

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-294-8-58-65>

УДК 67.02

## КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ВЕТЕРИНАРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО КРОХМАЛЮ

Іщенко О.В., Страшний В.В., Кучинська Д.А.,  
Ресницький І.В., Харитоненко Г.І., Кучинська М.А.

## COMPOSITE MATERIAL FOR VETERINARY PURPOSES BASED ON MODIFIED STARCH

Ishchenko O.V., Strashnyi V.V., Kuchynska D.A.,  
Resnytskyi I.V., Kharitonenko G.I., Kuchynska M.A.

У статті розглянуто розробку композиційних матеріалів ветеринарного призначення на основі модифікованого крохмалю з метою створення нових антимікробних плівок-носіїв для трансдермальних терапевтичних систем. Методологія дослідження передбачала хімічну модифікацію картопляного крохмалю лимонною та молочною кислотами за різних умов, а потім його комбінування з полівініловим спиртом та ксероформом як активним фармацевтичним інгредієнтом. Реологічні властивості отриманих композицій вивчали методом ротаційної віскозиметрії. Встановлено, що всі розроблені розчини демонструють псевдопластичні властивості ( $n < 1$ ) та характеризуються зниженням в'язкості зі збільшенням швидкості зсуву. Доведено, що лимонна кислота, завдяки своїй багатофункціональності, сприяє утворенню ковалентно-зшитой мережевої структури, що призводить до підвищення в'язкості розчинів. Натомість, молочна кислота, маючи лише одну карбоксильну групу, виявилася менш ефективною для міжмолекулярного зшивання, а в деяких випадках каталізувала частковий гідроліз крохмалю. Результати підтверджують, що в'язкість композицій значно зростає зі збільшенням вмісту полівінілового спирту та при додаванні ксероформу, особливо для сумішей на основі крохмалю, модифікованого молочною кислотою. Додатково були вивчені кінетичні та ємнісні характеристики адсорбції метиленового синього (МС) як модельного контамінанта. Встановлено, що плівки з високим вмістом модифікованого крохмалю, зокрема ті, що були модифіковані молочною кислотою, демонструють високу сорбційну здатність. Це вказує на подвійну функціональність та перспективність використання розроблених

матеріалів: вони здатні не лише слугувати матрицею для вивільнення лікарських речовин, але й одночасно виконувати функцію сорбенту для очищення раневого ложа від ексудату та токсичних сполук, що є ключовим фактором у прискореному загоєнні ран. Отримані дані демонструють перспективність використання розроблених матеріалів для створення нового покоління ефективних засобів для лікування пошкоджень шкірного покриву у ветеринарії.

**Ключові слова:** модифіковані полісахариди, активний фармацевтичний інгредієнт, композиційний матеріал, полівініловий спирт, крохмаль, реологія, ксероформ.

**Вступ.** Застосування полімерних матеріалів у різних галузях промисловості обумовлене комплексом фізико-хімічних властивостей, специфічних для кожної галузі окремо, включаючи фармацевтичну та ветеринарну [1].

Біополімери різного походження активно досліджуються для застосування в біомедицині завдяки своїй біосумісності, біорозкладаності, нетоксичності, низькій вартості та універсальності. Розробка численних функціоналізованих систем на основі біополімерів з покращеними фізико-хімічними, механічними та біологічними властивостями ще більше розширила їх потенціал у сфері доставки ліків.

Будь-яке ураження шкіри супроводжується підвищеним ризиком розвитку інфекційного процесу в рані, а опікова травма

характеризується наявністю значної пошкодженої поверхні. Бактеріальне забруднення ран та опіків суттєво ускладнює перебіг захворювання, особливо на тлі імунодефіцитного стану, який розвивається в таких випадках. Інфікування, інтоксикації та прискорення термінів утворення епітелію рани є пріоритетними у лікуванні пошкоджень шкірного покриву [2].

Розробка композиційних матеріалів ветеринарного призначення на основі біосумісних полімерів є одним з пріоритетних напрямків у розвитку сучасної фармацевтичної та хімічної промисловості. Це пояснюється тим, що використання таких матеріалів сприяє підвищенню ефективності лікування тварин, зниженню побічних ефектів та полегшенню процесу догляду за ними. Композиційні матеріали на основі біосумісних полімерів відкривають нові можливості у створенні ветеринарних плівок, імплантів та покриттів, які забезпечують контрольоване вивільнення лікарських речовин, прискорюють загоєння ран та мінімізують ризик інфекційних ускладнень [3,4].

**Метою роботи є** одержання композиційних матеріалів ветеринарного призначення на основі модифікованого крохмалю, які забезпечують розробку нових антимікробних плівок-носіїв для трансдермальних терапевтичних систем.

**Основний матеріал.** З точки зору охорони здоров'я, біоматеріали можна визначити як матеріали, що володіють деякими новими властивостями, які роблять їх придатними для безпосереднього контакту з живою тканиною без виникнення будь-яких несприятливих реакцій імунного відторгнення.

Природні полімери широко використовуються в галузі охорони здоров'я для виготовлення систем доставки ліків. Оскільки природні біоматеріали мають невисоку механічну міцність, їх застосування як носіїв ліків обмежене. Тому такі матеріали хімічно модифікують для покращення їх механічних властивостей та прив'язка функціональних біологічно активних груп. Під час виготовлення цих біоматеріалів необхідно підтримувати баланс між фізичними та механічними властивостями разом з мінімальною токсичністю для тканин [5].

Однак біоматеріали повинні бути отримані з достатньою та відтвореною чистотою та якістю [6]. Також одним із важливих напрямів – є композиційні матеріали на основі синтетичних та природних полімерів [7]. Гідрогелі на основі

біополімерів викликали великий інтерес у тканинній інженерії та застосуванні для доставки ліків [8]. Незважаючи на відомі переваги та широке застосування біоматеріалів, існують деякі обмеження, такі як погані механічні властивості та низька стабільність у водному середовищі, що обмежує їх використання для біомедичних застосувань [9]. Однак гідрогелі мають широкий спектр функціональних груп, включаючи гідроксильні, аміно- та карбоксильні групи, які можуть бути додатково зшиті та кон'юговані з лігандами, що націлені на клітини. Природними біополімерами є полісахариди, типовими прикладами яких є хітозан, гіалуронова кислота, декстран, пуллулан та альгінат. Міцність міжфазного зв'язку залежить від багатьох факторів, таких як природа матеріалів, що використовуються, площа поверхні розділу фаз, чистота поверхні, спосіб змішування та умови обробки. Щоб покращити адгезію між двома різнорідними матеріалами, можна використовувати різні методи, такі як фізична адсорбція, хімічна реакція або додавання зв'язуючого агента [10].

Застосування біополімерів у сфері трансдермальної доставки призводить до нової парадигми шляхом маніпулювання фізичними, хімічними та біологічними властивостями молекул ліків, що дозволяє їм долати шкірні бар'єри та розширювати місцевий або системний ефект для кращих клінічних результатів.

Полісахариди відіграють фундаментальну роль у всіх живих організмах, оскільки основний метаболізм базується на перетворенні вуглецю та енергії. Це перетворення є важливим як для автотрофного, так і для гетеротрофного живлення і залишається зосередженим на вуглеводах.

Завдяки своїм функціональним властивостям, біорозкладаності, відновлюваності та широкій доступності, крохмаль знаходить широке застосування в різних галузях промисловості. У харчовій промисловості він виконує кілька функцій як гелеутворювач, загусник, стабілізатор емульсії та замітник жиру. Крохмаль також використовується у фармацевтичному виробництві, виробництві паперу, дизайні пакувальних матеріалів, формулюванні клеїв та текстильному виробництві.

Модифікація крохмалю за допомогою таких агентів, як ангідриди, окислювачі та бензили, спрямована на внесення специфічних

змін у його хімічні, фізичні або функціональні властивості. Ця модифікація може підвищити хімічну реакційну здатність крохмалю, тим самим сприяючи утворенню нових функціональних груп. Крім того, вона може регулювати розчинність крохмалю в різних розчинниках, що є вирішальним для його використання в різних рецептурах, таких як клеї, покриття, фармацевтичні препарати та харчові продукти. Більше того, вона може дозволити модифікувати в'язкість та гідрофобність крохмалю, як це видно у випадку модифікації крохмалю за допомогою бензилброміду, що є перевагою в таких застосуваннях, як загусники, сполучні речовини та текстуруючі агенти, що використовуються в харчових продуктах, фармацевтичних препаратах та засобах особистої гігієни. Тому важливо досліджувати відповідні методики модифікації крохмалю для покращення його характеристик та розширення його потенційних застосувань [9].

Хімічні модифікації вводять нові функціональні групи без зміни морфології гранул або розподілу їх розмірів. Ці зміни впливають на фізико-хімічні властивості крохмалю, викликаючи структурні модифікації, які роблять його придатним для різноманітних промислових застосувань. Ці хімічні коригування впливають на поведінку крохмалю, властивості тіста, здатність до желатинізації та силу ретроградації. Таким чином, ці хімічні модифікації мають потенціал для покращення характеристик крохмалю та розширення його використання як у харчовій, так і в нехарчовій промисловості [11].

Для зміни молекулярної конфігурації та функціональних характеристик крохмалів застосовуються різні хімічні зміни, такі як зшивання, естерифікація, етерифікація, окислення та кислотний гідроліз. Ці методи хімічної модифікації служать ефективним засобом для покращення певних аспектів функціональності крохмалю, таких як набухання, желатинізація та ретроградація. Основною метою є задоволення специфічних вимог промислових застосувань.

Розробка ефективних плівок вимагає глибоких знань фармакологічних та фармацевтичних властивостей ліків та полімерів, а також відповідного вибору виробничих процесів [12].

**Дослідження.** Для одержання плівок трансдермальних систем використовували модифікований крохмаль, полівініловий спирт та активний фармацевтичний інгредієнт.

Модифікований крохмаль отримували шляхом обробки картопляного крохмалю (ДСТУ 4286:2004) лимонною (ДСТУ 908:2006) та молочною (ДСТУ 4621:2006) кислотами концентраціями 0,5 моль/л та 1,0 моль/л, час обробки (1,5; 2,0; 2,5 годин), при постійній температурі 40°C.

Полівініловий спирт (ПВС) ТУ 2215-088-00203766-2007 – білий гранульований порошок, водорозчинний синтетичний неіонний полімер, з помірними мукоадгезивними властивостями [13].

Ксероформ (UA/12732/01/01) – вісмуту трибромфенолят (2,4,6-трибромфенолят вісмуту основний). Молярна маса – 1198,35 г/моль. Аморфний порошок жовтого кольору зі слабким специфічним запахом зі структурною формулою представленою на рис.1. Брутто формула:  $C_{18}H_6BiBr_9O_3$ .

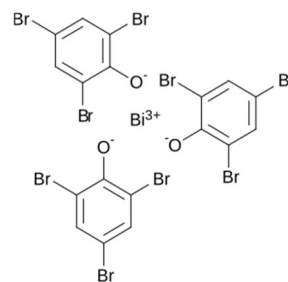


Рис. 1. Структурна формула ксероформу

Виготовлення плівок з початку готували 10 % розчинів модифікованого крохмалю (МК) та полівінілового спирту (ПВС 17-99). Вибір цієї концентрації був зумовлений попередніми дослідженнями, які вказували на оптимальні плівкоутворювальні характеристики для обох полімерів.

Готували 10%-й розчин ПВС при температурі 85-90 °С на водяній бані при постійному перемішуванні протягом 35-40 хв. Використовували воду 3-го класу чистоти та додавали гліцерин в якості пластифікатора 2 мас.%. Після приготування окремих розчинів їх змішували в пропорціях МК:ПВС 25:75, 50:50 та 75:25 та додавали ксероформ 10 мас.% (від кількості сухих речовин композиції). Формування плівок проводили методом поливу з розчину на підложку, з подальшим сушінням при температурі 45-50 °С протягом 90-120 хв в сушильній шафі.

Для вимірювання в'язкості був обраний віскозиметр «Vevor NDJ-5D» (цифровий ротаційний віскозиметр) з температурним інтервалом 23–25 °С.

В'язкість розчинів на основі модифікованого крохмалю з ПВС підпорядковується ступеневому закону та характеризується рівнянням (1) Оствальда – де Вілла:

$$\eta = K \cdot \gamma^{n-1} \quad (1)$$

**Результати.** В композиціях зі збільшенням кількості ПВС спостерігається зниження константи рівняння n, що вказує на збільшення структурованості K.

Таблиця 1

**Значення констант K та n для розчинів модифікованого крохмалю та ПВС**

Модифікація крохмалю	0,5 моль		1 моль	
	K, Па*с	n	K, Па*с	n
<b>Лимонна кислота 1,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	6,41	0,61	6,53	0,61
МК/ПВС 50/50	6,02	0,69	6,21	0,66
МК/ПВС 75/25	5,74	0,73	6,08	0,68
<b>Лимонна кислота 2,0 год</b>				
МК/ПВС 25/75	6,36	0,62	6,69	0,60
МК/ПВС 50/50	6,18	0,68	6,35	0,66
МК/ПВС 75/25	5,89	0,69	6,22	0,69
<b>Лимонна кислота 2,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	6,44	0,62	6,76	0,62
МК/ПВС 50/50	6,25	0,67	6,43	0,64
МК/ПВС 75/25	5,97	0,68	6,29	0,65
<b>Молочна кислота 1,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	7,69	0,37	7,69	0,38
МК/ПВС 50/50	7,58	0,39	7,65	0,34
МК/ПВС 75/25	6,72	0,61	7,61	0,37
<b>Молочна кислота 2 год</b>				
МК/ПВС 25/75	7,84	0,36	7,71	0,38
МК/ПВС 50/50	7,72	0,38	7,81	0,40
МК/ПВС 75/25	6,74	0,59	6,94	0,41
<b>Молочна кислота 2,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	7,80	0,36	7,67	0,34
МК/ПВС 50/50	7,66	0,38	6,26	0,56
МК/ПВС 75/25	6,84	0,58	5,81	0,78

Встановлено, що всі досліджені розчини композицій відносяться до псевдопластичних систем (аномально в'язких структурованих систем, де n<1), при цьому з ростом швидкості зсуву спостерігається зниження в'язкості.

Таблиця 2

**Значення констант K та n для розчинів модифікованого крохмалю та ПВС з ксероформом**

Модифікація крохмалю	0,5 моль		1,0 моль	
	K, Па*с	n	K, Па*с	n
<b>Лимонна кислота 1,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	6,41	0,67	6,58	0,61
МК/ПВС 50/50	6,06	0,69	6,39	0,66
МК/ПВС 75/25	5,78	0,72	6,51	0,67
<b>Лимонна кислота 2,0 год</b>				
МК/ПВС 25/75	6,40	0,67	6,72	0,59
МК/ПВС 50/50	6,21	0,68	6,53	0,65
МК/ПВС 75/25	5,93	0,69	6,25	0,66
<b>Лимонна кислота 2,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	6,50	0,64	6,79	0,60
МК/ПВС 50/50	6,29	0,65	6,62	0,64
МК/ПВС 75/25	6,00	0,67	6,22	0,65
<b>Молочна кислота 1,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	11,55	0,33	7,70	0,40
МК/ПВС 50/50	7,81	0,40	7,76	0,38
МК/ПВС 75/25	7,10	0,52	7,89	0,36
<b>Молочна кислота 2,0 год</b>				
МК/ПВС 25/75	8,10	0,25	7,84	0,36
МК/ПВС 50/50	7,77	0,59	7,78	0,41
МК/ПВС 75/25	6,89	0,60	7,02	0,61
<b>Молочна кислота 2,5 год</b>				
МК/ПВС 25/75	7,82	0,33	7,72	0,34
МК/ПВС 50/50	7,71	0,37	6,62	0,53
МК/ПВС 75/25	7,14	0,49	5,86	0,76

В композиціях на основі полісахаридів з ксероформом, зі збільшення кількості ПВС спостерігається зниження константи рівняння n, що вказує на збільшення структурованості K.

Аналіз графічних даних підтверджує зниження початкової в'язкості дисперсій зі збільшенням вмісту модифікованого крохмалю в досліджуваному діапазоні концентрацій (рис.3.7-3.10). При цьому тип модифікатора (лимонна чи молочна кислота) та його концентрація, використана для модифікації крохмалю, мають суттєвий вплив на абсолютні значення в'язкості та динаміку її зміни. Зокрема, можна спостерігати відмінності у в'язкісних характеристиках крохмалю, модифікованого лимонною кислотою, порівняно з модифікованим молочною кислотою за еквівалентних умов.

У процесі кислотно-каталізованої модифікації крохмалю відбувається взаємодія карбоксильних груп з його полісахаридною матрицею, що призводить до утворення ковалентних зв'язків між макромолекулами крохмалю і, як наслідок, до зниження ступеня полімеризації розчину. Цей феномен детермінується тим, що карбоксильні групи, початково присутні у реакційному середовищі, поступово інкорпуються в структуру крохмалю, де вони каталізують процеси розгалуження та гідролітичного розщеплення [14]. Внаслідок цього концентрація вільних полімерних фрагментів у розчині зменшується, що корелює зі зниженням ступеня полімеризації. Аналіз спектральних характеристик розчинів, використаних для обробки крохмалю, підтверджує зниження кількості карбоксильних груп, що є безпосереднім доказом їхнього приєднання до крохмальних ланцюгів.

Лимонна кислота, будучи трипротонною кислотою, функціонує як багатofункціональний крос-лінкер. Її взаємодія з крохмалем сприяє не лише гідролітичному руйнуванню глікозидних зв'язків, але й естерифікації гідроксильних груп крохмалю. Цей процес призводить до формування ковалентно-зшитої мережевої структури, яка зумовлює підвищений ступінь полімеризації порівняно з нативним крохмалем [15].

На відміну від лимонної кислоти, молочна кислота, як одноосновна карбонова кислота, має лише одну карбоксильну групу, що суттєво обмежує її здатність до міжмолекулярної зшивки. Крім того, при підвищенні температури вона може каталізувати частковий гідроліз крохмалю, що веде до деградації полімерних ланцюгів і, як наслідок, до зниження середньої молекулярної маси та ступеня полімеризації [16].

Сорбційна ємність метиленового синього була досліджена як репрезентативний критерій для оцінки потенціалу матеріалу секвестувати та елімінувати катіонні сполуки або інші розчинні контамінанти з ексудату ранових поверхонь. Метиленовий синій (МС) є катіонним хромофором, що слугує модельним аналогом контамінанту в адсорбційних дослідженнях, а також застосовується як барвник у мікробіології та індикатор у тестах на життєздатність клітин. Як позитивно заряджений хромофор, МС ефективно забарвлює електронегативні мікробні клітини. Позитивні хромофори МС адсорбуються на негативно заряджених

клітинних стінках, що робить його широко використовуваним "позитивним барвником". Електростатична взаємодія виступає основним рушійним фактором його поглинання та взаємодії з бактеріями [17]. З метою прецизійного кількісного аналізу концентрації метиленового синього (МС) в експериментальних зразках була розроблена калібрувальна залежність. Цей етап є фундаментальним аспектом спектрофотометричного аналізу, оскільки він дозволяє встановити валідну кореляцію між вимірюваною оптичною щільністю (абсорбцією) та відомою концентрацією аналіту [16]. Отримані дані, візуалізовані на рисунку 2, свідчать про високу сорбційну здатність усіх протестованих композицій плівок щодо метиленового синього. Було зафіксовано, що в динаміці поглинання МС спостерігалось зростання зі збільшенням часу контакту для всіх зразків, досягаючи високих сорбційних показників вже протягом 60-хвилинного періоду спостереження. Примітно, що максимальний відсоток адсорбції, зафіксований серед досліджених композицій за 60 хвилин, перевищив 50 %, що однозначно свідчить про високу адсорбційну ефективність розроблених композиційних плівок.

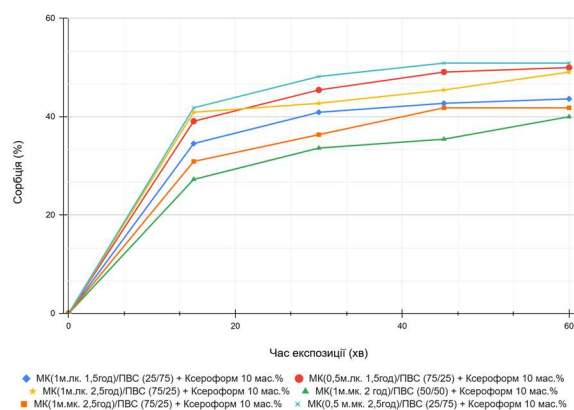


Рис. 2. Кінетика поглинання метиленового синього плівками на основі МК/ПВС з ксероформом

Кінетичні та ємнісні характеристики адсорбції метиленового синього були детерміновані як співвідношенням модифікованого крохмалю до полівінілового спирту у складі композиційної плівки, так і специфічними параметрами модифікації крохмалю, включаючи тип та молярну концентрацію органічної кислоти, а також тривалість реакції. Зокрема, композиції зі співвідношенням МК/ПВС 25:75, модифіковані

молочною кислотою (0,5 моль/л, 2,0 год), виявили найвищий адсорбційний відсоток, що становив 50,91 % після 60 хвилин контакту. Незважаючи на варіабельність кінетики адсорбції між різними зразками, всі композиції послідовно демонстрували високі сорбційні можливості.

Висока ефективність адсорбції метиленового синього підтверджує значний потенціал розроблених плівок щодо сорбції та елімінації не тільки раневого ексудату, а й інших шкідливих розчинних компонентів, присутніх у рані, а саме ендотоксини чи медіатори запалення, які, як правило, є катіонними або полярними за своєю природою. Продемонстрована висока сорбційна ємність, особливо для МС як модельного контамінанта, підкреслює функціональну ефективність цих матеріалів для активного менеджменту рани та акцентує на синергетичній ролі полімерної матриці, яка комплементує антисептичну дію ксероформу, сприяючи очищенню рани. Можливість адаптивної оптимізації сорбційних властивостей шляхом варіації співвідношення полімерів та умов модифікації крохмалю уможливило налаштування характеристик матеріалу для специфічних клінічних аплікацій та управління різними типами й обсягами раневого ексудату.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень було розроблено та охарактеризовано композиційні матеріали ветеринарного призначення на основі модифікованого крохмалю, полівінілового спирту та ксероформу з метою створення нових антимікробних плівок-носіїв для трансдермальних терапевтичних систем. Встановлено, що всі розроблені розчини демонструють псевдопластичні властивості, що характеризуються зниженням в'язкості зі збільшенням швидкості зсуву. Показано, що хімічна модифікація крохмалю лимонною кислотою сприяє утворенню ковалентно-зшитої мережевої структури, тоді як молочна кислота виявилася менш ефективною для міжмолекулярного зшивання. Доведено, що реологічні властивості композицій можуть бути адаптовані шляхом варіювання співвідношення полімерів та умов модифікації крохмалю. Додатково, дослідження адсорбційних властивостей показало високу ефективність розроблених плівок щодо поглинання метиленового синього, що підтверджує їх потенціал для очищення раневого ложа від ексудату та інших шкідливих розчинних

компонентів. Таким чином, розроблені матеріали є перспективними для застосування у ветеринарній медицині як функціональні пов'язки, що поєднують у собі властивості контрольованого вивільнення антисептичного агента з високою сорбційною здатністю, що є критично важливим для комплексного та ефективного лікування пошкоджень шкірного покриву.

### Л і т е р а т у р а

1. Галатенко Н. Л. Створення перев'язного плівкового засобу з широким спектром дії для лікування ран та опіків. Клінічна терапія. 2006. № 11–12. С. 52.
2. Іщенко О. В., Плаван В. П., Ляшок І. О., Кучинська Д. А., Ресницький І. В. Модифіковані полісахариди у фармації. KyivPharma-2017. Фармакологія та фармацевтична технологія в забезпеченні активного довголіття : зб. наук. пр. III Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2017. С. 61–70.
3. A critical review on polymeric biomaterials for biomedical applications / C. Kalirajan et al. *Polymers*. 2021. Vol. 13, no. 17. P. 3015. URL: <https://doi.org/10.3390/polym13173015>.
4. A prospective review on the research progress of citric acid modified starch / M. Zhang et al. *Foods*. 2023. Vol. 12, no. 3. P. 458.
5. Antimicrobial and sorption properties of polymer films based on modified starch with xeroform for veterinary purposes / D. Kuchynska et al. *Technologies and Engineering*. 2025. Vol. 26, no. 2. P. 48–57.
6. Functional Hydrogels for Treatment of Chronic Wounds / I. Firlar et al. *Gels*. 2022. Vol. 8, no. 2. P. 127. URL: <https://doi.org/10.3390/gels8020127>.
7. Gilhotra R. M., Mishra D. N. Alginate-chitosan film for ocular drug delivery: Effect of surface cross-linking on film properties and characterization. *Pharmazie*. 2008. Vol. 63. P. 576–579.
8. Interactions of Cells and Biomaterials for Nerve Tissue Engineering: Polymers and Fabrication / M. E. Harley-Troxell et al. *Polymers*. 2023. Vol. 15, no. 18. P. 3685. URL: <https://doi.org/10.3390/polym15183685>.
9. Khan I., Saeed K., Zekker I., Zhang B., Hendi A. H., Ahmad A., Khan I. Review on methylene blue: its properties, uses, toxicity and photodegradation. *Water*. 2022. Vol. 14, no. 2. P. 242.
10. Modified Starch in Composition with Polyvinyl Alcohol as a Basis for Development of the Polymeric Materials for Pharmaceutical Use / O. Ishchenko et al. *Starch-Stärke*. 2022. Vol. 74, no. 9–10. P. 2200062. URL: <https://doi.org/10.1002/star.202200062>.
11. Multifunctional and Smart Wound Dressings—A Review on Recent Research Advancements in Skin

- Regenerative Medicine / N. Rani Raju et al. *Pharmaceutics*. 2022. Vol. 14, no. 8. P. 1574. URL: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081574>.
12. New mucoadhesive chitosan film for ophthalmic drug delivery of timolol maleate: in vivo evaluation / G. O. Fulgêncio et al. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*. 2012. Vol. 28, no. 4. P. 350–358.
  13. Olawoye B., Jolayemi O. S., Akinyemi T. Y., Nwaogu M., Oluwajuyitan T. D., Popoola-Akinola O. O., Akanbi C. T. Modification of starch. *Starch: Advances in modifications, technologies and applications*. Springer, 2023. P. 11–54.
  14. Polymer-based biomaterials for chronic wound management: promises and challenges / M. M. Arif et al. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021. Vol. 598. P. 120270. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120270>.
  15. Thin films as an emerging platform for drug delivery / S. Karki et al. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2016. Vol. 11, no. 5. P. 559–574. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2016.05.004>.
  16. Wagh V. D., Inamdar B., Samanta M. K. Polymers used in ocular dosage form and drug delivery systems. *Asian Journal of Pharmacy*. 2008. Vol. 2. P. 12–17.
  17. Wang S., Copeland L. Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015. Vol. 55, no. 8. P. 1081–1097. URL: [\[https://doi.org/10.3390/gels8020127\]](https://doi.org/10.3390/gels8020127)(<https://doi.org/10.3390/gels8020127>).
  7. Gilhotra R. M., Mishra D. N. Alginate-chitosan film for ocular drug delivery: Effect of surface cross-linking on film properties and characterization. *Pharmacy*. 2008. Vol. 63. P. 576–579.
  8. Interactions of Cells and Biomaterials for Nerve Tissue Engineering: Polymers and Fabrication / M. E. Harley-Troxell et al. *Polymers*. 2023. Vol. 15, no. 18. P. 3685. URL: [\[https://doi.org/10.3390/polym15183685\]](https://doi.org/10.3390/polym15183685)(<https://doi.org/10.3390/polym15183685>).
  9. Khan I., Saeed K., Zekker I., Zhang B., Hendi A.H., Ahmad A., Khan I. Review on methylene blue: its properties, uses, toxicity and photodegradation. *Water*. 2022. Vol. 14, no. 2. P. 242.
  10. Modified Starch in Composition with Polyvinyl Alcohol as a Basis for Development of the Polymeric Materials for Pharmaceutical Use / O. Ishchenko et al. *Starch-Stärke*. 2022. Vol. 74, no. 9–10. P. 2200062. URL: [\[https://doi.org/10.1002/star.202200062\]](https://doi.org/10.1002/star.202200062)(<https://doi.org/10.1002/star.202200062>).
  11. Multifunctional and Smart Wound Dressings—A Review on Recent Research Advances in Skin Regenerative Medicine / N. Rani Raju et al. *Pharmaceutics*. 2022. Vol. 14, no. 8. P. 1574. URL: [\[https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081574\]](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081574)(<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081574>).
  12. New mucoadhesive chitosan film for ophthalmic drug delivery of timolol maleate: in vivo evaluation / G. O. Fulgêncio et al. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*. 2012. Vol. 28, no. 4. P. 350–358.
  13. Olawoye B., Jolayemi O.S., Akinyemi T.Y., Nwaogu M., Oluwajuyitan T.D., Popoola-Akinola O.O., Akanbi C.T. Modification of starch. *Starch: Advances in modifications, technologies and applications*. Springer, 2023. P. 11–54.
  14. Polymer-based biomaterials for chronic wound management: promises and challenges / M. M. Arif et al. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021. Vol. 598. P. 120270. URL: [\[https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120270\]](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120270)(<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120270>).
  15. Thin films as an emerging platform for drug delivery / S. Karki et al. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2016. Vol. 11, no. 5. P. 559–574. URL: [\[https://doi.org/10.1016/j.ajps.2016.05.004\]](https://doi.org/10.1016/j.ajps.2016.05.004)(<https://doi.org/10.1016/j.ajps.2016.05.004>).
  16. Wagh V. D., Inamdar B., Samanta M. K. Polymers used in ocular dosage form and drug delivery systems. *Asian Journal of Pharmacy*. 2008. Vol. 2. P. 12–17.
  17. Wang S., Copeland L. Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015. Vol. 55, no. 8. P. 1081–1097.

### References

1. Galatenko N. L. Creation of a dressing film with a wide spectrum of action for the treatment of wounds and burns. *Clinical Therapy*. 2006. No. 11–12. P. 52.
2. Ishchenko O. V., Plavan V. P., Lyashok I. O., Kuchynska D. A., Resnytsky I. V. Modified polysaccharides in pharmacy. *KyivPharma-2017. Pharmacology and pharmaceutical technology in ensuring active longevity: collection of scientific proceedings of the III International Scientific-Practical Conference*. Kyiv, 2017. P. 61–70.
3. A critical review on polymeric biomaterials for biomedical applications / C. Kalirajan et al. *Polymers*. 2021. Vol. 13, no. 17. P. 3015. URL: [\[https://doi.org/10.3390/polym13173015\]](https://doi.org/10.3390/polym13173015)(<https://doi.org/10.3390/polym13173015>).
4. A prospective review on the research progress of citric acid modified starch / M. Zhang et al. *Foods*. 2023. Vol. 12, no. 3. P. 458.
5. Antimicrobial and sorption properties of polymer films based on modified starch with xeroform for veterinary purposes / D. Kuchynska et al. *Technologies and Engineering*. 2025. Vol. 26, no. 2. P. 48–57.
6. Functional Hydrogels for Treatment of Chronic Wounds / I. Firlar et al. *Gels*. 2022. Vol. 8, no. 2. P. 127. URL: [\[https://doi.org/10.3390/gels8020127\]](https://doi.org/10.3390/gels8020127)(<https://doi.org/10.3390/gels8020127>).

**Ishchenko O.V., Strashnyi V.V., Kuchynska D.A., Kharytonenko G.I., Resnytskyi I.V., Kuchynska M.A. Composite material for veterinary purposes based on modified starch**

*The article considers the development of veterinary composite materials based on modified starch with the aim of creating new antimicrobial film carriers for transdermal therapeutic systems. The research methodology involved the chemical modification of potato starch with citric and lactic acids under various conditions, followed by its combination with polyvinyl alcohol and xeroform as an active pharmaceutical ingredient. The rheological properties of the resulting compositions were studied by rotational viscometry. It was established that all developed solutions exhibit pseudoplastic properties ( $n < 1$ ) and are characterized by a decrease in viscosity with an increasing shear rate. It was proven that citric acid, due to its multifunctionality, promotes the formation of a covalently cross-linked network structure, which leads to an increase in the viscosity of the solutions. In contrast, lactic acid, having only one carboxyl group, proved to be less effective for intermolecular cross-linking and in some cases catalyzed the partial hydrolysis of starch. The results confirm that the viscosity of the compositions significantly increases with an increase in polyvinyl alcohol content and upon the addition of xeroform, especially for mixtures based on lactic acid-modified starch. Additionally, the kinetic and capacitive characteristics of the adsorption of methylene blue (MB) as a model contaminant were studied. It was found that films with a high content of modified starch, in particular those modified with lactic acid, demonstrate high sorption capacity. This indicates the promising use of the developed materials not only for the retention of medicinal substances, but also for the effective cleaning of the wound bed from exudate and*

*toxic compounds, which is a key factor in accelerated wound healing. The obtained data demonstrate the prospects of using the developed materials for creating effective agents for treating skin damage in veterinary medicine.*

**Keywords:** *modified polysaccharides, active pharmaceutical ingredient, composite material, polyvinyl alcohol, starch, rheology, xeroform.*

**Іщенко Олена Володимирівна** – д.т.н., доцент, професор кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, [e.ishchenko5@gmail.com](mailto:e.ishchenko5@gmail.com)

**Страшний Владислав Володимирович** – д.фарм.н., професор, завідувач кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, [strashniy.vv@knuutd.edu.ua](mailto:strashniy.vv@knuutd.edu.ua)

**Кучинська Дар'я Андріївна** – доктор філософії, завідувачка лабораторії кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, [dkuchinska@gmail.com](mailto:dkuchinska@gmail.com)

**Ресницький Ілля Вячеславович** – к.т.н., асистент кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, [ilya9res@gmail.com](mailto:ilya9res@gmail.com)

**Харитоненко Ганна Ігорівна** – к.б.н., доцент, доцент кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, [kharitonenko.gi@knuutd.edu.ua](mailto:kharitonenko.gi@knuutd.edu.ua)

**Кучинська Марія Андріївна** – здобувачка вищої освіти кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження, Київський національний університет технологій та дизайну, [mariammmmt@gmail.com](mailto:mariammmmt@gmail.com).

Стаття подана 22.09.2025.