

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2025.6.6>

Received: 05.11.2025

Revised: 16.12.2025

Accepted: 23.12.2025

УДК 678.5:66.095:615.28

Ілля РЕСНИЦЬКИЙ¹, Олена ІЩЕНКО¹,
Ганна ХАРИТОНЕНКО¹, Олена РОЇК¹,
Вячеслав КУЛИК^{1,2}, Віталій ОЛЕКСИШЕН³

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Київ, Україна

³Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

РОЗРОБЛЕННЯ БІОПОЛІМЕРНОЇ КОМПОЗИЦІЇ З АНТИСЕПТИЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Мета. Розроблення біополімерної композиції з антисептичними речовинами органічного походження та дослідження її фізико-хімічних, технологічних і антисептичних характеристик.

Методика. Для виготовлення полімерних плівок використовували полівініловий спирт (ПВС), модифікований крохмаль (Na-КМК) в різних співвідношеннях; як активний фармацевтичний інгредієнт використовували етоній. Полімерні плівки одержували методом поливу на горизонтальну поверхню (скляні або металеві пластини). Реологічні характеристики визначали на ротаційному віскозиметрі. Фізико-механічні властивості зразків вимірювали за стандартною методикою на розривній машині. Для оцінки структурованості та відновлювальної здатності систем після механічного руйнування проводили дослідження тиксотронії. Сумісність полімерів у композиціях оцінювали методом віскозиметрії за критерієм Зелінгера–Хейдингсфельда. Антимікробну активність композицій визначали на тест-культурах *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* та *Bacillus subtilis*. Протигрибкову активність оцінювали по відношенню до мікроорганізмів грибів повітряного середовища.

Результати. У статті досліджено реологічні характеристики розчинів полімерних композицій на основі модифікованого крохмалю (Na-КМК), ПВС. Встановлено, що всі системи належать до неньютонівських рідин; Na-КМК/ПВС полімерні плівки демонстрували найбільш стабільні характеристики та мали високий рівень тиксотропного відновлення в'язкості (до 99%), що дозволяє забезпечити рівномірність нанесення розчину при формуванні плівки методом поливу без структурних дефектів.

Встановлено, що плівки на основі Na-КМК/ПВС з АФІ демонструють контрольоване водопоглинання і зберігають структурну цілісність при відносній вологості до 80%, на відміну від плівок на основі крохмалю, які розчиняються у вологому середовищі.

Механічні випробування показали, що плівки з додаванням ПВС мають вищу міцність і еластичність, особливо за підвищеної вологості, що дозволяє використовувати їх для створення трансдермальних лікарських форм.

Результати мікробіологічних випробувань підтвердили виражену активність розроблених полімерних плівок щодо бактеріальної та грибкової мікрофлори.

Наукова новизна. Вперше обґрунтовано склад та встановлено закономірності формування антисептичних полімерних композиційних плівок з етонієм, визначено їх реологічні та термодинамічні параметри, що забезпечують стабільність систем і необхідні функціональні властивості.

Практична значимість. Отримані результати підтверджують перспективність використання полімерних композицій на основі ПВС і Na-КМК для створення антисептичних лікарських форм із контрольованими властивостями та можуть бути використані в якості певних носіїв під час розроблення сучасних плівкових лікарських засобів.

Ключові слова: біополімерна композиція; антисептик; модифікація; етоній; натрій карбоксиметильований крохмаль; фізико-хімічні властивості; реологія; токсикологія; фармакологія.

Вступ. Розробка та виробництво лікарських форм із контрольованим вивільненням активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) є одним з інноваційних напрямків в фармацевтиці. Подібні терапевтичні системи, на відміну від традиційних, забезпечують регулювання швидкості, місця та тривалості вивільнення АФІ, підтримують стабільну терапевтичну концентрацію препарату протягом заданого часу та дозволяють зменшити добову дозу активної речовини, і відповідно, побічні ефекти. Зазвичай у системах із регульованим вивільненням використовують полімерні матриці як носії АФІ.

У випадку трансдермальних систем використовують полімерні плівки, які забезпечують пролонговане вивільнення діючих речовин, зниження системного впливу та формування захисного шару на поверхні уражених тканин [1, 2].

Важливим місцем серед чинників, що зумовлюють виникнення захворювань шкіри, є мікробіологічна інвазія, що полягає у проникненні та активному розмноженні патогенних або умовно-патогенних мікроорганізмів у структурах пошкодженої шкіри. Порушення цілісності епідермального бар'єра, зниження місцевого імунітету або дисбаланс нормальної мікробіоти створюють сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів [3].

Мікробіологічна інвазія може виступати як первинним етіологічним фактором (при інфекційних дерматозах), так і ускладнювати перебіг вже наявних захворювань шкіри, зокрема дерматитів, екземи або акне, підтримуючи хронічне запалення та сповільнюючи процеси регенерації тканин.

Особливу роль відіграє мікробне інфікування як ускладнення опікових ран, що суттєво впливає на перебіг ранового процесу, частоту розвитку системних ускладнень та рівень летальності серед пацієнтів із термічними ураженнями. У зв'язку з цим сучасні підходи до лікування опікових уражень передбачають застосування локальних антимікробних засобів і сучасних ранових покриттів та лікарських систем із контрольованим вивільненням активних речовин, спрямованих на пригнічення мікробної контамінації та створення оптимальних умов для загоєння тканин [4].

В якості АФІ було обрано етоній, який належить до фармакологічної групи місцевих антисептичних засобів катіонного типу – четвертинних амонієвих сполук, що проявляють бактерицидну, бактеріостатичну та частково фунгістатичну активність [5]. За АТС (Anatomical Therapeutic Chemical Classification System) – класифікацією етоній відноситься до дерматологічних засобів групи антисептиків і дезінфектантів – четвертинних амонієвих сполук (D08AJ) [6].

Механізм дії етонію пов'язаний із взаємодією позитивно заряджених молекул препарату з фосфоліпідними компонентами клітинних мембран мікроорганізмів, що призводить до порушення їхньої проникності, дестабілізації мембранних структур, денатурації білків і пригнічення ключових ферментативних процесів. У результаті відбувається лізис мікробної клітини, а також пригнічення її росту та розмноження. Препарат активний щодо широкого спектра грамположитивних і грамнегативних бактерій, а також окремих грибів, що має важливе клінічне значення при лікуванні інфікованих ушкоджень шкіри, зокрема ранових і опікових поверхонь.

З фармакологічної точки зору етоній характеризується переважно місцевою дією та низьким ступенем системної абсорбції при зовнішньому застосуванні, що зумовлює сприятливий профіль безпеки. Водорозчинність та іонна природа етонію забезпечують його рівномірний розподіл у гідрофільних полімерних матрицях і сприяють контрольованому пролонгованому вивільненню з плівкових лікарських форм і трансдермальних систем.

Токсикологічні дослідження свідчать про відносно низьку гостру токсичність етонію за умов місцевого застосування та відсутність вираженої системної токсичної дії при терапевтичних концентраціях. Препарат не проявляє сенсibilізуючого ефекту та

характеризується низьким ризиком розвитку місцево-подразнювальних реакцій за умови дотримання рекомендованих доз і режиму застосування. Обмежена системна експозиція знижує ймовірність кумуляції та розвитку небажаних побічних ефектів.

Крім антимікробної активності, етоній здатний стимулювати репаративні процеси у тканинах, зменшувати вираженість запальної реакції та сприяти прискоренню епітелізації, що забезпечує відновлення бар'єрної функції шкіри. Застосування етонію у трансдермальних та плівкових лікарських формах дозволяє реалізувати локалізовану терапевтичну дію зі зниженням системного фармакологічного навантаження, що підвищує ефективність і безпечність лікування дерматологічних уражень, зокрема інфікованих ран, опіків і запальних захворювань шкіри.

Постановка завдання. Сучасні підходи до лікування шкірних патологій передбачають застосування лікарських систем, здатних забезпечувати локальну антимікробну дію, контрольоване вивільнення активних речовин та відновлення бар'єрної функції шкіри. Метою роботи було розроблення біополімерної композиції з антисептичними речовинами органічного походження та дослідження її фізико-хімічних, технологічних і антисептичних характеристик.

Матеріали і методи дослідження. Для дослідження було обрано ряд полімерів природного та синтетичного походження, які проявляють низьку токсичність, високу біосумісність та дозволені до застосування у терапевтичних системах доставки ліків.

Для виготовлення плівок використовували полівініловий спирт (ПВС) (ТУ 2215-088-00203766-2007), карбоксиметильований крохмаль (Na-КМК) (ТУ У 6-04872 671.061-96), крохмаль картопляний (ДСТУ 3976:2000 «Крохмаль картопляний. Технічні умови»), етоній (етилен-1,2-біс диметиламінодецилацетату дихлорид, CAS: 15687-27-1). Використані компоненти належать до органічних та біополімерних матеріалів: Na-КМК і крохмаль картопляний є природними полісахаридами рослинного походження, ПВС – синтетичним органічним полімером, а етоній – органічною антисептичною сполукою з групи четвертинних амонієвих катіонів. Поєднання біополімерної матриці з антисептичною речовиною органічного походження забезпечує формування функціональних плівок з антимікробною активністю.

Готували 10% розчин ПВС на водяній бані при температурі 90–95 °С протягом 45–50 хв при постійному помішуванні та окремо готували розчин 10% Na-КМК при кімнатній температурі. В співвідношеннях (25:75; 50:50; 75:25) робили полімерні композиції. В якості АФІ використовували етоній у кількості 1,0%. Для приготування розчинів використовували воду подвійної дистиляції.

Полімерні плівки одержували методом поливу на горизонтальну скляну поверхню, що забезпечує рівномірне нанесення розчину та відтворення товщини. Після нанесення плівки висушували в сушильній шафі при температурі 45–50 °С протягом 90–120 хв, з наступною термостабілізацією при 100–110 °С впродовж 1–3 годин.

Реологічні характеристики композицій вивчали на ротаційному віскозиметрі Brookfield» DV-III (США). Фізико-механічні властивості зразків (розривне навантаження, відносне видовження) вимірювали за стандартною методикою на розривній машині РТ-250М.

Показники водопоглинання, сорбційні характеристики та кінетику набухання досліджували у моделях з вологістю середовища 45%, 65% та 80%.

Антимікробну активність композицій визначали по відношенню до тест-культур *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* та *Bacillus subtilis*. Зразки плівок з АФІ наносили на посіви бактерій, після чого вимірювали зони затримки росту. Оцінку стійкості до мікологічної інвазії властивостей проводили за методикою з використанням мікроскопічних грибів повітряного середовища.

Отримані дані обробляли статистично з розрахунком середнього значення та стандартного відхилення.

Результати дослідження.

Плівкоутворюючі полімери в складі трансдермальних систем повинні відповідати низці параметрів, а саме утворювати еластичні біосумісні плівки, забезпечувати рівномірний розподіл АФІ, регулювати швидкість його вивільнення та покращувати адгезію лікарської форми до поверхні шкіри [7]. Для оцінки функціональних властивостей були проведені дослідження реологічних характеристик полімерних плівок з різним співвідношенням полімерів (рис. 1).

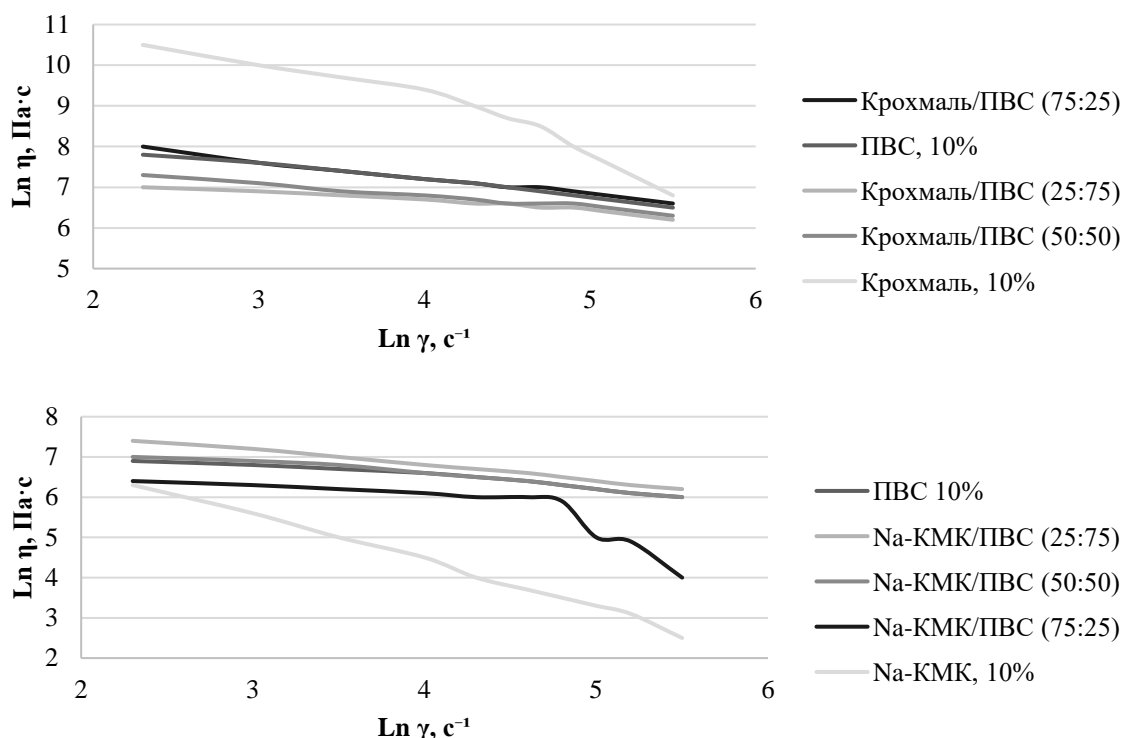


Рис. 1. Залежність в'язкості композицій крохмаль/ПВС і Na-КМК/ПВС від швидкості зсуву

У результаті дослідження встановлено, що розчини полімерних композицій з Na-КМК, ПВС, крохмалем, демонструють неньютонівську, переважно псевдопластичну поведінку, що свідчить про складну внутрішню організацію полімерних ланцюгів у системі.

Розчини крохмалю демонстрували найвищу в'язкість, що ускладнює їх практичне використання в технологіях, які вимагають рівномірного нанесення (метод поливу, розпилення). Додавання ПВС до крохмалю значно знижувало в'язкість, проте одночасно зменшувало структурованість системи, що може призводити до розшарування плівки під час сушіння. У композиціях на основі Na-КМК із ПВС спостерігався оптимальний баланс між текучістю та стабільністю, що є необхідним для формування плівок заданої товщини без деформацій чи розривів. Залежність в'язкості від градієнту швидкості зсуву для композицій вказує на наявність структурованих гелеподібних систем, які реагують на механічний вплив орієнтацією макромолекул і руйнуванням внутрішніх зв'язків, що є важливим для формування плівок, оскільки дозволяє наносити композиції без розбризкування, а також забезпечує стабільність під час сушіння [8]. Розрахунок адитивних значень в'язкості та ступінь

відхилення фактичних показників свідчить про термодинамічну сумісність компонентів у розчині. Вивчено також вплив співвідношення компонентів на стабільність системи та можливість утворення гомогенних плівок.

Для кількісної оцінки структурованості систем обчислено індекси течії (n) згідно з рівнянням Оствальда-де-Вілла. При значенні $n < 1$ композиції класифікуються як псевдопластичні, при $n \approx 1$ – як ньютонівські. Так, Na-КМК/ПВС (50:50) мало $n \approx 0,73$, що свідчить про високий ступінь структурованості, яка зберігається під час зсуву. Водночас для системи крохмаль/ПВС (50:50), $n \approx 0,81$, що свідчить про меншу псевдопластичність [9]. Таким чином, Na-КМК/ПВС є більш технологічно стабільною системою, що забезпечує як зручність нанесення, так і прогнозовану поведінку в процесі формування плівки.

Не менш важливим параметром для оцінки здатності плівкоутворення є тиксотропія – здатність системи відновлювати в'язкість після механічного руйнування. Це особливо актуально для плівкових покриттів, які наносяться шаром і мають утримувати задану структуру при сушінні, запобігаючи утворенню тріщин або зон нерівномірного розподілу [8]. Ступінь тиксотропного відновлення було розраховано за кількістю обертів віскозиметра, що імітує зсув. Результати вимірювань для композиційних плівок наведені у таблиці 1. Найвищі значення тиксотропності виявлено у системах Na-КМК/ПВС (50:50), що значно перевищує цей показник для індивідуальних полімерів. Це підтверджує здатність композиційної системи цього складу швидко відновлювати в'язкісну структуру навіть після активного механічного впливу.

Таблиця 1

Ступінь тиксотропного відновлення в'язкості, %

Склад композиції	Ступінь тиксотропності, %
Na-КМК	81
ПВС	97
Na-КМК/ПВС (50:50)	99
Крохмаль/ПВС (50:50)	89

Дослідження термодинамічної сумісності полімерів підтвердило, що Na-КМК та ПВС утворюють стабільні розчини при масовому співвідношенні 25:75 – 75:25. Оцінка за критерієм Зелінгера–Хейдингсфельда показала, що $|\Delta\eta/\Delta\eta_i| < 0,1$, отже полімери сумісні. Це забезпечує формування гомогенних плівок без фазового розшарування, що надзвичайно важливо для стабільності фармацевтичної форми. У системах крохмаль/ПВС значення перевищувало 2,25, що свідчить про виражену несумісність компонентів і пояснює нестабільну структуру плівок у цих системах [10]. Візуальний аналіз плівок, отриманих з різних композицій, показав, що плівки на основі Na-КМК/ПВС формуються рівномірно, без мікропухирців, тріщин або зон локального потовщення. Вони мали однорідну гладку поверхню та достатню прозорість. Натомість плівки з крохмалем, навіть при додаванні ПВС, у ряді випадків виявляли ознаки крайового скручування, розшарування або появи матових зон, що свідчить про нерівномірність висихання або фазову нестабільність системи.

Наступним етапом було дослідження сорбційної здатності плівок у вологих середовищах (RH = 45%, 65%, 80%). Плівки, виготовлені на основі крохмалю/ПВС, при 80% RH втрачали форму та розчинялися вже через 15–20 хвилин, що унеможливило їх використання в практиці (рис. 2).

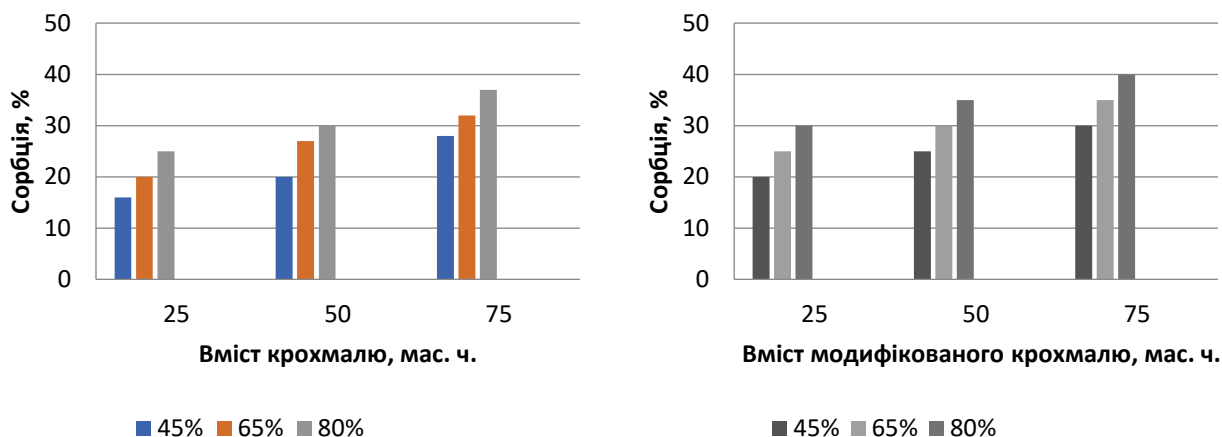


Рис. 2. Сорбція плівок Na-КМК/ПВС і крохмаль/ПВС при різній вологості

Композиції Na-КМК/ПВС зберігали структурну цілісність протягом 24 годин, демонструючи контрольоване водопоглинання. Важливо, що поглинання води супроводжувалося лише набуханням без повного руйнування структури, що створює умови для поступового вивільнення діючої речовини [11, 12].

Фізико-механічні властивості плівок оцінювали за розривним навантаженням та відносним видовженням (рис.3). Результати показали, що плівки на основі Na-КМК/ПВС витримують механічне навантаження в умовах підвищеної вологості, що є критичним для трансдермальних лікарських форм. У зразків без ПВС спостерігалось зниження еластичності та крихкості плівки. Показник розривного навантаження у таких системах зменшувався в 1,5–2 рази. Таким чином, введення ПВС до складу сприяє зміцненню полімерної сітки та забезпечує механічну стабільність при експлуатації [10].

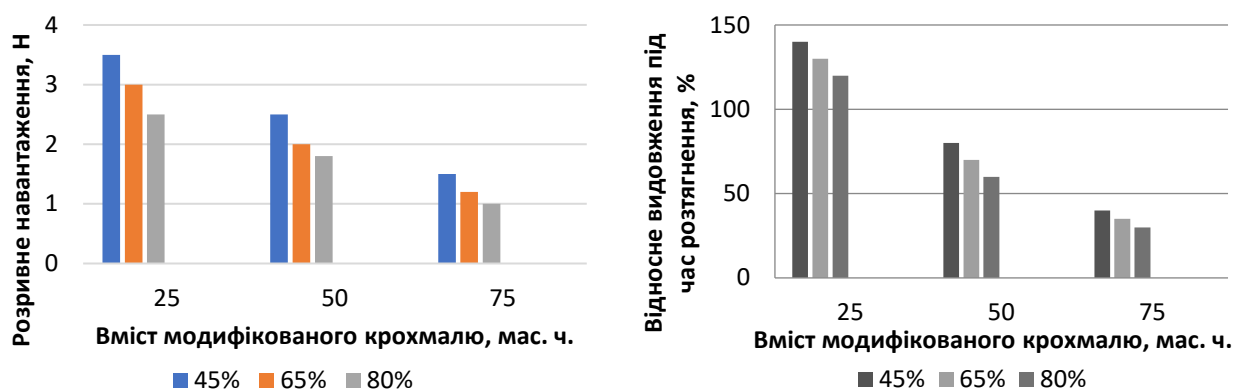


Рис. 3. Механічні характеристики плівок Na-КМК/ПВС при різній вологості

Наступним етапом досліджень було вивчення антисептичних властивостей плівкових композицій на основі Na-КМК/ПВС з етонієм щодо росту *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* та *Bacillus subtilis*. Плівки, сформовані з композиції Na-КМК/ПВС з етонієм, утворювали стійкі зони затримки росту мікроорганізмів діаметром 17–19 мм, що підтверджує збереження антисептичної активності АФІ після її іммобілізації в полімерну матрицю. Водночас зразки без АФІ або плівки на основі крохмалю характеризувалися значно нижчою антимікробною ефективністю (діаметр зон інгібування ≤ 12 мм), що свідчить про вирішальну

роль полімерної композиції плівки у забезпеченні рівномірного вивільнення, стабільності лікарської речовини та, відповідно, ефективності антисептичної дії.

Отже, на основі комплексного аналізу реологічних, фізико-хімічних та мікробіологічних характеристик встановлено, що оптимальним складом композиції є Na-КМК/ПВС у співвідношенні 50:50 з етонієм як АФІ. Цей варіант забезпечує технологічну стабільність на етапі приготування, збереження функціональних властивостей у вологих умовах, а також виражену антимікробну активність, що є підґрунтям для подальшої розробки лікарської форми у вигляді антисептичної плівки пролонгованої дії.

Висновки:

1. Досліджено реологічні характеристики розчинів полімерних композицій на основі крохмалю, Na-КМК, ПВС. Встановлено, що всі системи належать до неньютонівських рідин, причому найбільш стабільні характеристики спостерігаються у композицій Na-КМК/ПВС.

2. Визначено, що композиції Na-КМК/ПВС мають високий ступінь тиксотропного відновлення в'язкості (до 99%), що дозволяє забезпечити рівномірність нанесення розчину при формуванні плівки методом поливу без структурних дефектів.

3. Оцінка термодинамічної сумісності полімерів за критерієм Зелінгера-Хейдингсфельда підтвердила, що Na-КМК і ПВС є сумісними в інтервалі масових співвідношень 25:75 – 75:25, тоді як крохмаль з ПВС утворюють нестабільні системи.

4. Встановлено, що плівки на основі Na-КМК/ПВС з АФІ демонструють контрольоване водопоглинання і зберігають структурну цілісність при відносній вологості до 80%, на відміну від плівок на основі крохмалю, які розчиняються у вологому середовищі.

5. Механічні випробування показали, що плівки з додаванням ПВС мають вищу міцність і еластичність, особливо за підвищеної вологості, що дозволяє використовувати їх для створення трансдермальних лікарських форм.

6. Антисептична активність плівок із вмістом етонію підтверджена *in vitro*: встановлено зони затримки росту *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* і *Bacillus subtilis* до 19 мм, що свідчить про ефективне вивільнення АФІ з полімерної матриці та забезпечення пролонгованої дії.

7. Перспективи подальших досліджень полягають у оптимізації складу полімерної матриці Na-КМК/ПВС для регулювання швидкості вивільнення АФІ, підвищення стабільності плівок у різних умовах зберігання, оцінку біосумісності та можливостей масштабування технології отримання плівкових лікарських форм.

References

1. Riccio, B. V. F., Silvestre, A. L. P., Meneguín, A. B., Ribeiro, T. D. C., Klosowski, A. B., Ferrari, P. C., & Chorilli, M. (2022). Exploiting polymeric films as a multipurpose drug delivery system: A review. *AAPS PharmSciTech*, 23(7), Art. 269. URL: https://www.researchgate.net/publication/392310293_Justicia_gendarussa_Gel_Film_A_New_Approach_to_Alleviating_Upper_Back_Muscle_Pain.
2. Salawi, A. (2022). Pharmaceutical coating and its different approaches: A review. *Polymers*, 14(16), Art. 3318. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14163318>.
3. Byrd, A. L., Belkaid, Y., & Segre, J. A. (2018). The human skin microbiome. *Nature Reviews Microbiology*,

Література

1. Riccio B. V. F., Silvestre A. L. P., Meneguín A. B., Ribeiro T. D. C., Klosowski A. B., Ferrari P. C., Chorilli M. Exploiting polymeric films as a multipurpose drug delivery system: A review. *AAPS PharmSciTech*. 2022. Vol. 23, № 7. Art. 269. URL: https://www.researchgate.net/publication/392310293_Justicia_gendarussa_Gel_Film_A_New_Approach_to_Alleviating_Upper_Back_Muscle_Pain.
2. Salawi A. Pharmaceutical coating and its different approaches: A review. *Polymers*. 2022. Vol. 14, № 16. Art. 3318. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14163318>.
3. Byrd A. L., Belkaid Y., Segre J. A. The human skin microbiome. *Nature Reviews Microbiology*. 2018. Vol. 16, № 3. P. 143–155.

- 16(3), 143–155. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.157>.
4. Greenhalgh, D. G. (2019). Management of burns. *New England Journal of Medicine*, 380(24), 2349–2359. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMra1807442>.
5. Zhang, C., Cui, F., Zeng, G.-m., Jiang, M., Yang, Z.-z., Yu, Z.-g., Zhu, M.-y., & Shen, L.-q. (2015). Quaternary ammonium compounds (QACs): A review on occurrence, fate and toxicity in the environment. *Science of The Total Environment*, 518–519, 352–362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.007>.
6. Compendium online (n.d.). Spoluky chetvertynnoho amoniiu [Quaternary ammonium compounds]. URL: <https://compendium.com.ua/uk/atc/d08aj/> [in Ukrainian].
7. Vecchi, C. F., Cesar, G. B., Souza, P. R. D., Caetano, W., & Bruschi, M. L. (2021). Mucoadhesive polymeric films comprising polyvinyl alcohol, polyvinylpyrrolidone, and poloxamer 407 for pharmaceutical applications. *Pharmaceutical Development and Technology*, 26(2), 138–149. DOI: <https://doi.org/10.1080/10837450.2020.1849283>.
8. Misan, B. S., Nevludov, I. Sh., Ruban, O. A. (2024). Polimerni materialy dlia vyhotovlennia plivok bukalnykh metodom 3D-druku [Polymeric materials for the production of buccal films by 3D printing]. *Problemy ta dosiahnennia suchasnoi biotekhnologii – Problems and achievements of modern biotechnology: materials of the IV int. scientific-practical online conference (Kharkiv, 22.03.2024)*, 278–281. Kharkiv: NFAU. <http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/32678> [in Ukrainian].
9. Janczura, M., Sip, S., & Cielecka-Piontek, J. (2022). The development of innovative dosage forms of the fixed-dose combination of active pharmaceutical ingredients. *Pharmaceutics*, 14(4), 834. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14040834> [in Ukrainian].
10. Kuchynska, D., Ishchenko, O., & Yashchuk, S. (2024). Doslidzhennia vplyvu modyfikatsii krokhmalu molochnoiu kyslotoiu na vlastyvoli otrymanykh polimernykh plivok [Study of the effect of starch modification with lactic acid on the properties of the resulting polymer films]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 345(6(2)), 28–33. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-345-6-3> [in Ukrainian].
11. Kostenko, A. O., Protchenko, A. V., & Patlun, D. V. (2024). Polimerni materialy medychnoho pryznachennia napovneni nanochastynkami sribla [Polymeric materials for medical purposes filled with silver nanoparticles]. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.157>.
4. Greenhalgh D. G. Management of burns. *New England Journal of Medicine*. 2019. Vol. 380, № 24. P. 2349–2359. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMra1807442>.
5. Zhang C., Cui F., Zeng G.-m., Jiang M., Yang Z.-z., Yu Z.-g., Zhu M.-y., Shen L.-q. Quaternary ammonium compounds (QACs): A review on occurrence, fate and toxicity in the environment. *Science of The Total Environment*. 2015. Vol. 518–519. P. 352–362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.007>.
6. Сполюки четвeртинного амонію. *Компендіум online*. URL: <https://compendium.com.ua/uk/atc/d08aj/>
7. Vecchi C. F., Cesar G. B., Souza P. R. D., Caetano W., Bruschi M. L. Mucoadhesive polymeric films comprising polyvinyl alcohol, polyvinylpyrrolidone, and poloxamer 407 for pharmaceutical applications. *Pharmaceutical Development and Technology*. 2021. Vol. 26, № 2. P. 138–149. DOI: <https://doi.org/10.1080/10837450.2020.1849283>.
8. Місан Б. С., Невлюдов І. Ш., Рубан О. А. Полімерні матеріали для виготовлення плівок букальних методом 3Д-друку. *Проблеми та досягнення сучасної біотехнології: матеріали IV міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Харків, 22.03.2024)*. Харків: НФаУ, 2024. С. 278–281. URL: <http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/32678>.
9. Janczura M., Sip S., Cielecka-Piontek J. The Development of Innovative Dosage Forms of the Fixed-Dose Combination of Active Pharmaceutical Ingredients. *Pharmaceutics*. 2022. No. 14(4). Art. 834. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14040834>.
10. Кучинська Д., Іщенко О., Ящук С. Дослідження впливу модифікації крохмалю молочною кислотою на властивості отриманих полімерних плівок. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2024. Том 345, № 6(2). P. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-345-6-3>.
11. Костенко А. О., Протченко А. В., Патлун Д. В. Полімерні матеріали медичного призначення наповнені наночастинками срібла. *Іноватика в освіті, науці та бізнесі:*

Innovatyka v osviti, nauksi ta biznesi: vyklyky ta mozhlyvosti – *Innovation in education, science and business: challenges and opportunities: materials of the V All-Ukrainian conference of higher education students and young scientists* (Kyiv, 15.11.2024), Vol. 1, 300–304. Kyiv: KNUTD. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/29841> [in Ukrainian].

12. Ishchenko, O. V., Vlasenko, I. O., Shmatenko, O. P., Solomennyi, A. M., & Roik, O. M. (2025). Farmakotekhnologichni doslidzhennia pry rozroblenni aplikatsiinykh likarskykh plivok z anesteziuchoiu diieiu [Pharmacotechnological research in the development of application medicinal films with anesthetic effect]. *Ukrainian Journal of Military Medicine*, 6(3), 177–187. DOI: [https://doi.org/10.46847/ujmm.2025.3\(6\)-177](https://doi.org/10.46847/ujmm.2025.3(6)-177) [in Ukrainian].

виклики та можливості: матеріали V Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (Київ, 15.11.2024). Київ: КНУТД, 2024. Т. 1. С. 300–304. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/29841>.

12. Іщенко О. В., Власенко І. О., Шматенко О. П., Соломенний А. М., Роїк О. М. Фармакотехнологічні дослідження при розробленні аплікаційних лікарських плівок з анестезуючою дією. *Ukrainian Journal of Military Medicine*. 2025. Т. 6, № 3. С. 177–187. DOI: [https://doi.org/10.46847/ujmm.2025.3\(6\)-177](https://doi.org/10.46847/ujmm.2025.3(6)-177).

RESNYTSKYI ILLIA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4376-0811>
Scopus Author ID: 57200013816
E-mail: ilya9res@gmail.com

ISHCHENKO OLENA

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>
Scopus Author ID: 57200013816
Researcher ID: GYV-0809-2022
E-mail: ishhenko.ov@knutd.edu.ua

KHARYTONENKO HANNA

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9642-5334>
Scopus Author ID: 57214946394
E-mail: anna.kharitonenko@gmail.com

ROIK OLENA

Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5988-6577>
Scopus Author ID: 59504562300
E-mail: roik.om@knutd.edu.ua

KULYK VIACHESLAV

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2300-2431>
Scopus Author ID: 36089889700
E-mail: kulyk@biph.kiev.ua

OLEKSISHEN VITALII

PhD, Associate Professor of the Department of Chemical, Polymer and Silicate Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0477-2388>
E-mail: vitaliy.oleksishen@gmail.com

**Illia RESNYTSKYI¹, Olena ISCHENKO¹, Hanna KHARYTONENKO¹,
Olena ROIK¹, Viacheslav KULYK^{1,2}, Vitalii OLEKSISHEN³**

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

² O.O. Bogomolets Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

DEVELOPMENT OF A BIOPOLYMER COMPOSITION WITH ANTISEPTIC SUBSTANCES OF ORGANIC ORIGIN

Purpose. Development of a biopolymer composition with antiseptic substances of organic origin and study of its physicochemical, technological, and antiseptic characteristics.

Methodology. Polyvinyl alcohol (PVA) and modified starch (Na-CMS) in various ratios were used to manufacture polymer films; etonium was used as the active pharmaceutical ingredient. Polymer films were obtained by pouring onto a horizontal surface (glass plates or metal plates). Rheological characteristics were studied on a rotational viscometer. The physical and mechanical properties of the samples were measured using a standard method on a tensile testing machine. To evaluate the structure and regenerative capacity of the systems after mechanical destruction, thixotropy studies were conducted. The compatibility of polymers in the compositions was evaluated by viscometry according to the Zellinger–Heydingsfeld criterion. The antimicrobial activity of the compositions was determined on test cultures of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Bacillus subtilis*. Antifungal activity was evaluated against airborne fungi.

Findings. The article investigates the rheological characteristics of polymer solutions composed of modified starch (Na-CMS) and PVA. Results. The article investigates the rheological properties of polymer solutions comprising modified starch (Na-CMS) and PVA. It was found that all systems exhibit non-Newtonian behaviour; Na-CMS/PVA polymer films demonstrated the most stable characteristics and exhibited a high level of thixotropic viscosity recovery (up to 99%), ensuring uniform solution application during film formation by the pouring method without structural defects.

It was found that Na-CMS/PVA films with API demonstrate controlled water absorption and maintain structural integrity at relative humidity up to 80%, unlike starch-based films, which dissolve in a humid environment.

Mechanical tests have shown that films containing PVA exhibit higher strength and elasticity, especially at high humidity, enabling their use in creating transdermal and topical dosage forms.

The results of microbiological tests confirmed the pronounced activity of the developed polymer films against bacterial and fungal microflora.

Originality. For the first time, the composition and formation mechanisms of antiseptic polymer composite films with etonium have been substantiated, and their rheological and thermodynamic parameters have been determined, ensuring the stability of the systems and the necessary functional properties.

Practical value. The results obtained confirm the promise of using polymer compositions based on PVA and Na-CMS to create antiseptic dosage forms with controlled properties and can be used as specific carriers in the development of modern film-coated dosage forms.

Keywords: biopolymer composition; antiseptic; modification; etonium; sodium carboxymethylated starch; physicochemical properties; rheology; toxicology; pharmacology.