

УДК 543.053

**В. І. Ткач** – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри аналітичної хімії та хімічної технології харчових добавок і косметичних засобів Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»;

**О. П. Головей** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри промислової біотехнології Дніпродзержинського державного технічного університету;

**О. В. Болотін** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри аналітичної хімії та хімічної технології харчових добавок і косметичних засобів Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

## Застосування математичних методів нелінійної динаміки під час розроблення методик кількісного визначення нітрогеновмісних органічних речовин.

### 4. Оптимізація умов амперометричного визначення кількісного вмісту фосфоліпідів (лецитину та кефаліну) в промисловій продукції

*Роботу виконано у ДВНЗ «УДХТУ»*

Із використанням методів математичного моделювання [3] розроблено спосіб кількісного визначення фосфоліпідів методом амперометричного титрування 12-молибдофосфатною гетерополикіслотою, який дає можливість експресно і з достатньою чутливістю визначати вміст лецитину та кефаліну в промисловій продукції.

**Ключові слова:** лецитин, кефалін, 12-молибдофосфат, амперометричне титрування, математичне моделювання, оптимізація.

**Ткач В. И., Головей Е. П., Болотин А. В. Применение математических методов нелинейной динамики при разработке методик количественного определения азотсодержащих органических веществ. 4. Оптимизация условий амперометрического определения количественного содержания фосфолипидов (лецитина и кефалина) в промышленной продукции.** С использованием методов математического моделирования [3] разработан способ количественного определения фосфолипидов методом амперометрического титрования 12-молибдофосфатной гетерополикислотой, позволяющий экспресно и с достаточной чувствительностью определить содержание лецитина и кефалина в промышленной продукции.

**Ключевые слова:** лецитин, кефалин, 12-молибдофосфат, амперометрическое титрование, математическое моделирование, оптимизация.

**Tkach V. I., Golovey E. P., Bolotin A. V. Application Mathematic Methods of Nonlinear Dynamic by Development of Methodic Qualitative Determination of Nitrogen-Containing Organic Compounds. 4. Optimization of Terms of Amperometric Determination Quantitative Maintenance of Phosphotides (Lecithin and Kephalin) in Industrial Products.** With the use of methods of mathematical modeling [3] the method of quantitative determination of phosphotides is worked out by the method of amperometric titration 12-molybdophosphoric heteropolyacid, allowing quickly and with a sufficient sensitiveness to define maintenance of lecithin and kephalin in industrial products.

**Key words:** lecithin, kephalin, 12-molibdophosphate, amperometric titration, mathematical modeling, optimization.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Керований технологічний процес немислимий без сучасних методів аналітичного контролю. Щораз вищі вимоги до якості хімічних матеріалів можуть бути задоволені тільки під час використання чутливіших і об'єктивніших методів аналізу. Підвищення ефективності аналітичного контролю вимагає автоматизації його операцій. Розв'язання цих завдань можливе лише на основі фізико-хімічних (інструментальних) методів аналізу.

Одними з перспективних інструментальних методів є електрохімічні методи аналізу – амперометричне титрування та пряма потенціометрія. Розвитку цих методів сприяли досягнення сучасної радіоелектроніки й аналітичного приладобудування, а також інтенсивний розвиток теоретичної електрохімії. Достоїнство електрохімічних методів аналізу полягає в порівняльній простоті, високих експлуатаційних якостях при невисокій вартості приладів, великій швидкості отримання інформації і можливості включення реєструючих пристроїв в автоматичні системи управління. Більше того,

широке застосування ЕОМ в області фізичних і хімічних досліджень надзвичайно розширило перелік завдань математичного забезпечення експерименту. Водночас із традиційними завданнями з'явилися різні оптимізаційні завдання, включаючи завдання оптимізації алгоритмів обробки експериментальних даних. Рішення всіх цих завдань у багатьох випадках можливе тільки методами математичного моделювання й обчислювального експерименту.

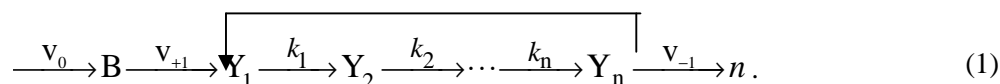
Не дивлячись на те, що методи математичного моделювання використовують порівняно широко, вони не отримали достатнього віддзеркалення в сучасній літературі. У наукових публікаціях, що присвячені конкретним хімічним дослідженням, цей етап роботи зазвичай детально не освітлюється.

Існують дві групи завдань, які розв'язують за допомогою методів математичного моделювання. Перша – це заміна реального фізичного експерименту математичним (обчислювальним); друга – контроль та оцінка якості проектних рішень. Зрозуміло, що не будь-який фізичний або хімічний експеримент можна замінити математичним, оскільки мета експерименту полягає в дослідженні ще не відомих законів природи. Навпаки, якщо явище, що вивчається, повністю описується відомими законами природи (рух плазми в магнітному полі, виведення супутника на орбіту, ламінарний рух рідини, нелінійна динаміка хімічних процесів і т. п.), математичний експеримент може й повинен замінити натурний і різко скоротити об'єм даних, що визначаються за допомогою фізичного (хімічного) експерименту. Застосування методу математичного моделювання полягає фактично в постановці послідовності обчислювальних експериментів, причому результати одного такого експерименту диктують характер наступного – лабораторного. Тому **мета** нашої роботи – послідовне застосування математичного моделювання при розробці способу кількісного визначення фосфоліпідів (лецитину та кефаліну) методом амперометричного титрування в промисловій продукції. Зазначимо, що використання методів математичного моделювання в електроаналітичній практиці дає величезну економію коштів і можливість істотно скоротити терміни дослідження.

#### Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

**Теоретичний аналіз.** Розглянемо малорозчинні частинки типу  $(\text{Kat})_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ , дифундуючи з об'єму розчину до поверхні мікроелектрода, на якій вони адсорбуються і хімічно перетворюються.

Згідно з модельними уявленнями [3, 10] для електроаналітичних процесів, що протікають при цьому, можна написати:



На цій схемі «В» відповідає частинкам вихідної малорозчинної речовини  $(\text{Kat})_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ , яка утворюється в об'ємі при додаванні до досліджуваного розчину титранта і подається на мікроелектрод зі швидкістю  $v_0$ . Частинки вихідної речовини адсорбуються на поверхні мікроелектрода та через низку проміжних продуктів  $\text{Y}_1, \text{Y}_2, \dots, \text{Y}_{n-1}$  перетворюються в кінцевий продукт  $\text{Y}_n$ . Зворотною стрілкою є показаний вплив кінцевого продукту на реакцію взаємодії «В» із поверхнею мікроелектрода. Цей зв'язок може бути і позитивним, і негативним.

Із теорії автоматичного регулювання добре відомо, що система автоматичного регулювання, яка володіє негативним зворотним зв'язком, при певному співвідношенні параметрів, характеризується коливальними перехідними процесами. Затухаюче коливання швидкості нестационарного росту, а також автоколивання в стаціонарних режимах можуть бути подані, виходячи з кінетики хімічних та електрохімічних перетворень. Подібний підхід відносно теоретичного опису динамічної поведінки анодно поляризованих метал-оксидних систем був успішно використаний у роботі [3].

Поверхневі концентрації проміжних продуктів  $\text{Y}_1, \text{Y}_2, \dots, \text{Y}_{n-1}$  зазвичай дуже невеликі [3], тому можна вважати, що поверхня мікроелектрода (навіть при великих ступенях заповнення) не насичена цими речовинами. Ця обставина дає змогу розглядати проміжні стадії як реакції першого порядку. Більше того, оскільки електродні реакції схеми (1) протікають далеко від стану термодинамічної рівноваги, усі проміжні стадії можна в першому наближенні вважати незворотними.

З урахуванням уведених допущень можна скласти таку систему диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Gamma_1}{dt} &= v_{+1} - k_1\Gamma_1, \\ \frac{d\Gamma_2}{dt} &= k_1\Gamma_1 - k_2\Gamma_2, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{d\Gamma_n}{dt} &= k_{n-1}\Gamma_{n-1} - v_{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $k_j$  ( $1 \leq j \leq n$ ,  $n$  – ціле) – константи швидкостей відповідних послідовних реакцій;  $v_{+1} = v_{+1}(\{\Gamma_B; \Gamma_n; t\})$  є швидкістю утворення  $Y_1$  у реакції взаємодії «В» із поверхнею мікроелектрода;  $v_{-1} = v_{-1}(\{\Gamma_n; t\})$  – швидкість видалення кінцевого продукту  $Y_n$  у розчин.

Якщо знехтувати інерційністю швидкостей цих реакцій, то можна приблизно написати:

$$\left. \begin{aligned} v_{+1} &= v_{+1}(\{\Gamma_B; \Gamma_n\}), \\ v_{-1} &= v_{-1}(\{\Gamma_n\}). \end{aligned} \right\}$$

Відмітимо, що  $v_{+1}$  і  $v_{-1}$  у загальному випадку є нелінійними функціями та враховують зв'язаність складних процесів.

Переведемо систему диференціальних рівнянь до безрозмірних змінних, поставивши для простоти всі  $k_j = k$ . Тоді при деякому виборі одиниць виміру поверхневих концентрацій і часу, а також швидкостей ключових реакцій  $v_{+1}$  і  $v_{-1}$ , можна отримати таку систему диференціальних рівнянь [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dJ_1}{dt} &= W_{+1} - J_1, \\ \frac{dJ_2}{dt} &= J_1 - J_2, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dJ_n}{dt} &= J_{n-1} - W_{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

у якій  $J_1, J_2, \dots, J_n$  – безрозмірні поверхневі концентрації реагуючих речовин:

$$J_j = \frac{k_j \Gamma_j}{V_1},$$

де  $V_1$  – максимальне значення швидкості утворення  $Y_1$  у реакції взаємодії «В» із поверхнею мікроелектрода

$$V_1 = \max v_{+1},$$

де  $W_{+1}$  і  $W_{-1}$  – відносні швидкості утворення  $Y_1$  і видалення  $Y_n$ , які визначаються співвідношеннями виду:

$$W_{+1} = \frac{v_{+1}}{V_1};$$

$$W_{-1} = \frac{v_{-1}}{V_1}.$$

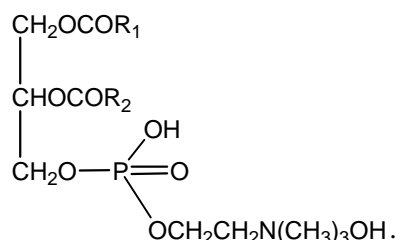
$t$  – безрозмірний час:

$$t = kt.$$

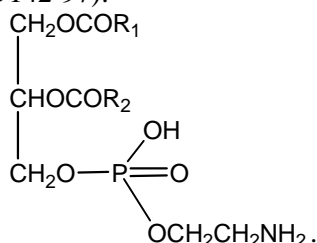
Детальні аналітичні та чисельні дослідження математичної моделі (3) з використанням розробленого раніше алгоритму [3, 10] для конкретного вигляду нелінійних функцій, які враховують особливості динаміки електроаналітичних процесів, дали змогу знайти оптимальні умови отримання аналітичного сигналу фосфоліпідів та розробити методики кількісного визначення лецитину й кефаліну методом амперометричного титрування 12-молібдофосфатною гетерополікислотою, що відрізняється високою селективністю і відтворюваністю аналітичного сигналу.

**Експериментальна частина.** У роботі були використані такі реактиви:

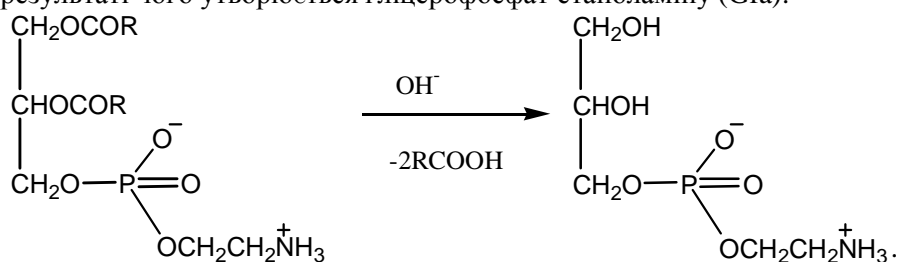
1. Лецитин (1,2-диацил-sn-гліцери-3-фосфорилхолін) – воскоподібна речовина жовтуватого кольору, не розчиняється у воді, ацетоні, метилацетаті, добре розчинна в етанолі, етиловому етері, хлороформі, метанолі. Молекулярна маса 787. Як зразок використовували 50%-й розчин лецитину (ТУ У 13441421.003-94) та лецитин фірми «ЮВИКС-ФАРМ» (м. Краснодар) із вмістом фосфатидилхоліну 49–50 %:



2. Кефалін (1,2-диацил-sn-гліцери-3-фосфорилетаноламін) – воскоподібна речовина світло-коричневого кольору, не розчиняється у воді, ацетоні, етанолі, добре розчинна в гексані, етиловому етері, хлороформі. Молекулярна маса 780. Як зразок використовували кефалін фірми «Технология – Стандарт» (м. Москва, ТУ 9398-260-42349142-97):



Для поточних досліджень використовували виділений із соняшникової олії фосфатидний концентрат, із якого згідно з методикою [14] отримували спиртовий розчин лецитину (Лес) і стандартизували за зразком. Точний уміст лецитину визначали за даними амперометричного титрування [10] з використанням гетерополіаніону (ГПА)  $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}$  як аналітичного реагенту на органічний катіон лецитину. Розчини заданої концентрації готували подальшим розведенням вихідного. Виділений з осаду й додатково очищений кефалін піддавали лужному гідролізу (м'яке лужне деацильовання) за методикою [11], у результаті чого утворюється гліцерофосфат етаноламіну (Gfa):



Вихідний водний розчин гліцерофосфату етаноламіну готували з розчину кефаліну з точною концентрацією основної речовини, розчини заданої концентрації – подальшим розведенням вихідного.

3. 12-молібдофосфатна кислота (МФК –  $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ), марки «ч.д.а.» .

4. Полівінілхлорид (ПВХ), марки С-70 «х.ч.».

5. Дибутілфталат (ДФБ), диоктилфталат (ДФО), трикрезилфосфат (ТКФ), циклогексанон (ЦГ), ацетон, етанол (96%-й), ізопропанол, хлоридна та сульфатна кислоти (конц.), марки «ч.д.а.».

6. Барій хлорид, калій хлорид, натрій хлорид, натрій сульфат, магній сульфат, кальцій нітрат, натрій гідроксид, марки «ч.д.а.».

*Методика виділення лецитину і кефаліну подвійною екстракцією [14]*

Наважку фосфатидного концентрату переносять у круглодонну колбу, додають ацетон. На водяній бані з мішалкою при температурі 35–40 °С проводять екстракцію протягом 20 хв. Знежирені фосфатиди після центрифугування обробляють 96%-м етиловим спиртом при 20 °С протягом 30 хв. Від отриманого розчину лецитину відфільтровують кефалін, який в етанолі не розчиняється.

*Методика м'якого лужного гідролізу (деацильовання) кефаліну [11]*

Наважку кефаліну 0,1–0,2 г обробляють 20 мл 1М розчину NaOH, перемішують і утримують протягом 20 хв при 37 °С. Жирні кислоти, що перейшли у верхній шар, відокремлюють, отримуючи водний розчин гліцерофосфату етаноламіну.

**Методика амперометричного визначення.** Амперометричне титрування проводили на установці АУ-4М, що складається із чутливого мікроамперметра М-95, блока живлення та системи з двох електродів: індикаторний – торцевий графітовий електрод із діаметром робочої поверхні 5 мм і швидкістю обертання 660 об/хв та електрода порівняння – насиченого каломельного напівелемента. У випадку титрування лецитину в присутності  $\text{Ba}^{2+}$  як індикаторний використовували платиновий мікроелектрод.

*Амперометричне титрування лецитину в кислому середовищі*

До 5 мл  $1 \cdot 10^{-2}$  М спиртового розчину лецитину додавали 5 мл ізопропілового спирту, 1 мл 0,1 н розчину  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (полярнографічний фон) та краплями розчин HCl до рН=4,0–4,5. Розчин переносили в електрохімічну комірку із системою електродів (індикаторний – торцевий графітовий електрод; електрод порівняння – насичений каломельний напівелемент), задавали напругу +0,1 +0,15 В і через 60 с фіксували величину «нульового» струму. В електрохімічну комірку додавали титрант –  $1 \cdot 10^{-2}$  М спиртовий розчин 12-молібдофосфатної гетерополікислоти порціями по 0,25 мл. У межах точки еквівалентності титрант додавали порціями по 0,10 мл. Величину сили дифузійного струму фіксували через 10–15 с після додавання титранту. Амперометричне титрування закінчували після різкого збільшення сили дифузійного струму. Об'єм титранту, який був використаний на титрування, визначали графічно на кривій амперометричного титрування.

*Амперометричне титрування лецитину при рН = 6–7*

3 мл  $1 \cdot 10^{-2}$  М спиртового розчину лецитину вносили в електрохімічну комірку, додавали 0,6 мл 0,1 М розчину  $\text{BaCl}_2$ , 5 мл ізопропілового спирту. У систему вводили два електроди: індикаторний – платиновий мікроелектрод та електрод порівняння – насичений каломельний, задавали напругу  $E=0,3$  В і через 2 хв фіксували величину «нульового» струму. Титрували  $1 \cdot 10^{-2}$  М спиртовим розчином 12-молібдофосфатної кислоти порціями по 0,1 мл. Величину сили дифузійного струму фіксували через 30 с після додавання титранту. Амперометричне титрування закінчували після різкого збільшення сили дифузійного струму; об'єм титранту, який був використаний на титрування, визначали графічно на кривій титрування.

*Амперометричне титрування гліцерофосфату етаноламіну (Gfa)*

10 мл  $1 \cdot 10^{-3}$  М водного розчину Gfa вносили в електрохімічну комірку, доводили рН розчину до 6,0–7,0 ацетатним буферним розчином і додавали 2 мл 0,01 М розчину  $\text{BaCl}_2$ . У систему вводили два електроди: індикаторний – торцевий графітовий електрод, електрод порівняння – насичений каломельний напівелемент; задавали напругу +0,1 +0,15 В та через 2 хв фіксували величину «нульового» струму. Титрували  $1 \cdot 10^{-2}$  М водним розчином 12-молібдофосфатної кислоти порціями по 0,1 мл. Величину сили дифузійного струму фіксували через 30 с після додавання титранту. Амперометричне титрування закінчували після різкого збільшення сили дифузійного струму; об'єм титранту, який був використаний на титрування, визначали графічно на кривій титрування.

Для дослідження складу асоціатів, які утворюються при взаємодії  $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}$  з лецитином та продуктом лужного гідролізу кефаліну – гліцерофосфатом етаноламіну – в присутності  $\text{Ba}$  (II), а також для встановлення співвідношення реагуючих компонентів  $[\text{Lec}^+]:[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}]$ ,  $[\text{Lec-Ba}^{2+}]:[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}]$  та  $[\text{Gfa-Ba}^{2+}]:[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}]$ , використовували метод амперометричного титрування.

Вольтамперометричне вивчення електрохімічної поведінки катіонів досліджуваних сполук показало, що при катодній поляризації в інтервалі від +0,5 В до –0,5 В вони не є електроактивними, у той час як гетерополіаніон 12-молібдофосфатної гетерополікислоти на фоні 0,1 М розчину натрію сульфату дає чітку хвилю електровідновлення двох атомів молібдену при  $E=+0,10\dots+0,40$  В [10]:  $\text{PMo}_{12}^{\text{VI}}\text{O}_{40}^{3-} + 2e \rightarrow \text{PMo}_{12}^{\text{V}}\text{O}_{40}^{5-}$ .

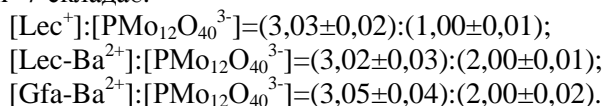
Амперометричне титрування ґрунтується на реакціях взаємодії між ОК визначуваних речовин і ГПА з утворенням малорозчинних сполук з асоціативним характером зв'язку та фіксації точки еквівалентності за струмом електровідновлення двох атомів молібдену. При виконанні титрування на систему накладають напругу, обрану на основі вивчених вольтамперних кривих. Як індикаторні використовували графітовий електрод, що обертається, і платиновий мікроелектрод. Такий вибір електродів зумовлений тим, що у випадку титрування комплексної частинки  $[\text{Lec-Ba}^{2+}]$  на графіто-

вому електроді дуже швидко сорбується осад та знижується чутливість електрода. Тому для титрування цієї речовини використовували платиновий електрод, а титрування ОК лецитину в кислому середовищі, у тому числі комплексної катіонної частинки [Gfa-Ba<sup>2+</sup>], проводили з графітовим електродом, що обертається.

Відновлення МФК на платиновому електроді відбувається при  $E_{1/2}=0,22$  В, граничний струм спостерігається при  $E=0,3$  В:  $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-} + 4e + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{PMo}_4\text{Mo}_8\text{O}_{40}^{5-}$ .

Як з'ясувалось у процесі дослідження, при визначенні лецитину в деяких промислових об'єктах (антикорозійні мастила, продукти харчування) методом амперометричного титрування важко чітко зафіксувати точку еквівалентності. У цьому випадку були враховані поверхнево-активні властивості фосфоліпідів [8], а також їх здатність утворювати стійкі комплекси із двовалентними катіонами металів при рН розчину порядку 7 [8, 1] та існувати в розчині у вигляді катіонної комплексної частинки. Як відомо з літератури [4, 5], неіоногенні поверхнево-активні речовини утворюють стійкі асоціати з молібдофосфатною гетерополікислотою в присутності двозарядних іонів металів. У зв'язку із цим була досліджена взаємодія ОК лецитину в присутності Ba<sup>2+</sup> з ГПА в слабкокислому та нейтральному середовищі.

За результатами амперометричного титрування встановлено, що співвідношення реагуючих компонентів при  $P=0,95$  і  $n=7$  складає:



Такі ж співвідношення реагуючих компонентів були отримані при спектрофотометричному дослідженні складу комплексів методом молярних відношень [9].

Проведені дослідження дали можливість розробити методики кількісного визначення лецитину в різних промислових об'єктах за допомогою амперометричного титрування.

Лецитин випускається у вигляді спиртового розчину із вмістом діючої речовини 50–75 % [49], який використовується для виготовлення косметичної продукції, а також уходить до складу фосфатидного концентрату в кількості 20–30 % [12] і отриманої з нього харчової добавки – «Лецитин» [11]. Крім того, на основі фосфатидного концентрату виготовляються антикорозійні мастила, які мають загальну назву Емульсоли ЕМ [13]. Кефалін уходить до складу фосфатидного концентрату в кількості 20–30 % [12] і отриманої з нього харчової добавки – «Лецитин» [11] у кількості 40–45 % залежно від марки.

У табл. 1 наведені метрологічні характеристики результатів визначення лецитину в промислових об'єктах за допомогою амперометричного титрування.

Таблиця 1

**Метрологічні характеристики результатів визначення лецитину у фосфатидному концентраті, мастильно-охолоджувальній рідині ЕМ та інгібуючому мастилі Амолін методом амперометричного титрування (n = 7, P = 0,95)**

Аналізований зразок	Знайдено лецитину (x ± d), %	S <sub>r</sub>
Фосфатидний концентрат	29,1 ± 0,6	0,022
Рідина ЕМ	34,11 ± 0,70	0,021
Амолін	3,40 ± 0,11	0,032

Оцінку правильності результатів визначення лецитину в промисловій продукції за розробленими методиками амперометричного титрування зроблено методом варіювання маси наважки. Одержані дані (табл. 2) підтверджують правильність результатів визначення лецитину та відсутність систематичної помилки.

Таблиця 2

**Перевірка правильності визначення лецитину методом варіювання маси наважки (n = 7, P = 0,95)**

m, мг	Знайдено (x ± d), мг	S <sub>r</sub>
34,10	34,1 ± 0,8	0,023
39,10	39,17 ± 0,92	0,024

Отже, аналітичний моніторинг умісту лецитину у фосфатидних концентратах та в антикорозійних мастилах із використанням 12-молибдофосфату як аналітичного реагенту в амперометричному титруванні дає змогу експресно і з достатньою чутливістю визначати вміст лецитину в промисловій продукції.

За результатами амперометричного титрування були визначені умовні іонні добутки (ІД) розчинності отриманих асоціатів (табл. 3), які використовувались як ЕАР для мембран в ІСЕ. Чутливість і селективність ІСЕ визначається багатьма факторами, у тому числі й розчинністю асоціатів, які використовуються в ІСЕ як електродноактивні компоненти [6, 7]. Значення ІД отриманих малорозчинних асоціатів досить низькі, тому вони задовольняють одну з основних вимог до ЕАР (мала розчинність у воді). Низька розчинність ЕАР, які входять до складу мембрани в ІСЕ, визначає їх достатньо високу чутливість і селективність, а також збільшення часу «життя» мембрани ІСЕ, оскільки ця речовина через свою низьку розчинність у воді важче вимивається із фази мембрани.

Таблиця 3

**Значення ІД асоціатів нітрогеновмісних органічних катіонів із ГПА  $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}$**

Асоціат	Іонний добуток
$(\text{Lec})_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$	$(8,58 \pm 0,22) \cdot 10^{-22}$
$(\text{Lec-Ba})_3(\text{PMo}_{12}\text{O}_{40})_2$	$(3,37 \pm 0,14) \cdot 10^{-26}$
$(\text{Gfa-Ba})_3(\text{PMo}_{12}\text{O}_{40})_2$	$(2,85 \pm 0,11) \cdot 10^{-26}$

Як видно з табл. 3, значення ІД асоціату  $(\text{Lec})_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$  значно більше, ніж у  $(\text{Lec-Ba})_3(\text{PMo}_{12}\text{O}_{40})_2$ . Цим можна пояснити незадовільні електродні характеристики ІСЕ на лецитин, у мембрані якого як ЕАР використовувався асоціат  $(\text{Lec})_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ . Використання як ЕАР менш розчинного асоціату Лес з ГПА в присутності  $\text{Ba}^{2+}$  значно покращило електродні характеристики ІСЕ і дало змогу використовувати його для визначення лецитину.

Синтезовані асоціати були застосовані як ЕАР для конструювання плівкових полівінілхлоридних мембран ІСЕ, оборотних до лецитину і кефаліну (з використанням продукту його лужного гідролізу – гліцерофосфату етаноламіну) на основі мембранних розчинників-пластифікаторів – дибутилфталату (ДБФ), діоктилфталату (ДОФ), трикрезилфосфату (ТКФ).

Експериментальні дослідження свідчать, що ІСЕ на лецитин із використанням як ЕАР асоціату  $(\text{Lec})_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$  має незадовільні електродні характеристики, тому в подальших дослідженнях як ЕАР використовували асоціат більш стійкої комплексної частинки з ГПА –  $(\text{Lec-Ba})_3(\text{PMo}_{12}\text{O}_{40})_2$ .

#### Список використаної літератури

1. Abramson M. B. Aqueous dispersions of phosphatidylserine / M. B. Abramson, R. Katzman, H. P. Gregor // J. Biol. Chem. – 1964. – V. 239, № 1. – P. 70–76.
2. Арутюнян Н. С. Фосфолипиды растительных масел: состав, структура, свойства, применение / Н. С. Арутюнян, Е. П. Корнена. – М. : Агропромиздат, 1986. – 255 с.
3. Болотин А. В. Динамические свойства анодно поляризованных металл-оксидных систем : дис. ... канд. хим. наук / А. В. Болотин. – Днепропетровск : [б. и.], 2008. – 140 с.
4. Винников Ю. А. О стехиометрии взаимодействия неионных поверхностно-активных веществ с молибдофосфорной кислотой / Ю. А. Винников, Л. А. Костарева, Н. С. Груздова // Журн. аналит. химии. – 1981. – Т. 36, № 3. – С. 465–467.
5. Винников Ю. Я. Определение неионогенных поверхностно-активных веществ методом потенциометрического титрования с поляризованным индикаторным электродом / Ю. А. Винников, Л. А. Костарева // Журн. аналит. химии. – 1980. – Т. 35, № 3. – С. 547–550.
6. Камман К. Работа с ионселективными электродами / К. Камман. – М. : Мир, 1980. – 283 с.
7. Морф В. Принципы работы ионоселективных электродов и мембранный транспорт / В. Морф. – М. : Мир, 1985. – 280 с.
8. Преображенский Н. А. Химия биологически активных природных соединений / Н. А. Преображенский, Р. П. Евстигнеева. – М. : Химия, 1976. – 456 с.
9. Спектроскопические методы в химии комплексных соединений / под ред. В. М. Вдовенко. – Л. : Химия, 1964. – 268 с.

10. Ткач В. І. Електрохімічний аналіз нітрогеновмісних органічних лікарських та біоактивних речовин з використанням гетерополіаніонів структури Кеггіна як аналітичних реагентів / В. І. Ткач, І. М. Мага, О. В. Болотін. – Ужгород : Вид-во В. Падяка, 2012. – 220 с.
11. ТУ У 02070758.001-99. Харчова добавка «Лецитин». – Введ. 18.01.2001. – Госстандарт України, № 085/005495. – 11 с.
12. ТУ У 10-04-02-59-89. Концентрати фосфатидные. – Взамен ОСТ 18-227-76 ; Введ. 27.02.1990. – М. : Изд-во стандартов, № 010/012329. – 15 с.
13. ТУ У 24987206.004-2000. Емульсоли ЕМ. – Введ. 28.05.2001. – М. : Госстандарт України, № 085/005619. – 12 с.
14. Школа О. И. Получение лецитина из растительного фосфатидного концентрата / О. И. Школа, Л. А. Полушкина, А. П. Анисимов, И. К. Гозите, Ю. А. Зилберс // Масложировая промышленность. – 1985. – № 3. – С. 18–21.

Стаття надійшла до редколегії  
04.04.2012 р.