



Визначення вмісту фтору методом прямої потенціометрії у гетерогенній косметичній системі у формі зубної пасти

I. В. Ресницький^{1,B,D}, В. І. Бессарабов^{1,2,A,E,F}, О. В. Іщенко^{1,A,B,C}, О. М. Роїк^{1,C,E}, Т. О. Макаrchuk^{1,C,D}

¹Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна; ²Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, м. Київ

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Мета роботи – експериментальне обґрунтування можливості кількісного визначення іонів фтору в модельній гетерогенній косметичній системі у формі зубної пасти методом прямої потенціометрії з використанням фторселективного електрода.

Матеріали і методи. Дослідження здійснили методом прямої потенціометрії з використанням фторселективного електрода. Для стабілізації іонної сили середовища та мінімізації впливу компонентів матриці застосували буферний розчин TISAB. Підготовку проб здійснили шляхом розчинення наважки зубної пасти у дистильованій воді з додаванням надалі рівного об'єму буферного розчину. Калібрування електродної системи виконали з застосуванням стандартних розчинів натрію фториду. Об'єкт дослідження – гетерогенна косметична система у формі зубної пасти, що містила абразивні компоненти, зволожувачі, поверхнево-активні речовини, полімерний загусник і натрію фторид як джерело іонів фтору.

Результати. Результати потенціометричних вимірювань показали, що модельний зразок зубної пасти характеризується стабільною гетерогенною структурою та рівномірним розподілом фторид-іонів у системі. Середній вміст фтору у досліджуваному зразку становив $985,0 \pm 5,2$ ppm, що відповідає нормативним вимогам до фторвмісних зубних паст для щоденного використання. Незначна варіабельність отриманих значень свідчить про хорошу відтворюваність методу та мінімальний вплив багатокomпонентної матриці зубної пасти на результати аналізу.

Висновки. Підтверджено можливість застосування методу прямої потенціометрії з використанням фторселективного електрода та буферного розчину TISAB для кількісного визначення фтору в багатокomпонентних гетерогенних косметичних системах без попереднього руйнування матриці продукту. Запропонований підхід може бути використаний для аналітичного контролю якості фторвмісних зубних паст на етапах розробки, виробництва та стандартизації засобів для гігієни порожнини рота.

Ключові слова: гетерогенні системи, зубна паста, фтор, потенціометрія, фторселективний електрод, стандартизація, відтворюваність, косметична продукція, аналітичні методи.

Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. 2026. Т. 19, № 2(51). С. 151-156

Quantitative determination of fluoride by direct potentiometry in a heterogeneous cosmetic system in the form of toothpaste

I. V. Resnytskyi, V. I. Bessarabov, O. V. Ishchenko, O. M. Roik, T. O. Makarchuk

Aim of the study – experimental substantiation of the possibility of quantitative determination of fluoride ions in a model heterogeneous cosmetic system in the form of toothpaste using direct potentiometry with a fluoride-selective electrode.

Materials and methods. The study was carried out using direct potentiometry with a fluoride-selective electrode. A TISAB buffer solution was applied to stabilize the ionic strength of the medium and to minimize the influence of matrix components. Sample preparation included dissolving a weighed portion of toothpaste in distilled water followed by the addition of an equal volume of buffer solution. Calibration of the electrode system was performed using standard sodium fluoride solutions. The object of the study was a heterogeneous cosmetic system in the form of toothpaste containing abrasive components, moisturizers, surfactants, a polymer thickener and sodium fluoride as a source of fluoride ions.

Results. The obtained results demonstrated that the model toothpaste sample is characterized by a stable heterogeneous structure and a uniform distribution of fluoride ions. According to the potentiometric measurements, the average fluoride content in the studied sample was 985.0 ± 5.2 ppm, which complies with regulatory requirements for fluoride-containing toothpastes intended for daily use. The low variability of the obtained values indicates good reproducibility of the method and a minimal influence of the multicomponent toothpaste matrix on the analytical results.

ARTICLE INFO



UDC 615.454.1:665.583.4].074:546.16.062:543.554
DOI: [10.14739/2409-2932.2026.2.353632](https://doi.org/10.14739/2409-2932.2026.2.353632)

Current issues in pharmacy and medicine: science and practice. 2026;19(2):151-156

Keywords: heterogeneous systems, toothpaste, fluoride, potentiometry, fluoride-selective electrode, standardization, reproducibility, cosmetic products, analytical methods.

Received: 10.03.2026 // Revised: 08.05.2026 // Accepted: 18.05.2026

© The Author(s) 2026. This is an open access article under the [Creative Commons CC BY 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Conclusions. The results confirm the applicability of the direct potentiometric method using a fluoride-selective electrode in combination with a TISAB buffer solution for quantitative determination of fluoride in multicomponent heterogeneous cosmetic systems without prior destruction of the product matrix. The proposed approach can be used for analytical quality control of fluoride-containing toothpastes during product development, manufacturing and standardization of oral hygiene cosmetic products.

Keywords: heterogeneous systems, toothpaste, fluoride, potentiometry, fluoride-selective electrode, standardization, reproducibility, cosmetic products, analytical methods.

Current issues in pharmacy and medicine: science and practice. 2026;19(2):151-156

Зубні пасти належать до косметичної продукції для догляду за ротовою порожниною. Це гетерогенні системи, що часто містять фторвмісні сполуки, ефективність і безпечність яких визначаються точним дотриманням регламентованого кількісного вмісту фтору. Водночас багатокомпонентна природа зубних паст, що включає абразивні речовини, полімерні загусники та поверхнево-активні речовини (ПАР), ускладнює коректне кількісне визначення іонів фтору через можливі матричні ефекти, адсорбцію або часткове зв'язування фторид-іонів. Це зумовлює необхідність застосування селективних, надійних і відтворюваних аналітичних методів контролю [1].

У цьому контексті актуальною є розробка модельної гетерогенної косметичної системи у формі зубної пасти та експериментальне обґрунтування можливості використання методу прямої потенціометрії з фторселективним електродом, що забезпечує достовірне кількісне визначення вмісту фтору й, відповідно, належний рівень якості та безпечності фторвмісних косметичних засобів.

Гетерогенні косметичні системи, зокрема зубні пасти, є складними багатокомпонентними композиціями, у яких поєднання абразивів, зволожувачів, ПАР і полімерних загусників визначає споживчі властивості продукту та поведінку біологічно активних компонентів у матриці.

Окремий напрям досліджень присвячений фторвмісним сполукам у складі зубних паст, оскільки фториди є одним із найпоширеніших засобів профілактики карієсу завдяки впливу на процеси демінералізації / ремінералізації емалі. Автори наукових праць акцентують, що терапевтична ефективність фтору прямо залежить від його концентрації у готовому продукті, а безпечність – від недопущення відхилень від рекомендованих меж, тому контроль фактичного вмісту фтору є обов'язковою частиною оцінювання якості [2].

Встановлено також, що визначення фторид-іонів у зубних пастах ускладнене матричними ефектами: абразивні компоненти (наприклад, на основі діоксиду кремнію) можуть адсорбувати іони фтору, а полімерні загусники та ПАР можуть змінювати іонну силу та впливати на активність іонів у розчині. Саме ці фактори часто стають джерелом систематичних похибок і заниження результатів, коли не здійснено коректної пробопідготовки. Значна частина публікацій присвячена порівнянню аналітичних підходів до контролю фтору в пастах. Серед них найчастіше вивчають титриметричні, фотометричні й електрохімічні методи. Наголошують, що титриметрія потребує чіткого визначення точки еквівалентності, що проблематично для каламутних або пастоподібних ма-

триць, а фотометричні методи можуть втрачати точність від впливу допоміжних речовин, які змінюють оптичні властивості системи [3].

У науковій літературі доволі широко описано використання потенціометрії з іон-селективними електродами як одного з найзручніших інструментів для аналізу фтору в складних середовищах [4]. У публікаціях підкреслюють, що метод прямої потенціометрії дає змогу визначати активність фторид-іонів без необхідності багатостадійного руйнування матриці, а селективність фторселективного електрода робить підхід придатним для багатокомпонентних косметичних систем [4,5].

Показано, що TISAB (Total Ionic Strength Adjustment Buffer – загальний буфер регулювання іонної сили) стабілізує іонну силу, підтримує оптимальний рН і зменшує вплив багатовалентних катіонів шляхом запобігання утворенню комплексів із фторид-іонами, що в сукупності підвищує відтворюваність і точність визначення.

Окремо в публікаціях висвітлено питання щодо калібрування фторселективного електрода та перевірки лінійності залежності потенціалу від логарифма концентрації фтору в заданому діапазоні. Показано, що лінійність калібрувальної кривої та наближеність нахилу до теоретично очікуваних значень є ключовими ознаками коректної роботи електродної системи та правильності умов вимірювання. За даними фахової літератури, пробопідготовку визначено як критичний етап аналізу, оскільки саме на цьому етапі мінімізуються матричні впливи та забезпечується перехід фторид-іонів у форму, доступну для селективного вимірювання [4,6]. Описано підходи, що включають розчинення наважки пасти у воді, додавання рівного об'єму TISAB, витримання до стабілізації потенціалу та виконання повторних вимірювань для статистичної надійності результату [3].

Згідно з результатами сучасних досліджень, потенціометричне визначення фтору може забезпечити хорошу відтворюваність у разі належної стандартизації умов: кондиціонування електродів, контролю температури, стабілізації іонної сили та рН та коректного калібрування. Такі підходи визначають як практично придатні для лабораторного контролю якості фторвмісних багатокомпонентних продуктів.

Отже, незважаючи на наявність різних методик контролю фтору, найбільш обґрунтованим для гетерогенних косметичних систем є електрохімічний підхід із фторселективним електродом у поєднанні з використанням TISAB, оскільки він дає змогу зменшити вплив матриці, отримати відтворювані дані та застосувати метод для оцінювання відповідності продукту заданим концен-

Таблиця 1. Рецептúra розробленого модельного зразка фторвмісної зубної пасти

Хімічна назва інгредієнта за INCI	Номер CAS	Концентрація інгредієнта в рецептурі, %
Aqua	7732-18-5	До 100
Silica	7631-86-9	15,0
Sorbitol	50-70-4	14,5
Glycerin	56-81-5	11,5
Erythritol	7541-59-5	10,0
Cocamidopropyl Betaine	97862-59-4	1,5
Cellulose Gum	9004-32-4	1,5
Methylparaben	99-76-3	1,5
Propylparaben	94-13-3	0,5
Polyvinyl Alcohol	9002-89-5	0,5
Sodium Fluoride	7681-49-4	0,221
Mentha Piperita oil	8006-90-4	0,01

траційним межах. Саме тому наукові праці спрямовані на уточнення умов пробопідготовки та вимірювань для підвищення достовірності контролю фтору в зубних пастах.

Мета роботи

Експериментальне обґрунтування можливості кількісного визначення іонів фтору в модельній гетерогенній косметичній системі у формі зубної пасти методом прямої потенціометрії з використанням фторселективного електрода.

Матеріали і методи дослідження

У межах дослідження розроблено модельну гетерогенну косметичну систему у формі зубної пасти із вмістом фтору. До складу пасти входили натрію фторид, абразивний компонент на основі гідратованого діоксиду кремнію, зволожувальні речовини, ПАР і полімерний загусник. Пасту готували поетапно, з формуванням водної фази та введенням надалі компонентів до отримання однорідної структури [2].

Після введення розчину натрію фториду абразивний компонент додавали поступово, постійно перемішуючи. На завершальному етапі вводили поверхнево-активні та допоміжні речовини, коригували значення рН до рівня, прийняттого для засобів гігієни порожнини рота. Отриманий зразок характеризувався стабільною консистенцією без ознак фазового розшарування.

Для кількісного визначення іонів фтору застосували метод прямої потенціометрії з використанням фторселективного електрода F502 (SANXIN, Китай) та електрода порівняння 6211-M (SANXIN, Китай). Підготовку проб здійснили шляхом розчинення наважки пасти у дистильованій воді, надалі додано буферний розчин TISAB. У такий спосіб досягнуто стабілізації іонної сили середовища та сталих умов вимірювання.

Калібрування електродної системи здійснили з використанням стандартних розчинів натрію фториду з відомими концентраціями, на основі яких будували калібрувальну залежність між потенціалом електрода та логарифмом концентрації іонів фтору.

Результати

У результаті експериментальних досліджень отримано зразок модельної зубної пасти, що характеризується однорідною гетерогенною структурою та стабільною консистенцією. Склад зразка сформовано відповідно до вимог Міжнародної номенклатури косметичних інгредієнтів (INCI), що забезпечує коректну ідентифікацію компонентів та відповідає сучасним підходам до стандартизації косметичних засобів (табл. 1).

Після завершення технологічного процесу не виявлено ознак фазового розшарування, седиментації або агрегації твердої фази, що свідчить про правильний добір компонентів та оптимальну послідовність їх введення. Отриманий зразок придатний для подальших аналітичних досліджень. Зовнішній вигляд і текстурні характеристики зразка залишалися стабільними протягом усього періоду виконання вимірювань. Відсутність змін консистенції та видимих структурних дефектів є необхідною передумовою для забезпечення відтворюваності аналітичних результатів, оскільки нестабільність гетерогенної системи може призводити до нерівномірного розподілу активних компонентів [7].

Зразок зубної пасти характеризувався рівномірним розподілом абразивного компонента в дисперсійному середовищі. Це мінімізувало ризик локальної концентрації фторид-іонів і забезпечило репрезентативність відбору проб для потенціометричного аналізу. Паста не містила агломератів і великих частинок, що позитивно вплинуло на точність визначення кількісного вмісту фтору. Для кількісного визначення іонів фтору було проведено калібрування фторселективного електрода з використанням

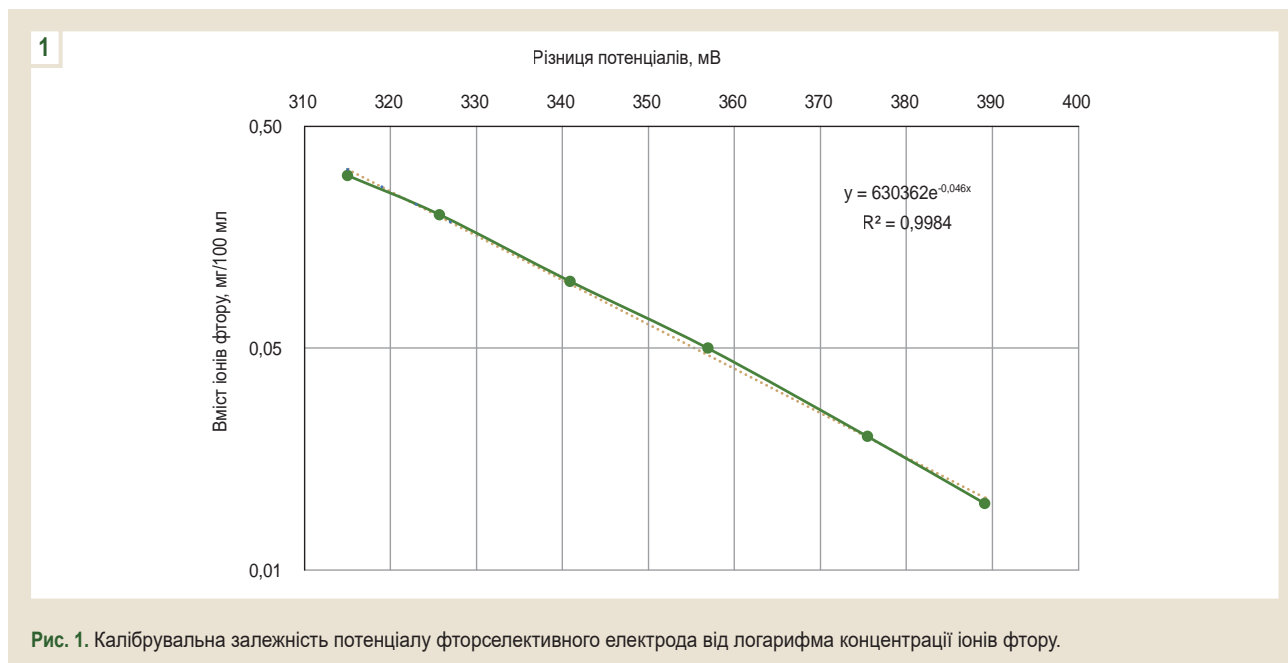


Рис. 1. Калібрувальна залежність потенціалу фторселективного електрода від логарифма концентрації іонів фтору.

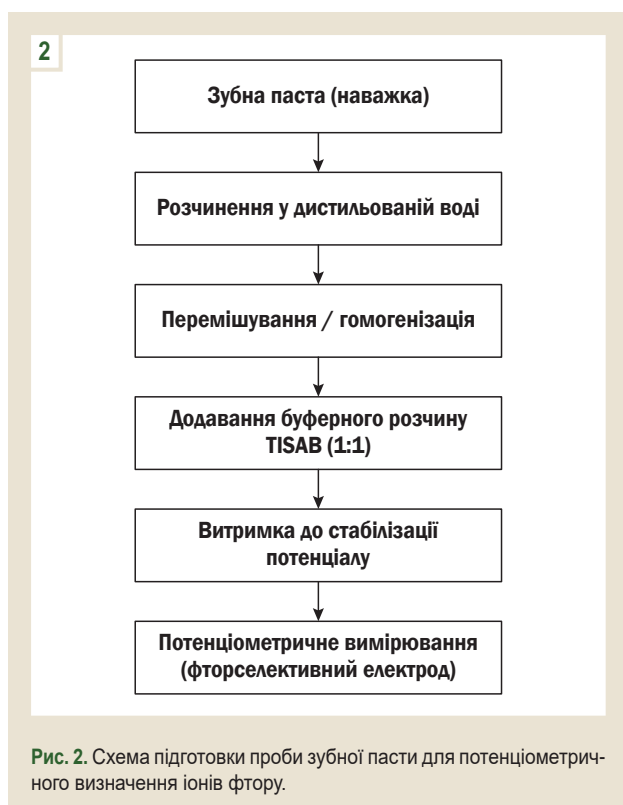


Рис. 2. Схема підготовки проби зубної пасту для потенціометричного визначення іонів фтору.

Таблиця 2. Результати кількісного визначення фтору у зубній пасті

№ вимірювання	Вміст фтору, ppm
1	987,0
2	981,0
3	987,0
Середнє значення	985,0
SD	5,2

стандартних розчинів натрію фториду. У результаті отримано лінійну залежність між потенціалом електрода та логарифмом концентрації іонів фтору в досліджуваному діапазоні концентрацій, що підтверджується калібрувальною кривою, наведеною на рис. 1.

Лінійний характер калібрувальної залежності свідчить про коректність роботи електродної системи та відповідність умов вимірювання вимогам методу прямої потенціометрії. Отримана залежність дала змогу використовувати побудовану калібрувальну криву для наступного кількісного визначення фтору у зразках зубної пасту [8].

Кут нахилу калібрувальної прямої наближався до теоретичного значення, характерного для фторселективних електродів, що свідчить про стабільність потенціометричної системи. Оскільки не визначено суттєвих відхилень від лінійності у всьому досліджуваному діапазоні концентрацій, підтверджено відсутність значного впливу матричних компонентів на аналітичний сигнал.

Підготовку проб зубної пасту до потенціометричного аналізу здійснювали з використанням буферного розчину TISAB, що забезпечує стабілізацію іонної сили середовища та підтримання оптимального значення рН. Послідовність операцій підготовки проби для визначення іонів фтору наведено на рис. 2.

Застосування буферного розчину TISAB дало змогу зменшити вплив багатокомпонентної матриці зубної пасту на результати вимірювань. Буфер запобігав утворенню комплексів іонів фтору з багатовалентними катіонами та забезпечував сталі умови для потенціометричного визначення [9]. Після додавання TISAB у підготовлених пробах спостерігали швидке встановлення стабільного потенціалу фторселективного електрода. Це свідчить про ефективний перехід фторид-іонів у розчин і про мінімальний вплив допоміжних компонентів пасту на аналітичний сигнал.

За результатами серії потенціометричних вимірювань визначено кількісний вміст фтору у розробленій зубній пасті. Дані окремих вимірювань та результати їх статистичного опрацювання наведено в *таблиці 2*. Встановлені значення характеризуються незначною варіабельністю, що свідчить про хорошу відтворюваність методу.

Середній експериментально визначений вміст фтору у зразку, що дослідили, становив 985,0 ppm. Розраховане стандартне відхилення не перевищувало $\pm 5,2$ ppm, що свідчить про однорідність розподілу активного компонента у гетерогенній системі та стабільність аналітичних умов. Визначений вміст фтору відповідає вимогам Технічного регламенту на косметичну продукцію, що гармонізований із Регламентом (ЄС) № 1223/2009 Європейського Парламенту та Ради про косметичні продукти. Відповідно до цього документа, гранично допустима сумарна концентрація фтору в зубних пастах не повинна перевищувати 0,15 % (1500 ppm) у перерахунку на елементарний фтор [10]. Отже, встановлені дані свідчать про відповідність дослідженого зразка встановленим нормативним вимогам щодо безпечності та якості косметичної продукції. Результати дослідження підтверджують також придатність застосованого потенціометричного методу для контролю вмісту фтору у складних гетерогенних косметичних системах.

Незначна варіабельність експериментальних даних щодо вмісту фтору та низьке значення стандартного відхилення свідчать про однорідний розподіл фторид-іонів у гетерогенній системі зубної пасти та стабільність аналітичних умов вимірювання. Це підтверджує коректність технології приготування зразка, а також свідчить про те, що компоненти матриці пасти не чинять істотного впливу на результати потенціометричного визначення [5].

Обговорення

Порівняно з іншими аналітичними методами, які застосовують для визначення фтору в зубних пастах, пряма потенціометрія з використанням фторселективного електрода та буферного розчину TISAB забезпечує достовірні та відтворювані результати без необхідності попереднього руйнування багатокомпонентної матриці. Це робить метод придатним для контролю якості гетерогенних косметичних систем [5,9].

Порівняння експериментально визначеного вмісту фтору з теоретично обчисленим значенням, що передбачене рецептурою продукту, показало їхню високу узгодженість. На підставі цих даних дійшли висновку, що у процесі приготування зубної пасти не відбуваються втрати фтору або його хімічні перетворення. Встановлене значення вмісту фтору відповідає діапазону концентрацій (≈ 1000 – 1500 ppm), що наведений у фаховій літературі та характерний для фторвмісних зубних паст для щоденного використання, відповідає рекомендованим нормативним значенням, які встановлені для косметичної продукції цієї категорії [11,12]. Визначений рівень достатній для досягнення карієс-профілактичної дії без перевищення допустимих меж, що підтверджує безпечність і функці-

ональну доцільність розробленої композиції. Результати дослідження підтверджують потенційну придатність визначення вмісту фтору у модельній гетерогенній косметичній системі у формі зубної пасти методом прямої потенціометрії з експериментальним контролем ефективності та безпечності профілактичних гігієнічних процедур [11].

Багатокомпонентна матриця зубної пасти може суттєво впливати на коректність кількісного визначення іонів фтору. Абразивні компоненти на основі діоксиду кремнію можуть почасти адсорбувати фторид-іони на своїй поверхні, а отже призводити до заниження результатів аналізу, коли не здійснено відповідну пробопідготовку. Полімерні загусники та ПАР можуть змінювати іонну силу середовища або впливати на активність іонів фтору в розчині. Застосування буферного розчину TISAB дає змогу мінімізувати ці ефекти шляхом стабілізації іонної сили та запобігання утворенню комплексів фторид-іонів із багатовалентними катіонами. Це забезпечує переведення фтору у форму, доступну для селективного потенціометричного визначення, та зменшує вплив матричних компонентів на аналітичний сигнал.

Результати дослідження підтверджують аналітичну доцільність застосування методу прямої потенціометрії для визначення фтору в гетерогенних косметичних системах. Метод дає змогу здійснювати кількісне визначення фторид-іонів без попереднього руйнування складної матриці зубної пасти, що знижує ризик втрат аналіту та появи додаткових джерел похибок [10,11].

Завдяки селективності фторселективного електрода та стандартизованим умовам вимірювання потенціометричний підхід можна використовувати для аналітичного контролю фторвмісних косметичних продуктів у лабораторних умовах. Згідно з результатами дослідження, цей метод можна застосовувати для оцінювання відповідності фторвмісних зубних паст заданим концентраційним межах і для порівняльного аналізу зразків із різним складом під час аналітичних досліджень [11].

Висновки

1. Розроблено модельну гетерогенну косметичну систему у формі зубної пасти із вмістом фтору, що характеризується однорідною структурою та стабільною консистенцією без ознак фазового розшарування. Запропонована технологія приготування забезпечує рівномірний розподіл фторид-іонів у дисперсійному середовищі та відтворюваність властивостей готового продукту.

2. Для кількісного визначення іонів фтору в зубній пасті застосовано метод прямої потенціометрії з використанням фторселективного електрода. Показано, що обраний метод є придатним для аналізу багатокомпонентних гетерогенних косметичних систем, якщо здійснено належну підготовку проб.

3. Використання буферного розчину TISAB під час пробопідготовки дало змогу стабілізувати іонну силу середовища, підтримати сталий рівень pH і зменшити вплив компонентів матриці зубної пасти на результати

вимірювань, що сприяє відтворюваності потенціометричних визначень.

4. У результаті експериментальних досліджень встановлено, що середній вміст фтору у розробленій зубній пасті становить $985,0 \pm 5,2$ ppm. Це відповідає вимогам Технічного регламенту на косметичну продукцію, що гармонізований із Регламентом (ЄС) № 1223/2009 Європейського Парламенту та Ради, та підтверджує безпечність і якість дослідженого зразка.

Перспективи подальших досліджень. Результати дослідження підтверджують можливість застосування методу прямої потенціометрії з фторселективним електродом для контролю кількісного вмісту фтору у гетерогенних косметичних системах у формі зубних паст і можуть бути використані під час розробки й аналітичного контролю аналогічних косметичних продуктів.

Фінансування

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

Відомості про авторів:

Ресницький І. В., канд. техн. наук, асистент каф. промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

ORCID ID: [0000-0003-4376-0811](https://orcid.org/0000-0003-4376-0811)

Бессарабов В. І., д-р техн. наук, професор каф. промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну; Інститут фізико-органічної хімії і вуглекімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, м. Київ.

ORCID ID: [0000-0003-0637-1729](https://orcid.org/0000-0003-0637-1729)

Іщенко О. В., д-р техн. наук, професор каф. промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-9510-6005](https://orcid.org/0000-0002-9510-6005)

Роїк О. М., канд. фарм. наук, доцент каф. промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-5988-6577](https://orcid.org/0000-0002-5988-6577)

Макарчук Т. О., здобувач вищої освіти, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

ORCID ID: [0009-0007-8326-8991](https://orcid.org/0009-0007-8326-8991)

Information about the authors:

Resnytskyi I. V., PhD, Assistant at the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine.

Bessarabov V. I., PhD, DSc, Professor of the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design; L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry NAS of Ukraine, Kyiv.

Ishchenko O. V., PhD, DSc, Associate Professor, Professor at the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine.

Roik O. M., PhD, Associate Professor of the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine.

Makarchuk T. O., Higher Education Student, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine.



Олена Роїк (Olena Roik)
roik.om@knuud.edu.ua

References

1. Sebastian ST, Siddanna S. Total and Free Fluoride Concentration in Various Brands of Toothpaste Marketed in India. *J Clin Diagn Res.* 2015;9(10):ZC09-12. doi: [10.7860/JCDR/2015/13382.6578](https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13382.6578)

2. Buzalaf M, Pessan JP, Honório HM, Ten Cate JM. Mechanisms of action of fluoride for caries control. *Monogr Oral Sci.* 2011;22:97-114. doi: [10.1159/000325151](https://doi.org/10.1159/000325151)
3. Borjigin S, Ashimura Y, Yoshioka T, Mizoguchi T. Determination of fluoride using ion-selective electrodes in the presence of aluminum. *Anal Sci.* 2009;25(12):1437-43. doi: [10.2116/analsci.25.1437](https://doi.org/10.2116/analsci.25.1437)
4. Mendes A, Nascimento MS, Picoloto RS, Flores E, Mello PA. A sample preparation method for fluoride detection by potentiometry with ion-selective electrode in medicinal plants. *J Fluor Chem.* 2020;231:109459. doi: [10.1016/j.jfluchem.2020.109459](https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2020.109459)
5. Mukendi MD, Mketo N. Water-based microwave-assisted digestion method for electrochemical and chromatographic determination of total fluoride ions in toothpaste samples. *Appl Sci (Basel).* 2023;13(24):13315. doi: [10.3390/app132413315](https://doi.org/10.3390/app132413315)
6. Miya KS, Jha VK. Determination of fluoride in various samples using a fluoride selective electrode. *J Anal Sci Methods Instrum.* 2020;10(04):97-103. doi: [10.4236/jasmi.2020.104007](https://doi.org/10.4236/jasmi.2020.104007)
7. ten Cate JM. Contemporary perspective on the use of fluoride products in caries prevention. *Br Dent J.* 2013;214(4):161-7. doi: [10.1038/sj.bdj.2013.162](https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.162)
8. Mazur IP, Mazur PV. [Effectiveness and safety of oral care products]. *Oral Gen Health.* 2021;2(3):17-21. Ukrainian. doi: [10.22141/ogh.2.3.2021.240724](https://doi.org/10.22141/ogh.2.3.2021.240724)
9. EU Regulation. Regulation (EC) No 1223/2009 of the European parliament and of the council. *Off J Eur Union.* 2009;342:59-209.
10. Ruiz-Gonzalez A. Ion-selective electrodes in the food industry: Development trends in the potentiometric determination of ionic pollutants. *Electrochem.* 2024;5(2):178-212. doi: [10.3390/electrochem5020012](https://doi.org/10.3390/electrochem5020012)
11. Crouch S, Skoog D, Holler F. *Principles of Instrumental Analysis.* 7th ed. Mason, OH: CENGAGE Learning Custom Publishing; 2017.
12. Vellappally S, Naik S, Al Kheraif AA, Alayadi H, Alageel O, Alsarani MM, et al. Fluoride Concentrations in Different Brands of Toothpaste Marketed in Saudi Arabia. *Int J Dent Hyg.* 2025;23(2):353-61. doi: [10.1111/ihd.12855](https://doi.org/10.1111/ihd.12855)