

УДК 664.48, 641.563

Козак М.М., Терлецька Я.Т., Жукотський Е.К., Декуша Г.В., Шаркова Н.О.

Інститут технічної теплофізики НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕС ЕКСТРАКЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН ІЗ КОЛАГЕН-КІСТКОВОЇ СИРОВИНИ – СУБПРОДУКТІВ ПТИЦІ

У статті проаналізовано та описано вплив теплофізичних параметрів на процес екстракції кальцію із колаген-кісткового фаршу субпродуктів птиці. На основі проведених досліджень обрано оптимальні теплофізичні параметри екстракції. Виведено формулу для підрахунку коефіцієнта масообміну екстракції кальцію в залежності від часу.

В статье проанализировано и описано влияние теплофизических параметров на процесс экстракции кальция из коллаген-костного фарша субпродуктов птицы. На основании проведенных опытов выбраны оптимальные теплофизические параметры экстракции. Выведено формулу для расчета коэффициента массообмена экстракции кальция в зависимости от времени.

In the study has been analyzed and described the influence of thermophysical parameters on the process of extraction of calcium from collagen-bone stuffing of poultry by-products. On the basis of the conducted experiments the optimum thermophysical parameters of extraction have been chosen. It is also shown out a formula for the calculation of a coefficient of mass exchange of extraction of calcium depending on time.

C – концентрація лимонної кислоти;
 G – кількість кальцію, що перейшов у екстракт;
 g – гідромодуль;
 k – коефіцієнт масообміну;

t – температура гідротермічної обробки;
 τ – тривалість процесу;
 МКФ – м'ясо-кістковий фарш;
 с.г. – сільськогосподарський.

Індекси нижні:

\max – максимальне значення.

Вступ

На сьогодні переробка вторинної сировини та розробка раціональних технологій використання субпродуктів залишається актуальною задачею. Для створення продуктів оздоровчої дії при захворюваннях опорно-рухового апарату економічно доцільною сировиною є субпродукти птахівництва, оскільки широке промислове розведення птиці забезпечує стабільність вихідної сировини, а її невисока вартість гарантує невелику вартість кінцевого продукту [1, 2]. Відомо, що хімічний склад ніг сільськогосподарської птиці в основному представлений мінеральними речовинами: фосфор, магній, калій, залізо, цинк з особливо великою кількістю кальцію. Його вміст досягає 60...65% від вмісту всіх макро- та мікроелементів [3].

Літературний огляд та аналіз існуючих технологій переробки субпродуктів птиці показують, що основними напрямками їх використання є реалізація населенню у непереробленому вигляді та виробництво муки для годування тварин [3].

Як відомо, кальцій є основним мінеральним компонентом опорних тканин. В організмі тварин цей елемент на 99 % зосереджений в кістках скелету. Також доказано, що кожні 10 років життя людини мінеральна складова кісткової тканини організму повністю оновлюється. А при виношуванні дитини материнський організм, при нестачі кальцію та інших мінералів у раціоні, може втрачати до третини мінерального складу [4, 5].

Кальцій в організм теплокровних тварин надходить лише із їжею, при чому навіть при най

кращих умовах, його засвоєння не перевищує 50 %. Найкращими умовами для засвоєння кальцію вважають наявність у раціоні лимонної кислоти, вітаміну D₃ та біологічна доступність кальцію [4–6].

Мета роботи

Проаналізувати результати експериментальних досліджень процесу екстракції мінеральних речовин із вторинних продуктів переробки с.г. птиці в залежності від масообмінних параметрів.

Методи дослідження

Масову частку кальцію в МКФ і сухому віджатовому залишку визначали комплексометричним методом (метод сухого озолення) згідно ГОСТ 26570-95.

Визначення мінерального складу дослідного зразка, висушеного на сублімаційній сушарці проводили за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізатора «ElvaX» (ВАТ «Елватех», Україна).

Визначення золи зразків проводили згідно ГОСТ 15113.8-77, вологості – згідно ГОСТ 15113.4-77.

Хід роботи та дослідження

Як відомо, при розробці процесу екстракції тверде тіло – рідина особливі вимоги висуваються до співвідношення та складу фаз, які будуть визначати максимальний ступінь виходу речовин, що екстрагуються. Рушійною силою дифузії компонентів із вихідної речовини в екстракт є різниця концентрації в обох фазах [7]. Тому основною задачею вивчення процесу екстракції мінеральних речовин із ніг сільськогосподарської птиці є визначення необхідних умов для досягнення максимального ступеня вилучення речовин, що екстрагуються.

Визначальне значення при виборі способу екстракції мають процеси масовіддачі, інтенсивність яких обумовлюється поверхнею контакту фаз, температурою, тривалістю процесу та гідромодулем в системі тверде тіло – екстрагент. Для розвитку поверхні масообміну вихідну сировину – ноги птиці – було переведе-

но в м'ясо-кістковий фарш (МКФ).

З метою дослідження процесу екстракції було створено експериментальний стенд, схема якого наведена на рис. 1.

Стенд складається з пристроїв для:

- миття колаген-кісткових субпродуктів;
- подрібнення вихідної сировини до утворення м'ясо-кісткового фаршу (МКФ);
- зважування зразків (електронні ваги 3);
- гідротермічної обробки і екстрагування;
- відокремлення отриманого екстракту (прес 7);
- визначення показника рН, сухих речовин, золи, кальцію (рН-метр 10, рефрактометр 12, сушильна шафа 8, муфельна піч 9, спектрофотометр СФ-26 11).

Сушіння розчину екстракту проводили на сублімаційній сушарці.

На експериментальному стенді проведено комплекс досліджень щодо вивчення впливу тепломасообмінних параметрів на вихід кальцію із МКФ при екстрагуванні водою та водним розчином лимонної кислоти.

Для дослідження інтенсивності екстракції були вибрані такі параметри:

- C – концентрація лимонної кислоти у воді ($C = 1 \dots 10 \%$);
- g – гідромодуль ($g = 2 \dots 5$);
- t – температура гідротермічної обробки ($t = 60 \dots 105 \text{ }^\circ\text{C}$);
- τ – тривалість процесу ($\tau = 5 \dots 90$ хв).

Дослідження впливу виду екстрагенту (води та водного розчину лимонної кислоти різних концентрацій) на процес екстракції кальцію проводили наступним чином: в металеві стакани, що герметично закриваються, вносили наважки підготовленого м'ясо-кісткового фаршу масою по 40 г і по 120 мл (гідромодуль $g = 3$) води або водного розчину лимонної кислоти кімнатної температури певної концентрації ($C = 0; 1; 2; 5; 7$ та 10%), ретельно перемішували до утворення однорідної маси і герметично закривали.

Ємність із зразками розміщували в пристрій для гідротермічної обробки і екстракції, де вони нагрівалися водяною парою до темпе-

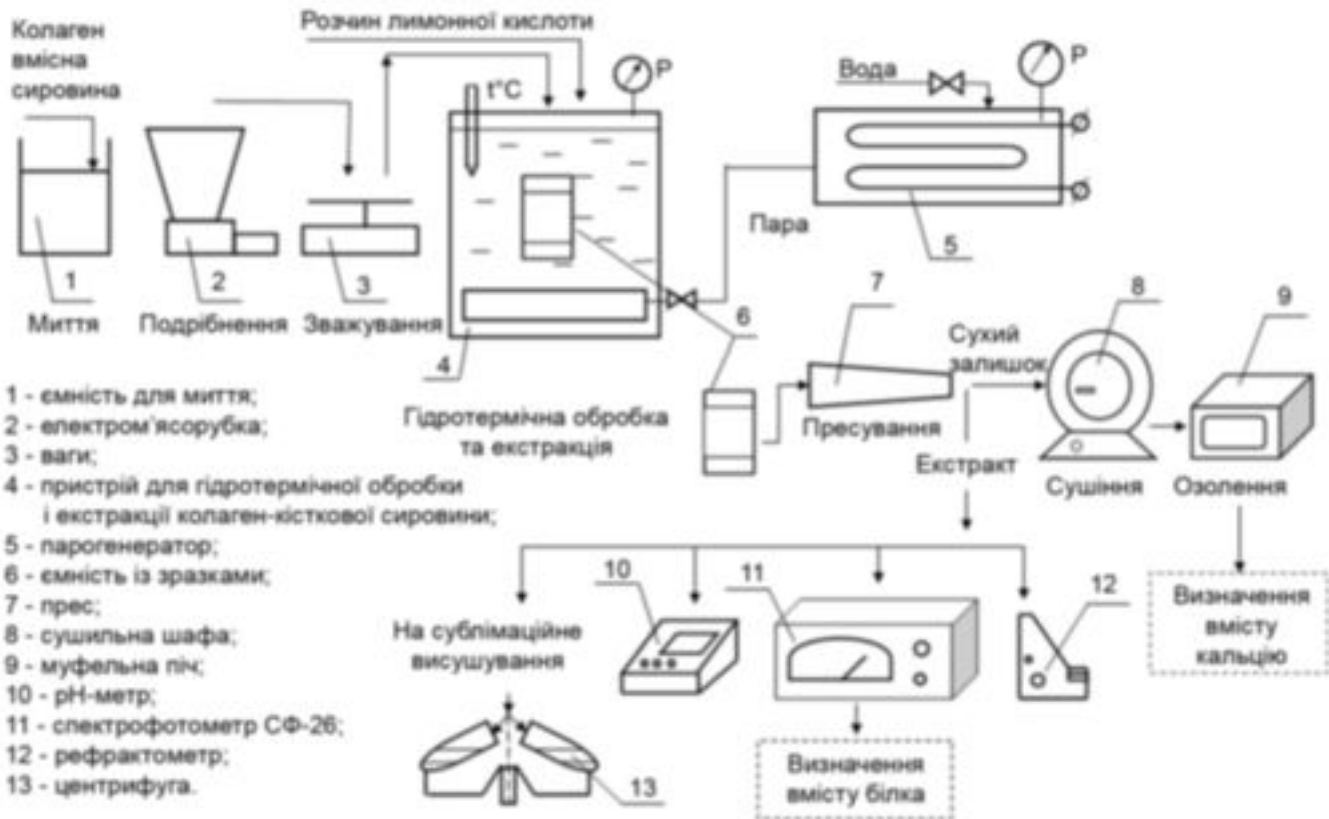


Рис. 1. Схема експериментального стенду для напрацювання дослідних партій.

ратури $t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$ і витримували впродовж $\tau = 30$ хв. Суміш, що пройшла термообробку охолоджували до $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ та віджимали екстракт на пресі. Отриманий екстракт поступав на подальші дослідження.

Результати досліджень процесу екстракції кальцію із МКФ в залежності від концентрації лимонної кислоти у водному розчині наведено на рис. 2.

Результати дослідження процесу екстракції мінеральних речовин із МКФ ніг с.г. птиці свідчать про наявність чіткої залежності виходу кальцію в екстракт від виду екстрагенту та його концентрації. При проведенні екстракції кальцію у водному середовищі його вихід складає всього 5 %, а введення лимонної кислоти дозволяє розчинити аж до 97 %. Проведений аналіз отриманих результатів показав, що при концентрації лимонної кислоти більше 2 % продукт має виражений кислий смак. Ве-

дення процесу екстракції при $C = 2 \%$ дозволяє вилучити лише 40 % кальцію, але при цьому витрати лимонної кислоти знижуються в 5 разів (у порівнянні з екстракцією при $C = 10 \%$) і дозволяє отримати кінцевий продукт з $\text{pH} = 4,5$ і хорошими органолептичними характеристиками. Слід відміти, що лимонна кислота надає продукту приємний кислуватий смак, не викликаючи подразнення слизової оболонки органів травлення.

Дослідження впливу гідромодуля g в системі МКФ–екстрагент на процес екстракції кальцію проводили при гідромодулях $g = 2; 3; 4; 5$. Концентрація лимонної кислоти складає $C = 2 \%$, температура екстрагування $t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$, тривалість процесу $\tau = 30$ хв. Хід роботи аналогічний попередньому. Отримані результати приведено на рис. 3.

Наведені дані свідчать, що при екстрагуванні МКФ водою без додавання лимонної кисло-

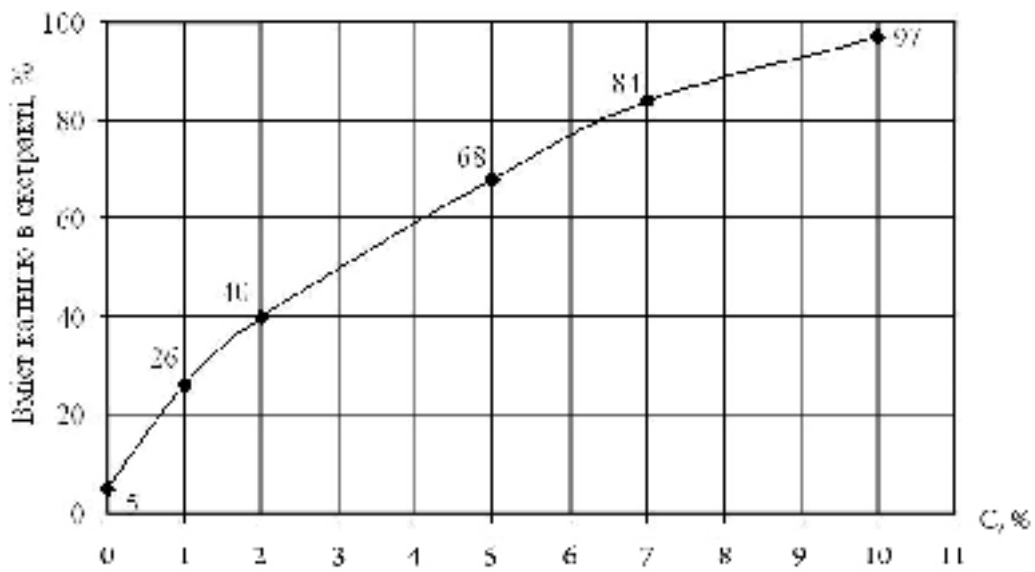


Рис. 2. Вмісту кальцію в екстракті в залежності від концентрації лимонної кислоти у водному розчині при $t = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $g = 3$, $\tau = 30\text{ хв}$.

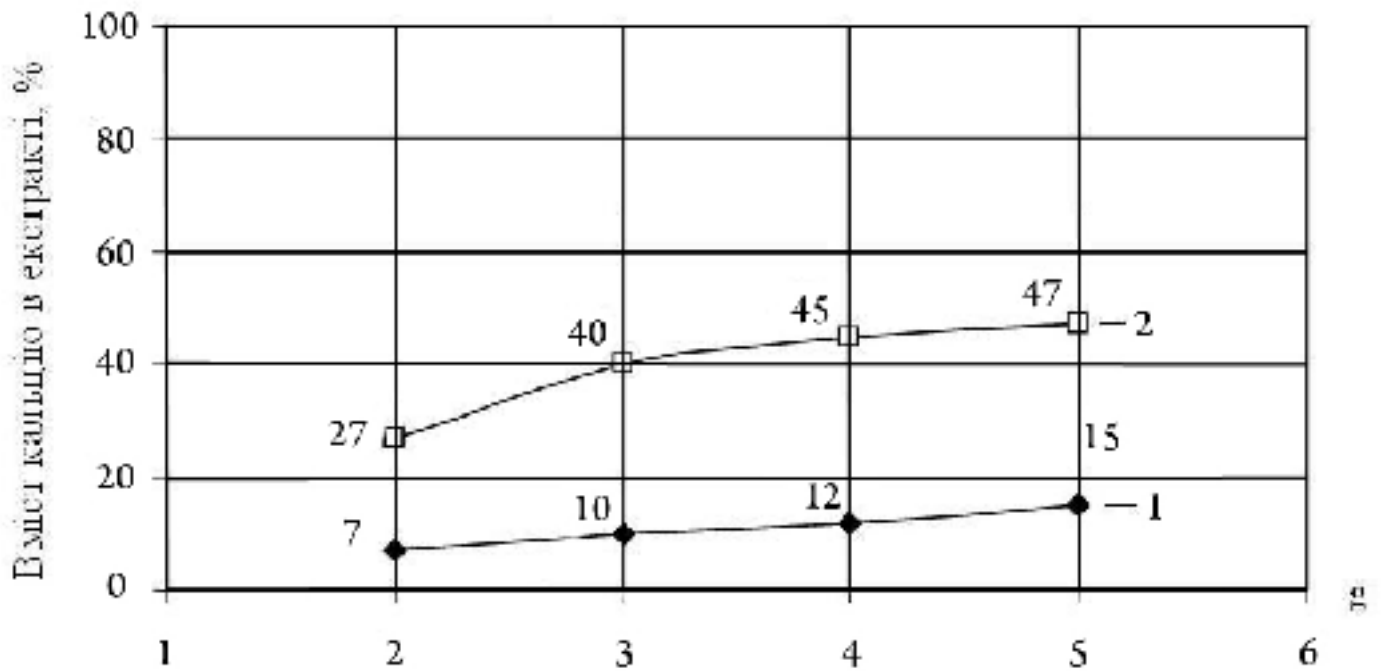


Рис. 3. Вміст кальцію в екстракті в залежності від гідромодуля g при $t = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ хв}$: 1 – вода, 2 – водний розчин лимонної кислоти.

ти збільшення значень гідромодуля з 2 до 5 призводить до незначного збільшення виходу кальцію в водний розчин – лише до 15 %. Ведення процесу екстракції при додаванні 2 % лимонної кислоти дає можливість вже при значенні гідромодуля $g = 2$ збільшити вихід кальцію майже в 4 рази – з 7 до 27 %. Збільшення гідромодуля до $g = 5$ призводить до збільшення виходу кальцію до 47 % при використанні розчину лимонної кислоти.

Слід відзначити, що реалізація процесу екстракції при гідромодулі $g = 2$ приводить до технологічних ускладнень при розділенні твердої і рідкої фаз. Однак, збільшення гідромодуля до значення $g = 5$ призводить до зниження вмісту сухих речовин, що значно ускладнює технологічні умови ведення проце-

су екстракції, згущення та сушіння за рахунок збільшення об'єму апарату, кількості води, а також витрат лимонної кислоти, однак не призводить до суттєвої інтенсифікації процесу екстракції кальцію із МКФ.

Враховуючи результати досліджень, технологічні та економічні фактори, за оптимальне значення гідромодуля при проведенні процесу екстракції кальцію із МКФ було прийнято гідромодуль $g = 3$.

Дослідження впливу температури перебігу процесу на екстракцію кальцію із МКФ проводили при $t = 60\text{ }^\circ\text{C}$, $70\text{ }^\circ\text{C}$ і $105\text{ }^\circ\text{C}$. Концентрація лимонної кислоти становила $C = 2\text{ }%$, гідромодуль $g = 3$, тривалість процесу $\tau = 30$ хв. Хід роботи дослідів аналогічний описаному вище. Отримані результати наведено на рис. 4.

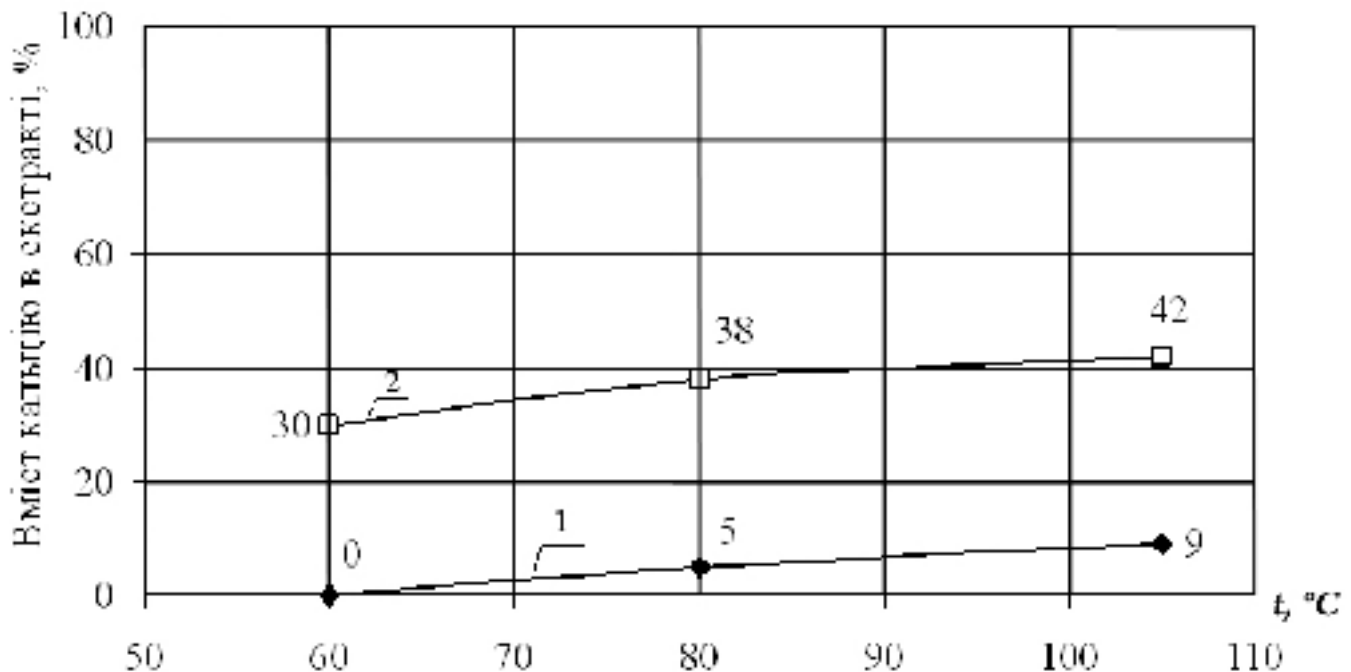


Рис. 4. Залежність вмісту кальцію в екстракті від температури t при $g = 3$, $\tau = 30$ хв.: 1 – вода, 2 – розчин лимонної кислоти ($C = 2\text{ }%$).

При підвищенні температури водної екстракції від 60 °С до 105 °С впродовж $\tau = 30$ хв вихід кальцію становив лише 9 %.

Слід відмітити, що екстракт, отриманий при $t = 60$ °С, важко піддавався фільтруванню і віджиму, що пояснюється набуханням колагенових структур і переходом їх в гелеподібний стан при даній температурі.

Дослідження впливу тривалості часу τ екстракції МКФ на вихід кальцію проводили при $\tau = 5; 15; 30; 60; 90$ хв. Концентрація лимонної кислоти становила $C = 2$ %, гідромодуль $g = 3$, температура екстрагування $t = 105$ °С. Хід роботи дослідів аналогічний описаному вище. Результати досліджень наведено на рис. 5.

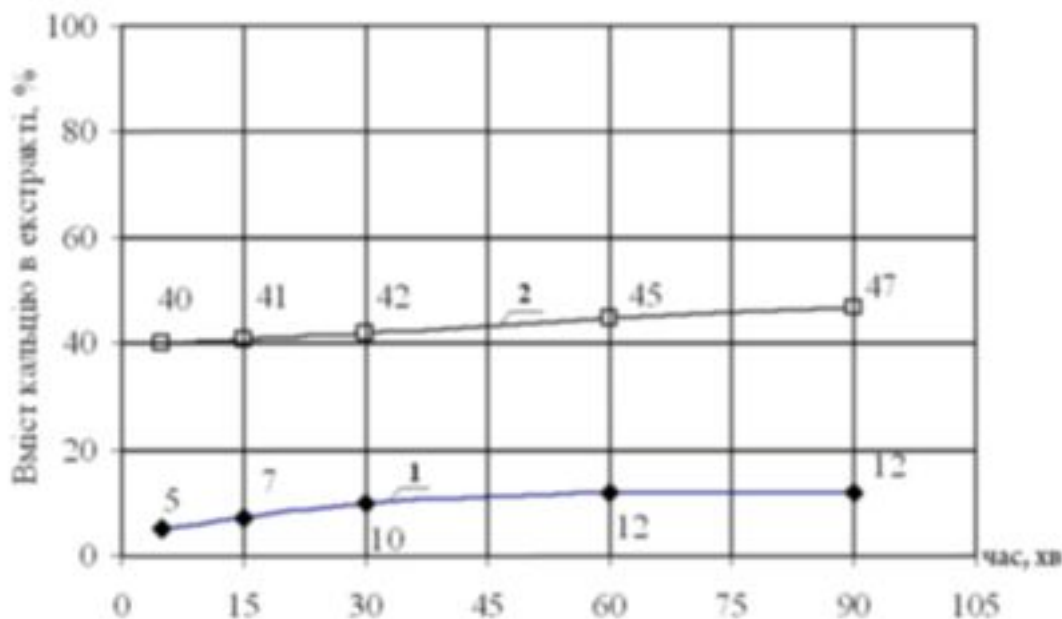


Рис. 5. Вміст кальцію в екстракті в залежності від часу τ при $C = 2$ %, $g = 3$, $t = 105$ °С: 1 – вода, 2 – розчин лимонної кислоти ($C = 2$ %).

Отримані дані показують, що максимальний вихід кальцію відбувається в перші 5 хв. Збільшення часу обробки до 90 хв не призводить до значного підвищення виходу кальцію.

Для отримання розрахункової залежності процесу екстракції кальцію необхідно підрахувати коефіцієнт масообміну [8].

Розрахунок коефіцієнта масообміну екстракції кальцію в залежності від часу проводили при наступних умовах обробки: температура процесу $t = 105$ °С, концентрація лимонної кислоти $C = 2$ %, гідромодуль $g = 3$.

Коефіцієнт масообміну визначається як показник ступеня експоненти за рівнянням:

$$G = G_{\max} (1 - e^{-k\tau}).$$

Після математичних перетворень отримаємо:

$$\ln \left(\frac{G_{\max} - G}{G_{\max}} \right) = -k\tau.$$

Таким чином, коефіцієнт масообміну k визначається як тангенс кута нахилу в координатах $(\ln(G_{\max} - G/ G_{\max}), \tau)$ (рис. 6).

$$\ln \left(\frac{G_{\max} - G}{G_{\max}} \right) = f(\tau).$$

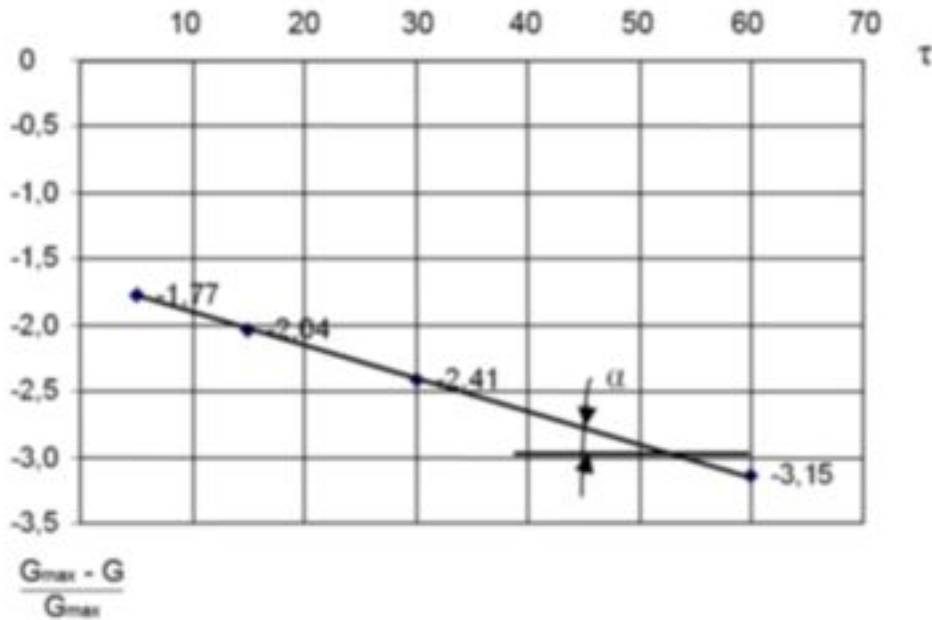


Рис. 6. Залежність $\ln\left(\frac{G_{\max} - G}{G_{\max}}\right) = f(\tau)$.

Звідки коефіцієнт масообміну:

$$-k = \operatorname{tg} \alpha = 0,025.$$

Підставивши коефіцієнт масообміну в розрахункову залежність отримаємо

$$G = G_{\max} (1 - e^{-0.025\tau}).$$

Для інженерних розрахунків часу екстракції цю залежність можна представити в наступному вигляді (1.5):

$$\tau = \frac{1,65 + \ln\left(\frac{G_{\max} - G}{G_{\max}}\right)}{-k} = \frac{1,65 + \ln\left(\frac{G_{\max} - G}{G_{\max}}\right)}{-0,025}.$$

Висновки

Проведені експериментальні дослідження показують, що максимальний вихід кальцію суттєво залежить від складу водного розчину

екстрагенту: так при концентрації лимонної кислоти $C = 2\%$ вихід кальцію за перші 5 хв. збільшується до 40 %, а при збільшенні концентрації лимонної кислоти до $C = 10\%$ можна повністю перевести весь кальцій МКФ в розчинний стан, але продукт з такою кількістю лимонної кислоти набуває неприємного кисло-го смаку.

Збільшення значень часу екстракції, температури та гідромодуля, несуттєво впливає на вихід кальцію в екстракт.

Проведений аналіз мінерального складу дослідних зразків нового природного продукту показав наявність у ньому фосфору, магнію, калію, заліза, цинку та кальцію. Вміст токсичних елементів – свинцю, кадмію, миш'яку, ртуті, цинку та міді в декілька разів нижче допустимих норм МОЗ України для харчових продуктів. На основі отриманих даних обрані оптимальні теплофізичні параметри перебігу екстракції для розробки технологічних параметрів одержання нового природного продукту, мінеральні речовини якого знаходяться у біологічно активній формі та з високою здатністю до засвоєння.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Лемешева М. М.* Птицеводство – развивающаяся отрасль // Сучасне птахівництво. – 2008р. – VI, №67. – С. 2–5.

2. *Козак М.М., Жукотський Е.К., Терлецька Я.Т., Шаркова Н.О.* Нові можливості переробки вторинної сировини птахівництва з отриманням цінного білково-мінерального продукту // Сучасне птахівництво. – 2009. – № 6-7. – С. 18–19.

3. *Антипова Л.В., Глотова И.А.* Использование вторичного коллагенсодержащего сырья мясной промышленности. – СПб: ГИОРД, 2006. – 384 с.

4. *Абрамченко В.В.* Профилактика и лече-

ние нарушений обмена кальция в акушерстве, гинекологии и перинатологии. – СПб: ЭЛБИ-СПб. – 2006. – 240 с.

5. *Смоляр В.І.* Фізіологія та гігієна харчування. – К.: Здоров'я, 2000. – 336 с.

6. *Алфимов Н.Н., Белоусов В.В.* Биологическая роль кальция в питании // Военно-медицинский журнал. – 1974. – №8. – С. 85–86.

7. *Бочоришвили Б.С.* Интенсификация процесса экстракции в системе твердое тело-жидкость // Фармацевтический журнал. – 1998. – №2. – С.54.

8. *Варфоломеев С.Д., Гуревич К.Г.* Биокинетика: Практический курс. – М.: ФАИР-ПРЕСС. – 1999. – 720 с.

Отримано 14.01.2010 р.