

УДК 378.4+615.014

DOI <https://doi.org/10.11603/m.2414-5998.2026.1.16037>

Оксана Саєвич

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9100-8064>

Катерина Плясовська

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7479-3304>

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИКЛАДАННІ КУРСУ «МЕДИЧНА ТА ФАРМАЦЕВТИЧНА ХІМІЯ»

Oksana Saievich, Kateryna Pliasovska

*Oles Honchar Dnipro National University*

## THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN TEACHING THE COURSE “MEDICAL AND PHARMACEUTICAL CHEMISTRY”

**Анотація.** У статті наведено результати узагальненого досвіду застосування технологій штучного інтелекту в курсі «Медична та фармацевтична хімія» на прикладі комплексного лабораторного заняття за темою «Синтез аспірину», яке розглядає всі стадії різних варіантів синтезу з акцентом на «зелені» методи та ідентифікації фармацевтичного продукту. Використання технологій штучного інтелекту під час підготовки та проведення лабораторних робіт у дисциплінах хімічного спрямування підвищує науковість, розвиває системність і реалізує компетентнісний підхід та фундаменталізацію знань у здобувачів освіти. Проаналізовано розроблену комплексну лабораторну роботу, яка демонструє можливості та переваги використання цифрового асистента на всіх етапах її підготовки та проведення, а саме: розроблення навчально-методичних матеріалів до проведення занять і завдань для самостійної роботи студентів, наочних матеріалів, що перетворює підготовку з пасивного накопичення знань та навичок на активне формування професійних компетенцій. Показано основні результати, проаналізовано переваги та помилки. Доведено доцільність застосування штучного інтелекту під час розгляду питання щодо необхідності отримання продукту (аспірину) високої якості. Розглянуто можливості використання цифрового асистента під час створення блоків контрольних запитань різного рівня складності. Зазначено, що застосування технологій штучного інтелекту під час розв'язання теоретичних та практичних задач змінює підхід до викладання й навчання. Доведено необхідність формування критичного підходу до використання результатів та інформації, отриманих із застосування LLM. Через синтез наскрізних умінь (володіння сучасними комп'ютерними технологіями) та формування предметних компетенцій відбувається поєднання професійних знань і навичок, що забезпечує високий рівень якості підготовки майбутніх фахівців.

**Ключові слова:** медична хімія; штучний інтелект; синтез аспірину; цифровий асистент; підготовка фахівців.

**Abstract.** The article presents the results of generalized experience in the application of artificial intelligence technologies in the course “Medical and Pharmaceutical Chemistry” using the example of developing a comprehensive laboratory class on the topic “Aspirin Synthesis”, which covers all stages of various synthesis options with an emphasis on “green” methods and pharmaceutical product identification. The use of AI technologies in the preparation and conduct of laboratory work in chemistry disciplines increases scientific rigor, develops systematic thinking, and implements a competency-based approach and fundamental knowledge in students. The developed comprehensive laboratory work was analyzed, demonstrating the possibilities and advantages of using a digital assistant at all stages of its preparation and implementation, namely: the development of teaching materials for conducting classes and tasks for independent work by students, visual materials, which transforms preparation from passive accumulation of knowledge and skills into active formation of professional competencies. The main results are shown, and the advantages and errors are analyzed. The feasibility of using AI when considering the need for a high-quality product (aspirin) is proven. The possibilities of using a digital assistant when creating blocks of test questions of varying levels of complexity are considered. It is noted that the use of artificial intelligence technologies in solving theoretical and practical problems changes the approach to teaching and learning. The need to develop a critical approach to the use of results and information obtained from the application of LLM has been proven. Through the synthesis of cross-cutting skills (mastery of modern computer technologies) and the formation of subject competencies, professional knowledge and skills are combined, ensuring a high level of quality in the training of future specialists.

**Key words:** medicinal chemistry, artificial intelligence, aspirin synthesis, digital assistant, specialist training.

**Вступ.** Підготовка сучасних фахівців високого рівня, інтеграція до європейських і світових освітніх процесів неможлива без компетентнісного підходу, який зумовлює синтез трьох складників: професійних і комунікативних навичок та цифрової грамотності, та спрямований на досягнення інтегральних результатів – ключових, загальнопредметних та предметних компетентностей особистості.

У навчанні майбутніх фармацевтів використання цифрового асистента (на базі штучного інтелекту) перетворює підготовку з пасивного накопичення знань та навичок на активне формування професійних компетенцій. Включення в освітній процес ефективних сучасних цифрових інструментів та програмних продуктів і додатків дозволяє забезпечити високий рівень освіти, розвиває творчий та інтелектуальний потенціал студентів (Moskalyets et al., 2025, с. 20; Smith et al., 2026, с. 13–14; Vieriu & Petrea, 2025, с. 343).

Сучасні напрями використання штучного інтелекту (ШІ) майже необмежені, а розвиток інтерактивних середовищ та застосування LLM (Large Language Model) у процесі розв'язання теоретичних та практичних задач змінює підхід до викладання й навчання. ШІ змінює освітній процес, роблячи його більш гнучким, ефективним та особисто орієнтованим для здобувачів освіти. Застосування LLM дозволяє викладачам та студентам краще підготуватися до занять, проаналізувати великі об'єми інформації, реалізувати креативні рішення, моделювати різноманітні процеси та технології, отримувати готові навчальні матеріали та ін. За останні три роки кількість робіт, присвячених технологіям і основним напрямам застосування технологій штучного інтелекту в освітньому процесі, стрімко зростає. Велику кількість публікацій присвячено практичному застосуванню новітніх комп'ютерних технологій під час викладання дисциплін, розглядаються нові способи подання та опрацювання матеріалу (Zghurovskiy & Khimich, 2024, с. 19–23; Shevchenko, 2023, с. 72–73; Dushechkina et al., 2021, с. 133–135). Нові форми та моделі / методи навчання з використанням LLM дозволяють значно підвищити рівень й ефективність засвоєння навчальної інформації та впливають на якість навчання. Застосування ШІ-моделей в освіті формує компетентнісний підхід, розвиває власні аналітичні навички та зумовлює практично спрямований перехід від суто накопичувального характеру знань до формування здатності їх застосовувати. Через синтез наскрізних умінь (володіння сучасними комп'ютерними технологіями) та формування предметних компетенцій відбувається поєднання професійних знань і навичок, що забезпечує високий рівень якості підготовки майбутніх фахівців.

Комп'ютеризація дає можливості всебічно розглядати та застосовувати педагогічні інновації задля викладання хімічних дисциплін. Найдоцільніше розглянути переваги та недоліки застосування ШІ-технологій під час проведення лабораторних занять. Аналіз робіт, присвячених застосуванню ШІ-технологій в освітньому процесі, показав, що в низці робіт головна увага авторами приділяється технічним можливостям та алгоритму роботи цифрових помічників (Dushechkina, 2021, с. 133–135; Sniala, 2023, с. 60–64; Li et al., 2026; Vianna et al., 1999; Adan, 2026, с. 10–16). В інших роботах розглядаються практичні результати застосування спеціалізованих програм для розв'язання практичних питань або огляду можливих напрямів застосування ШІ для розв'язання практичних задач. Значна кількість робіт присвячена застосуванню ШІ-технологій в освітньому процесі: LLM застосовуються для розроблення та візуалізації лекцій, аналізу великого об'єму наукової інформації, створення навчальних матеріалів. Показано, що включення технологій штучного інтелекту дозволяє підвищити якість підготовки майбутніх спеціалістів (Montinari et al., 2018.; Vieriu & Petrea, 2025) та стимулює креативність здобувачів освіти через посередництво навчальної активності та ШІ-грамотності (Zhou & Peng, 2025).

Розвиток ключових (загальних) і предметних компетентностей реалізується через активні методи навчання саме на лабораторних заняттях, але роботи, які демонструють результати використання ШІ для лабораторного блоку дисциплін хімічної спрямованості, у ЗВО практично відсутні. І розроблення навчально-методичних матеріалів до проведення занять і самостійної роботи здобувачів освіти з курсу «Медична хімія» з використанням технологій штучного інтелекту дозволить розв'язати це питання.

Застосовувати ШІ-технології під час розглядання лабораторного блоку доцільно для прогнозування перебігу реакцій, підбору реагентів, необхідних для синтезу аспірину, визначення основних похибок під час виконання експериментальної частини, оцінювання характеристик синтезованого продукту, його кількісного виходу та ін. Слід зазначити, що значна кількість робіт цього напрямку фокусується на питаннях автоматизації лабораторного експерименту, комп'ютерному моделюванні будови та реакційної здатності сполук та візуалізації механізму перебігу хімічних реакцій. Так, новаторська робота, що присвячена темі «Синтез аспірину» (Nel et al., 2022), поєднує класичний студентський експеримент із концепцією автоматизації та демонструє можливість значно підвищити ефективність і точність лабораторних робочих процесів. У роботах (Golemac & Kondža, 2023, с. 101–105; Krtolica et

al., 2025) розглядається проведення модифікованого безпечного («зеленого») методу синтезу аспірину на лабораторних заняттях. Існує можливість інтенсифікації процесу синтезу аспірину через використання мікрохвильового випромінювання (Dongarwar et al., 2018). Але роботи, присвячені підготовці та проведенню комплексних занять циклу хімічної підготовки, в яких способи подання та опрацювання матеріалу включатимуть блоки з різними ступенями складності, з формуванням фахових компетенцій, у тому числі й напрацюванням навичок роботи зі цифровими асистентами, практично відсутні.

**Мета дослідження** полягає в аналізі можливостей використання технологій штучного інтелекту для реалізації компетентісно-орієнтованого навчання під час викладання курсу «Медична та фармацевтична хімія» та аналізі досвіду використання цифрових інструментів для формування програмних компетенцій у процесі підготовки майбутніх фармацевтів.

**Теоретична частина.** Аспірин (ацетилсаліцилова кислота) наразі є найпоширенішим препаратом у світі, вивчення його властивостей та методики синтезу включено до класичного курсу «Медична та фармацевтична хімія» в підготовці фахівців за спеціальністю 226 «Фармація, промислова фармація», входить до циклу хімічної підготовки майбутніх фармацевтичних працівників; під час її проведення напрацьовуються ключові навички, формуються фахові компетенції та досягаються програмні результати навчання (Montinari et al., 2018; Fijałkowski et al., 2022). Нами розроблена комплексна лабораторна робота для студентів-фармацевтів. У роботі розглянута практична реалізація та результати застосування ШІ в процесі створення навчально-методичних матеріалів до лабораторної роботи за темою «Синтез аспірину» для студентів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Основними напрямками застосування технологій штучного інтелекту було визначено:

- огляд літератури та аналіз методик синтезу аспірину, з підбором оптимальних умов проведення, визначення (реагенти, каталізатори, температура, тиск, час);
- вивчення механізму перебігу реакції, визначення можливих продуктів реакції, типових помилок під час синтезу та способів їх усунення;
- моделювання процесу синтезу загалом та визначення експериментальних умов для його кожного етапу;
- оцінювання потенціальної небезпеки проведення синтезу та стратегії зменшення ризиків;
- мінімізація небезпечних відходів та визначення можливого впливу на довкілля;

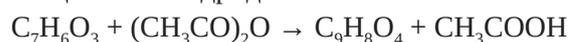
– створення бази завдань для самостійної роботи здобувачів освіти для поглибленого засвоєння теоретичного матеріалу;

– розроблення дослідницьких проєктів здобувачів.

Застосування ШІ-технологій, як було доведено вище, змінює підхід до викладання. Однією з головних переваг, на наш погляд, є можливість значно розширити та візуалізувати навчальні матеріали. Візуалізація методики синтезу аспірину значно полегшує сприйняття матеріалу студентами-фармацевтами, робить лабораторну роботу зрозумілішою та цікавішою. ШІ-технології дозволяють застосовувати різні інструменти для візуалізації методики синтезу: створення інфографіки або презентації, додавання відео та фотоматеріалів. Відеоформат є дуже ефективним, оскільки дозволяє побачити динаміку процесу та правильність виконання етапів синтезу (Labster (n.d.); Chegg Products & Services (n.d.); YouTube. (n.d.)). Якщо зйомка реального процесу неможлива з технічних причин, то в мережі Інтернет розташовані професійно зняті відео (наприклад, англійськомовні канали про хімічні експерименти), що висвітлюють процес синтезу аспірину, й цифровий асистент допоможе підібрати ті, що найкраще відповідатимуть методологічному підходу викладача. Іншим варіантом є створення схематичного відео з використанням програм для 2D- або 3D-анімації, яке пояснює стадії механізму перебігу реакції, або, наприклад, процес кристалізації синтезованого продукту.

Першу частину комплексної роботи присвячено історії відкриття та сучасним методикам синтезу аспірину. Під час підготовки до заняття відбувається робота з базами даних, інтеграція знань, застосування діяльнісного підходу, проєктної діяльності та командної роботи. Розуміння хімії синтезу аспірину необхідне для розроблення нових лікарських форм, удосконалення технологічних процесів та забезпечення контролю якості готових препаратів і визначає зв'язок між теоретичною хімією та практичною медициною. Виконання цієї частини роботи включає опанування базових принципів органічного синтезу та складається з низки етапів. Здобувачі освіти опановують техніки органічного синтезу, методи очищення речовин, аналітичний контроль якості та розрахунки виходу продукту. Розглянемо деякі матеріали для лабораторної роботи.

1. Теоретичні дані створено із застосуванням ШІ-технологій. Реакція ацетилювання саліцилової кислоти оцтовим ангідридом є класичним прикладом нуклеофільного заміщення в ацильному центрі, що каталізується кислотою. Основна реакція – реакція ацетилювання саліцилової кислоти оцтовим ангідридом:



За допомогою цифрового асистента механізм синтезу аспірину може бути представлено наступними схемами (рис. 1, 2).

Ацетилювання саліцилової кислоти відбувається за механізмом нуклеофільного ацильного заміщення й складається з кількох послідовних стадій, кожна з яких має важливе значення для розуміння процесу синтезу. Механізм реакції (рис. 1) включає протонний каталіз, де кислота

(зазвичай концентрована сульфатна або ортофосфорна) активує електрофільний центр оцтового ангідриду, роблячи його більш сприйнятливим до атаки нуклеофіла – гідроксильної групи саліцилової кислоти.

2. Методика синтезу. Методика синтезу включає декілька стадій / етапів: підготовку реагентів, реакцію ацетилювання, кристалізацію, фільтрацію та сушіння кінцевого продукту (рис. 2). Чітка,

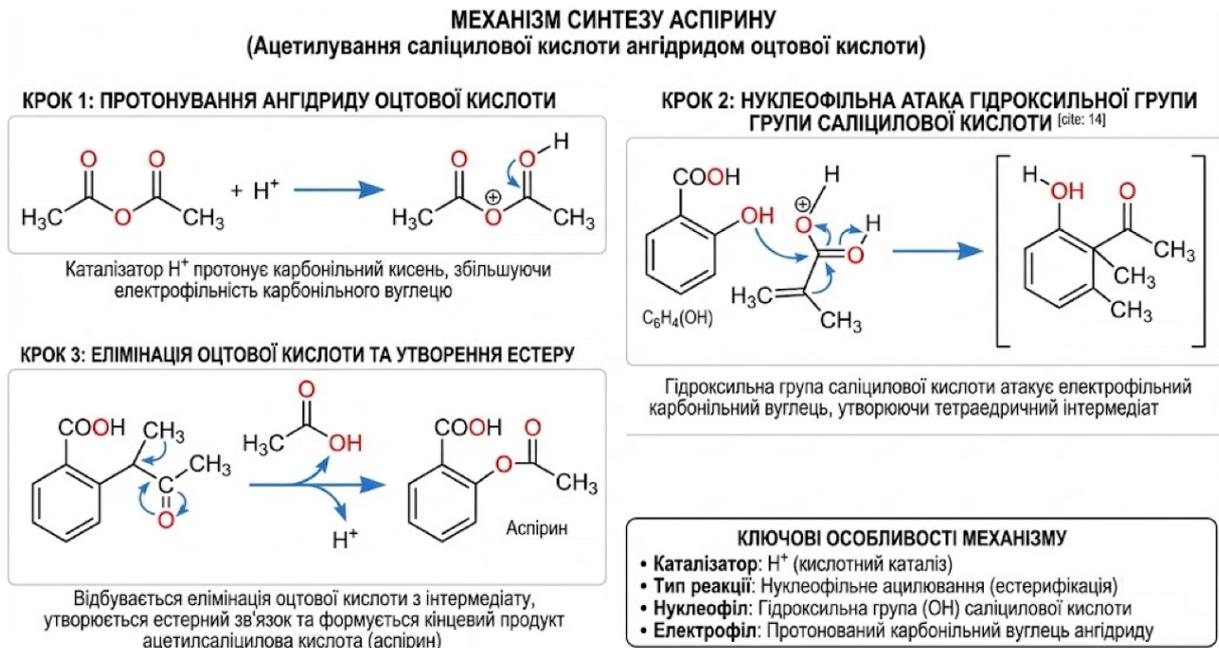


Рис. 1. Механізм реакції синтезу аспірину

## АСПІРИН: СИНТЕЗ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ



Рис. 2. Етапи виконання лабораторної роботи «Синтез аспірину» та основні ймовірні помилки

ієрархована візуалізація етапів ідеально підійде студентам-фармацевтам для розуміння послідовності та умов проведення синтезу. Для інтенсифікації окремих етапів синтезу аспірину можна застосувати декілька підходів, спрямованих на прискорення процесів, підвищення ефективності та зменшення часу виконання роботи. Слід зазначити, що в традиційному синтезі використовується сульфатна кислота, а в синтезі за методикою зеленої хімії – ортофосфатна кислота (Chegg Products & Services. (n.d.)).

Виконання лабораторної роботи із синтезу аспірину вимагає уважності та дотримання методики виконання. Але під час подальшої роботи

з цифровим асистентом доцільно зробити детальний розбір можливих помилок, яких можуть припуститися студенти-фармацевти на кожному етапі, та проаналізувати їх наслідки (табл. 1 та рис. 2). Розуміння цих помилок та їх наслідків допоможе студентам відповідальніше ставитися до кожного кроку експерименту та отримувати якісний кінцевий продукт під час проведення синтезу.

Порівнюючи результати, які зінтегровані цифровим асистентом за різними запитами (табл. 1 та рис. 2), можемо визначити, що робота агентуркритика в ШІ дозволяє значно розширити перелік помилок та визначити основні дії для їх

Таблиця 1

**Основні помилки та їх наслідки під час проведення синтезу аспірину (розширений промпт)**

Етап	Помилка	Наслідок
1. Підготовка реакційної суміші	Неправильне зважування або дозування реагентів	Зміна стехіометричного співвідношення реагентів. Призводить до неповного протікання реакції, утворення більшої кількості побічних продуктів та, як результат, зниження виходу кінцевого продукту і недостатня чистота аспірину
	Використання брудного посуду або посуду із залишками інших речовин	Забруднення продукту сторонніми домішками може змінити хід реакції, утворити непередбачені продукти або знизити чистоту кінцевого аспірину
2. Реакція ацетилювання	Недостатнє перемішування або нагрівання реакційної суміші	Неповне протікання реакції. Значна частина вихідної саліцилової кислоти залишиться непрореагованою, що призведе до низького виходу аспірину та великої кількості домішок (непрореагована саліцилова кислота, оцтовий ангідрид). Це буде помітно під час проведення якісних реакцій (позитивна реакція на фенольну групу з $\text{FeCl}_3$ )
	Надмірне або занадто швидке нагрівання реакційної суміші	Можливе розкладання частини аспірину або інших реагентів за високої температури, що також знизить вихід та чистоту продукту
3. Охолодження та кристалізація	Передчасне додавання води до гарячої суміші	Гідроліз частини цінного продукту – аспірину – назад до саліцилової та оцтової кислот, що значно знизить вихід кінцевого продукту. Воду слід додавати лише після охолодження
	Занадто швидке охолодження розчину під час кристалізації	Утворення дуже дрібних кристалів, які важко фільтруються, або утворення аморфного осаду. Також швидка кристалізація сприяє захопленню домішок (материнського розчину) всередині кристалів, що знижує чистоту продукту
4. Фільтрація та промивання	Недостатнє промивання осаду холодною водою	Залишки оцтової кислоти, оцтового ангідриду та саліцилової кислоти, що не прореагували, залишаються в кінцевому продукті. Це призведе до низької чистоти аспірину й хибних результатів контролю якості (наприклад, температури плавлення)
	Використання теплої води для промивання	Розчинення частини аспірину в теплій воді (аспірин помірно розчинний у холодній, але краще розчинний у теплій воді), що призведе до зниження виходу продукту
5. Сушіння	Недостатнє сушіння продукту	Високий вміст вологи в кінцевому продукті призведе до помилково високого виходу (вага води додається до ваги аспірину) та може спричинити подальший гідроліз аспірину під час зберігання
	Сушіння за занадто високої температури	Можливе розкладання або плавлення аспірину ( $T_{\text{пл}} \sim 135^\circ\text{C}$ ), що знизить вихід та змінить властивості продукту
Контроль якості	Неточне визначення температури плавлення	Неможливо коректно оцінити чистоту продукту. Домішки, як правило, знижують температуру плавлення та розширюють температурний інтервал плавлення

уникнення. Також проведення порівнювального аналізу демонструє необхідність критичного ставлення до результатів роботи ШІ та розвитку аналітичних здібностей, максимально чіткого формування промптів (запитів), що значно деталізує і розширює зміст запитів та дозволяє отримати якісні результати від цифрового асистента.

Під час аналізу основних помилок та їх наслідків, можливих у процесі синтезу аспірину, доцільне застосування ситуативно-тематичних методів навчання, які передбачають спеціально створені комунікативні ситуації. Для активного обговорення напередодні заняття слід запропонувати студентам підготувати відповіді з використанням ШІ. Слід зазначити, що ШІ-технології знаходять та формують відповідь залежно від конкретики поданого запиту, і отримані здобувачами результати можуть принципово відрізнятися. Аналіз якості отриманих відповідей дозволяє викладачу оцінити ступінь оволодіння матеріалу. Під час живої дискусії здобувачі освіти мають змогу поділитися гіпотезами й обговорити рішення поставленої задачі в загальному колі, практично відпрацьовуються такі методики, як «мозковий штурм», «мікрофон». Така робота

дозволяє уникнути ситуації, коли викладач та студент паралельно застосовують технології ШІ як для створення питання, так і для створення відповіді, що призводить до знецінення процесу навчання.

На наш погляд, доцільним є застосування ШІ під час розгляду питання щодо необхідності отримання продукту високої якості. Неочищений продукт синтезу містить домішки вихідної саліцилової кислоти (3–8%), оцтової кислоти та можливих побічних продуктів. Основною домішкою є саліцилова кислота, вона легко виявляється якісною реакцією з  $\text{FeCl}_3$  у процесі перекристалізації аспірину, оскільки має іншу розчинність у водно-спиртовій суміші. Перекристалізація з водно-спиртової суміші дозволяє отримати чистий препарат фармакопейної якості. На рис. 3 наведено методики проведення перекристалізації аспірину, створені за допомогою ШІ.

Заключною частиною синтезу є проведення якісного та кількісного аналізу синтезованого продукту і визначення показників якості ацетилсаліцилової кислоти. Класичним методом перевірки чистоти синтезованого аспірину є визначення температури його плавлення. Цей метод

#### Процес перекристалізації

1. Розчиняють сирий аспірин у мінімальній кількості гарячого етанолу (95%) при температурі 70–80°C

**Важливо:** Етанол є кращим розчинником для перекристалізації аспірину, ніж вода, оскільки аспірин погано розчинний у холодній воді, але добре розчинний у гарячому етанолі.

2. Фільтрують гарячий розчин для видалення нерозчинних домішок
3. Повільно охолоджують фільтрат до кімнатної температури, а потім у крижаній бані
4. Відфільтровують білі голчасті кристали на лійці Бюхнера
5. Промивають невеликою кількістю холодного етанолу
6. Сушать при 40–50°C до постійної маси



#### СХЕМА ПЕРЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ АСПІРИНУ



Рис. 3. Варіанти подання методики перекристалізації аспірину (ШІ)

широко використовується у фармакопейній практиці. Чистий аспірин має температуру плавлення 135–136°C. Зниження температури або ширший інтервал плавлення (>2°C) вказує на присутність домішок (Sitompul et al., 2025).

Другим методом перевірки є якісна реакція з FeCl<sub>3</sub>. Розчин FeCl<sub>3</sub> дає фіолетове забарвлення із саліциловою кислотою через утворення комплексу з фенольною групою. Чистий аспірин не дає забарвлення, оскільки фенольна ОН-група ацетилована. Поява забарвлення вказує на домішки, найчастіше – наявність саліцилової кислоти, яка не прореагувала.

ІЧ-спектроскопія – метод, яким підтверджують структуру та чистоту продукту. Характеристичні смуги поглинання: 3000–3200 см<sup>-1</sup> (ОН карбоксилу), 1754 см<sup>-1</sup> (C=O естеру), 1687 см<sup>-1</sup> (C=O карбоксилу), 1370 см<sup>-1</sup> (C-O естеру).

Високоєфективна рідинна хроматографія з УФ-детекцією за 280 нм дозволяє кількісно визначити домішки саліцилової кислоти (<0,1% для фармакопейної якості). Час утримування аспірину: 8–10 хв (залежно від умов).

<sup>1</sup>H-ЯМР спектроскопія точно підтверджує структуру молекули. Характеристичні сигнали: δ 2.3 м.ч. (синглет, 3H, CH<sub>3</sub>), δ 7.1–8.2 м.ч. (мультиплет, 4H, ароматичні протони), δ 11.0 м.ч. (широкий синглет, 1H, COOH).

Кількісне визначення вмісту аспірину проводять титруванням розчином NaOH у присутності фенолфталеїну.

3. Для закріплення теми за допомогою цифрового асистента дуже просто створити контрольні питання до лабораторної (чи практичної) роботи. Викладач може враховувати рівень складності питань або перевіряти рівень оволодіння обраною методикою експерименту, чи запрограмувати узагальнений огляд матеріалу. Наведемо деякі варіанти запитань для перевірки:

1. Блок 1: Хімізм та теорія процесу.

– Яка роль концентрованої сульфатної кислоти в цій реакції? Чи можна її замінити на іншу речовину, наприклад, на ферум (III) хлорид?

– Чому саме оцтовий ангідрид, а не оцтова кислота, використовується як ацетилюючий агент у класичній методиці синтезу?

2. Блок 2: Технологія та виконання роботи.

– Навіщо на етапі кристалізації додають холодну дистильовану воду? Що станеться, якщо додати теплу воду?

– Які параметри (температура, час) є критичними на етапі проведення реакції ацетилювання і чому?

– З якою метою проводять процес перекристалізації (якщо він виконувався)? Який розчинник зазвичай використовують?

Розширені питання, які доцільно розглядати з метою опрацювання та закріплення матеріалу,

вимагають від здобувачів освіти глибокого розуміння хімічних механізмів, термодинаміки та фізико-хімічних властивостей речовин, які беруть участь у синтезі та можуть бути сформульовані так:

– Порівняйте реакційну здатність оцтового ангідриду та ацетилхлориду як ацетилюючих агентів. Який з них є більш ефективним і чому? Чому в цій лабораторній роботі частіше використовують саме оцтовий ангідрид?

– Реакція естерифікації з використанням оцтової кислоти є рівноважною і повільною. Реакція з оцтовим ангідридом є практично незворотною і швидшою. Поясніть цю різницю з точки зору термодинаміки та виходу продуктів.

4. Ще одним напрямом застосування ІІІ-технологій є створення дослідницьких проєктів за темою «Синтез аспірину». Цікавим, на нашу думку, є питання оптимізації хімічного синтезу (моделювання перебігу процесу за різних параметрів) та огляд екологічних методів синтезу аспірину з використанням принципів «зеленої хімії»: безпечніші каталізатори, мікрохвильова активація, іонні рідини, біокаталіз. Моделювання параметрів проведення синтезу, вибір оптимальних умов з метою отримання максимальної виходу й чистоти продукту синтезу, визначення найбільш екологічної методики – приклади питань, які вимагають творчого підходу від здобувачів освіти, розвивають самостійність і відпрацювання аналітичних здібностей та навичок роботи з технологіями ІІІ. Слід відзначити важливість питання академічної доброчесності під час роботи з використанням ІІІ-технологій (Harvard Graduate School of Education, 2025, с. 310–334).

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** На прикладі лабораторної роботи «Синтез аспірину» проаналізовано результати застосування ІІІ-технологій під час викладання хімічних дисциплін. Показані основні результати, проаналізовані переваги та помилки. Використання ІІІ-технологій під час підготовки та проведення лабораторних робіт у дисциплінах хімічного спрямування підвищує науковість, розвиває системність і реалізує компетентнісний підхід та фундаменталізацію знань у здобувачів освіти. Доведено необхідність формування критичного підходу до використання результатів та інформації, отриманих із застосування LLM. Важливо, щоб цифровий асистент сприймався не як «шпаргалка», а як інструмент підтримки прийняття рішень (Clinical Decision Support Systems – CDSS). Компетентність фармацевта полягає в тому, щоб вміти критично оцінити підказку ІІІ та прийняти остаточне відповідальне рішення.

**Інформація про фінансування.** Автори заявляють про відсутність фінансування для проведення цього дослідження та написання цієї статті.

**Інформація щодо конфлікту інтересів.** Автори заявляють про відсутність будь-яких реальних або потенційних конфліктів інтересів.

**Внесок автора (кожного з авторів).** Оксана Сасвич – підбір методів дослідження, наукове

керівництво, підготовка рукопису – перегляд і редагування.

Катерина Плясовська – визначення концепції дослідження, підготовка рукопису – первинний текст.

Автори схвалили остаточний варіант рукопису.

## References

- Adan, M. Y. (2026). The evolving landscape of AI in education: A systematic review of contemporary research (2024–2025). *Serdec Educational Journal*, 6(6), 1–20. DOI: <https://doi.org/10.70595/sej115>
- Chegg Products & Services. (n.d.). *Synthesis of aspirin laboratory*. Retrieved from: <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/synthesis-aspirin>
- Department of Chemistry, University of California. (2025). Integrating molecular transformers and multi-agent systems in undergraduate organic chemistry labs. *Journal of Chemical Education*, 102(8), 1845–1859. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed086p955>
- Dongarwar, A., Wanjari, V., Maske, C., & Nimbekar, T. (2018). Synthesis and evaluation of aspirin assisted by microwave oven. *International Journal of Pharmaceutical and Biological Sciences*, 8(3), 747–751. Retrieved from: <https://ijpbs.com/abstract.php?iid=1240>
- Dushechkina, N. Yu. (2021). Suchasni pidkhody do vykladannia khimichnykh dystsyplin v umovakh dystantsiinoho navchannia [Modern approaches to teaching chemical disciplines in distance learning conditions]. *Teoriia ta metodyka profesiinoi osvity – Theory and Methods of Professional Education*, 38, 131–138. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2021/38.26> [in Ukrainian]
- Fijałkowski, Ł., Skubiszewska, M., Grześk, G., Koech, F. K., & Nowaczyk, A. (2022). Acetylsalicylic acid – Primus inter pares in pharmacology. *Molecules*, 27(23), 8412. DOI: [10.3390/molecules27238412](https://doi.org/10.3390/molecules27238412)
- Golemac, L., & Kondža, M. (2023). Synthesis of acetylsalicylic acid – An environmentally friendly approach. *Annals of Biomedical and Clinical Research*, 2(2), 100–108. Retrieved from: <https://abcr-mefmo.org/index.php/abcr/article/view/29>
- Harvard Graduate School of Education. (2025). Redefining academic integrity in the era of GPT-5: Process-oriented assessment strategies. *Harvard Educational Review*, 95(3), 310–334.
- Krtolica, I., Ilić, V., & Tadić, J. (2025). *AI4Chemistry: Automated chemical research with multi-agent collaboration and molecular transformers in a case study of aspirin synthesis*. Lecture Notes Series.
- Labster. (n.d.). *Synthesis of aspirin: How to fight students' migraines*. Retrieved from: <https://www.labster.com/simulations/synthesis-of-aspirin-how-to-fight-students-migraines>
- Montinari, M. R., Minelli, G., & De Caterina, R. (2018). The first 3500 years of aspirin history from its roots: A concise summary. *Vascular Pharmacology*, 113, 10152. DOI: [10.1016/j.vph.2018.10.008](https://doi.org/10.1016/j.vph.2018.10.008)
- Moskalyets, O. O., Hordiienko, N. V., Zhukorska, L. P., Andriienko, O. O., & Kremenetska, Ye. S. (2025). Shtuchnyi intelekt u vyshchii osviti: stratehichne bachennia ta modeli vprovadzhennia v Ukraini ta YeS [Artificial intelligence in higher education: Strategic vision and implementation models in Ukraine and the EU]. *Pedahohichna akademiia: Naukovi notatky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, 20. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15869851> [in Ukrainian]
- Nel, M., Potgieter, K., Alimi, O. A., Nel, A. L., & Meijboom, R. (2022). The automated synthesis of aspirin: An undergraduate practical activity. *Journal of Chemical Education*, 99(11), 3773–3779. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00503>
- Shevchenko, A. I. (Ed.). (2023). *Stratehiia rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini : monohrafiia [Strategy for the development of artificial intelligence in Ukraine (Monograph)]*. Kyiv: IPSHI. [in Ukrainian]
- Sitompul, J. I. G., Sinaga, R., & Nugraha, A. W. (2025). Thermodynamic and kinetic study of the reaction mechanism of acetylsalicylic acid formation using computational chemistry methods. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 8(2), 38–47. Retrieved from: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/aromatika/article/view/68706/27910>
- Smith, J., Doe, R., Johnson, A., et al. (2026). From chatbots to autonomous agents: The shift in higher education pedagogy. *Journal of Educational Computing Research*, 64(1), 12–28.
- Sniala, Y. (2023). Zastosuvannia tsyfrovyykh instrumentiv u navchanni khimii [Application of digital tools in chemistry education]. *Osvita, innovatika, praktika – Education Innovation Practice*, 11(4), 55–64. [in Ukrainian]
- Vianna, J. F., Sleet, R. J. & Johnstone, A. H. (1999). Designing an undergraduate laboratory course in general chemistry. *Química Nova*. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000200022>
- Vieriu, A. M. & Petrea, G. (2025). The impact of artificial intelligence (AI) on students' academic development. *Education Sciences*, 15(3), 343. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15030343>
- Li, X., Li, T. & Fan Y. (2026). FLoRA: An advanced AI-powered engine to facilitate hybrid human-AI regulated learning. *Computers & Education*. 243, 105527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105527>
- YouTube. (n.d.). *Online aspirin synthesis lab*. Retrieved from: <https://www.youtube.com/watch?v=o4PHOLASKnQ>
- Zghurovskiy, M. Z. & Khimich, O. M. (2024). Shtuchnyi intelekt: zmina paradyhmy u fundamentalnykh naukakh. Nobelivski premii z fizyky i khimii

2024 roku [Artificial intelligence: A paradigm shift in fundamental sciences. Nobel Prizes in Physics and Chemistry 2024]. *Visnyk NAN Ukrainy – Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 17–26. [in Ukrainian]

Zhou, M., & Peng, S. (2025). The usage of AI in teaching and students' creativity: The mediating role of learning engagement and the moderating role of AI literacy. *Behavioral Sciences*, 15(5), 587. DOI: <https://doi.org/10.3390/bs15050587>

Електронна адреса для листування: saevichoks@gmail.com

Дата першого надходження статті до видання: 27.12.2025  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.02.2026  
Дата публікації (оприлюднення) статті: 26.03.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)