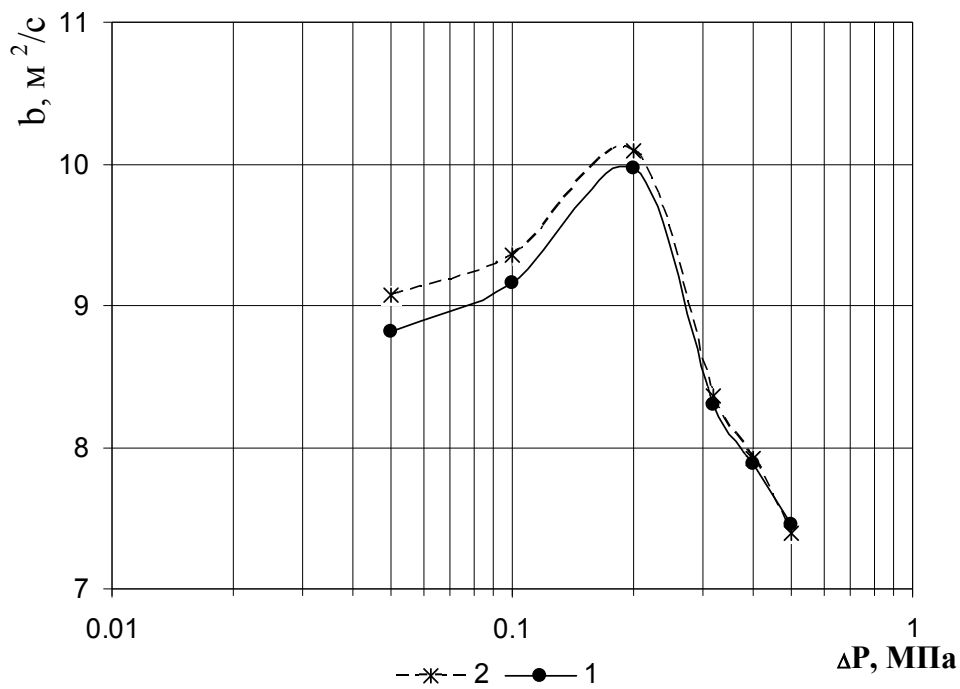


Рис. 6. Залежність середнього питомого опору осадів гідролізатів від



перепаду тисків з урахуванням величин: 1 – α ; 2 – ϵ

Рис. 7. Залежність коефіцієнта консолідації осадів від різниці тисків з урахуванням величин: 1 – u ; 2 – e

Як видно з одержаних результатів (рис. 7), найбільше значення коефіцієнта консолідації становить при перепаді тисків 0,2 МПа, а максимальне значення коефіцієнта консолідації відповідає оптимальному тиску фільтрування.

Таким чином, проведені дослідження дозволили вперше визначити основні фільтрувальні показники гідролізату, одержаного із пшениці. Встановлено, що оптимальний тиск фільтрування складає 0,2 МПа. Одержані результати можуть бути використані при аналізі механізму процесу фільтрування гідролізату, розробленні найбільш ефективних способів інтенсифікації даного процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. – 398 с.
2. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.
3. Разделение суспензий в химической промышленности / Т.А. Малиновская, И.А. Кобринский, О.С. Кирсанов, В.В. Рейнфарт. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
4. Федоткин И.М., Воробьев Е.И., Вьюн В.И. Гидродинамическая теория фильтрования суспензий. – К.: Вища школа. Головное издательство, 1986. – 166 с.
5. Воробьев Е.И., Аникеев Ю.В. Совершенствование фильтровальной техники пищевых производств. – К.: Урожай, 1989. – 136 с.