

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ТА КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ

НАНОРОЗМІРНІ СИСТЕМИ В ФАРМАЦЕВТИЦІ

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до аудиторної та самостійної роботи
здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності ЕЗ Хімія, ОНП Фармацевтична хімія, І8 Фармація

Одеса
ОНУ імені І. І. Мечникова
2026

УДК 620.3:661.1:615.1(072)
H254

Укладачі:

О. О. Стрельцова, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри фізичної та колоїдної хімії;

В. В. Менчук, кандидат хімічних наук, доцент, декан факультету хімії та фармації.

Рецензенти:

Т. О. Кіосе, доктор хімічних наук, професор кафедри неорганічної хімії та хімічної освіти Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

О. М. Гузенко, кандидат хімічних наук, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою факультету хімії та фармації
ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 7 від 31 березня 2026 р.*

H254 **Нанорозмірні системи у фармацевтиці [Електронний ресурс] :**
електрон. метод. вказівки до аудит. та самост. роботи здобувачам
другого (магіст.) рівня вищ. освіти спец. ЕЗ Хімія, ОНП
Фармацевтична хімія, І8 Фармація / уклад.: О. О. Стрельцова,
В. В. Менчук. Одеса : ОНУ імені І. І. Мечникова, 2026. 39 с. 0,7 МБ.

Методичні рекомендації призначені для забезпечення навчального процесу з дисципліни «Нанотехнології у фармацевтиці». Матеріали спрямовані на формування системного уявлення про сучасні нанотехнології, їх теоретичні засади та практичне застосування у фармацевтичній галузі. Зміст видання сприяє поглибленню знань щодо властивостей наноматеріалів, принципів створення наноструктурованих систем і їх використання у розробленні лікарських засобів, а також формуванню професійних компетентностей, необхідних для діяльності у сфері сучасної фармації.

УДК 620.3:661.1:615.1(072)

З М І С Т

ПЕРЕДМОВА	4
1. ФАКТОРИ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ	5
1.1. Вступ. Нанодіапазон і нанооб'єкти	5
1.2. Нанотехнології. Визначення і термінологія	6
1.3. Наноматеріали та їх класифікація	7
1.4. Самозбірка і самоорганізація	9
1.5. Історія розвитку нанотехнологій	11
1.6. Ставлення суспільства до нанотехнологій.....	12
2. НАНОТЕХНОЛОГІЇ: СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СВІТОВІЙ ФАРМАЦЕВТИЦІ	13
2.1. Перспективи застосування нанотехнологій у медицині та фармації	13
2.2. Наукові розробки і завдання нанофармації	15
2.3. Етапи створення лікарського засобу з нанорозмірними активними інгредієнтами	18
2.4. Стратегії адресної доставки лікарських засобів	20
2.5. Основні класи наноносіїв у системах доставки лікарських речовин	24
3. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	27
4. ТЕСТИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ РІВНЯ ЗНАНЬ	29
5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48

ПЕРЕДМОВА

Початок ХХІ століття характеризується інтенсивним розвитком нанотехнологій та наноматеріалів, які вже сьогодні активно впроваджуються у провідних країнах світу в ключових сферах людської діяльності. Їх значення є особливо вагомим для промисловості, біології, медицини та фармації, а також для повсякденного життя. Водночас підходи до застосування нанотехнологій, обґрунтування їх доцільності та способи використання отриманих результатів можуть суттєво відрізнятися залежно від конкретної галузі. Розвиток нанотехнологій відображає якісно новий етап у підходах до створення речовин і функціональних систем, що передбачає конструювання складних об'єктів на рівні, недоступному для безпосереднього візуального спостереження, у межах розмірів надмолекулярних структур.

Нанотехнології являють собою високоспеціалізовану міждисциплінарну галузь, формування та розвиток якої потребують інтеграції знань і зусиль фахівців різного профілю, зокрема хіміків, фізиків, матеріалознавців, математиків, медиків, біологів і фармацевтів, а також спеціалістів у сфері обчислювальних методів. У зв'язку з цим одним із ключових напрямів розвитку нанонауки є удосконалення освітньої системи та поширення сучасних наукових знань, що забезпечує підготовку висококваліфікованих кадрів, здатних до проведення досліджень у цій складній та наукоємній сфері. Саме цим завданням відповідають дані методичні рекомендації, у яких висвітлено основні аспекти нанотехнологій, зокрема історію становлення напрямку, базові терміни та поняття, властивості наночастинок, характеристики наноматеріалів і їх застосування в медицині та фармації. Матеріал спрямований на поглиблення теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти та формування у них розуміння сучасних експериментальних підходів до дослідження наноструктурованих систем.

Навчальні дисципліни «Нанохімія і нанотехнології» та «Нанотехнології у фармацевтиці» посідають важливе місце у професійній підготовці магістрів у галузі хімії та фармацевтичної хімії. Їх зміст орієнтований на засвоєння фундаментальних теоретичних положень, а також на ознайомлення з науковими досягненнями та внеском провідних учених у розвиток нанонауки та нанофармації. У процесі навчання значна увага приділяється самостійній роботі здобувачів вищої освіти, що відображено у структурі методичних рекомендацій, які містять тестові завдання та питання для самоконтроля. Систематичне виконання запропонованих видів навчальної діяльності сприятиме формуванню глибоких знань, практичних умінь і професійних навичок, необхідних для розуміння закономірностей перебігу процесів у наноструктурованих системах.

1. ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Вступ. Нанодіапазон і нанооб'єкти

Нанометр є одиницею довжини, що дорівнює одній мільярдній частині метра. Термін «нано» має походження з давньогрецької мови та означає надзвичайно малий розмір. Об'єкти нанометрового масштабу є недоступними для безпосереднього спостереження неозброєним оком. Для наочного уявлення слід зазначити, що товщина людської волосини становить близько 100 тисяч нанометрів. Наномасштаб використовується для опису найменших структурних одиниць речовини, зокрема атомів і молекул. Наприклад, розмір атома силіцію становить приблизно 0,24 нм, тоді як молекула фулерена C₆₀ має розмір близько 0,75 нм. До нанооб'єктів також належать кластери, що містять від десятків до сотень атомів, а також наноструктури, у яких хоча б один із геометричних розмірів не перевищує кількох десятків нанометрів. У цих одиницях вимірюють довжини хвиль електромагнітного випромінювання, зокрема видиме світло перебуває в інтервалі 400–700 нм. Також у нанометровому діапазоні оцінюють розміри біологічних об'єктів, включаючи біомолекули, клітинні структури та окремі мікроорганізми.

Наномасштаб є критично важливим сегментом просторової ієрархії, оскільки саме на цьому рівні проявляються специфічні фізико-хімічні ефекти, що визначають унікальні властивості речовин. Будь-яку матеріальну систему доцільно розглядати як багаторівневу структуру, властивості якої формуються внаслідок взаємодії різних масштабних рівнів. Поряд із макроскопічним рівнем, що характеризує об'єкт у цілому, та атомним рівнем, який визначає фундаментальні властивості речовини, виділяють також мікрорівень із характерними розмірами у мікрометровому діапазоні, де формуються структурно чутливі характеристики матеріалів. Додаткову роль відіграє субмікронний масштаб. Відповідно до рекомендацій Міжнародного союзу теоретичної і прикладної хімії, до наномасштабу належать об'єкти, у яких принаймні один із розмірів є меншим за 100 нм.

Перехід до нанорівня супроводжується виникненням так званих наноефектів, що проявляються у зміні фізичних і хімічних властивостей речовини порівняно з її об'ємним станом. У зв'язку з цим функціональні характеристики наноматеріалів визначаються не лише їх хімічним складом, але й розмірами частинок, їх геометричною розмірністю та ступенем упорядкування в системі.

Сукупна дія цих чинників зумовлює появу нових властивостей, які реалізуються лише за умови ієрархічної організації структури на різних масштабних рівнях.

Нанодіапазон охоплює інтервал приблизно від 1 до 100 нм, у межах якого формуються основні фізико-хімічні взаємодії, характерні для наносистем. Речовина вважається такою, що перебуває у наностані, якщо її властивості суттєво відрізняються від характеристик відповідної речовини в макроскопічному стані. Об'єкти з розмірами, меншими за 1 нм, традиційно відносять до сфери класичних розділів хімії та фізики, тоді як системи з розмірами понад 100 нм розглядають як мікро- або макроскопічні дисперсні системи, для яких специфічні наноефекти, як правило, не проявляються.

1.2. Нанотехнології. Визначення і термінологія

Нанотехнології являють собою сукупність методів і процесів, що базуються на цілеспрямованому контролі структури та властивостей матеріалів на нанометровому рівні з метою створення функціональних систем із заданими характеристиками. Вони охоплюють хімічні, фізичні та біотехнологічні підходи, що забезпечують можливість керованого формування нанооб'єктів, які є основою сучасних матеріалів, пристроїв і технологічних систем. Важливою особливістю нанотехнологій є використання процесів самоорганізації, самозбірки та темплатного синтезу, що забезпечують формування впорядкованих структур із наперед визначеними властивостями.

Ця галузь має виражений міждисциплінарний характер і потребує застосування складного наукового обладнання, що зумовлює її високу наукоємність та ресурсомісткість. На відміну від традиційних технологій, розроблення наноматеріалів значною мірою базується на теоретичному прогнозуванні та експериментально підтверджених моделях, що знижує ефективність емпіричного підходу, заснованого на методі проб і помилок.

На сучасному етапі не існує єдиного універсального визначення нанотехнологій, що пояснюється складністю та різноманітністю об'єктів і процесів, які входять до цієї галузі. Водночас міжнародні організації активно працюють над уніфікацією термінології та стандартизацією. Зокрема, Міжнародна організація зі стандартизації створила технічний комітет ISO/TC 229, діяльність якого спрямована на розроблення стандартів у сфері нанотехнологій, включаючи питання термінології, метрології та оцінки впливу на здоров'я і довкілля.

Відповідно до сучасних підходів, нанотехнології розглядаються як область знань і практичної діяльності, що передбачає керування процесами у масштабі від

1 до 100 нм або менше, коли прояв розмірних ефектів забезпечує появу нових функціональних можливостей. При цьому ключове значення має використання властивостей наноматеріалів, які суттєво відрізняються як від властивостей окремих атомів і молекул, так і від характеристик об'ємної речовини, що відкриває широкі перспективи для створення інноваційних матеріалів і технологій.

Світова зацікавленість у розвитку нанотехнологій підтверджується реалізацією національних програм у багатьох країнах, включаючи США, Японію, Китай та держави Європейського Союзу, де цей напрям визначено одним із стратегічних пріоритетів науково-технічного розвитку. Україна також має науковий потенціал у цій сфері, що підтверджується наявністю як теоретичних, так і прикладних досліджень.

1.3. Наноматеріали та їх класифікація

Наноматеріали являють собою продукти нанотехнологій, функціональні властивості яких визначаються не лише хімічним складом, але й особливостями структури, розмірами, розмірністю та ступенем упорядкованості їх структурних елементів, що перебувають у нанодіапазоні. Формування наноматеріалів із заданими характеристиками, як правило, пов'язане зі створенням складно організованих, часто ієрархічних структур, у яких сукупний ефект визначається взаємодією різних рівнів організації речовини, а не лише нанорівнем.

Розвиток нанотехнологій відображає принципово новий підхід до створення функціональних матеріалів, що передбачає конструювання складних систем на рівні надмолекулярних структур, недоступних для безпосереднього спостереження. На відміну від традиційної хімії, яка оперує атомами та молекулами як базовими одиницями, наноматеріали характеризуються більш складною організацією та багаторівневою структурою. Вони не є універсальним типом речовини, а утворюють широкий клас матеріалів різної природи, об'єднаних наявністю специфічних властивостей, зумовлених нанорозмірними ефектами.

Поширеним спрощенням є уявлення про наноматеріали як про сукупність лише надзвичайно дрібних частинок. Насправді значна частина таких матеріалів являє собою складні об'ємні або поверхнево модифіковані системи, у яких наноструктурні елементи інтегровані у більші за розмірами об'єкти. У цьому випадку наноструктурування формує особливий стан речовини, для якого характерні властивості, що суттєво відрізняються від характеристик об'ємного матеріалу.

Наноматеріали характеризуються низкою фундаментальних особливостей, що визначають їх практичну цінність. Однією з ключових є надзвичайно малий розмір структурних елементів, що забезпечує високий ступінь мініатюризації та можливість інтеграції великої кількості функціональних компонентів у межах обмеженого об'єму, що має важливе значення, зокрема, для розвитку наноелектроніки та фармацевтичних систем доставки. Крім того, зменшення розмірів відкриває можливість проникнення таких систем у мікро- та нанопростори біологічних об'єктів, що є принципово важливим для медичних застосувань.

Іншою суттєвою характеристикою є значне збільшення питомої площі поверхні, що призводить до інтенсифікації міжфазних взаємодій. Це забезпечує підвищену реакційну здатність та ефективність взаємодії з біологічними середовищами. У фармацевтичній практиці це проявляється у здатності наночастинок транспортувати активні фармакологічні речовини, ферменти або біомолекули та здійснювати їх цільову доставку до визначених ділянок, зокрема патологічних утворень.

Важливою особливістю наноматеріалів є також прояв квантово-розмірних ефектів, що виникають при досягненні критичних розмірів, співрозмірних із характерними фізичними параметрами, такими як довжина вільного пробігу носіїв заряду або фононів. У цих умовах визначальну роль починає відігравати поверхня поділу фаз, що зумовлює зміну електронних, оптичних та інших фізичних властивостей матеріалів.

Залежно від розмірів структурних елементів наноматеріали поділяють на декілька рівнів організації. До нанокластерів належать утворення розміром від 1 до 10 нм, які являють собою впорядковані сукупності обмеженої кількості атомів і характеризуються специфічними властивостями. Наноструктури формуються внаслідок об'єднання кількох кластерів і мають розміри в інтервалі від 10 до 100 нм. Мікроструктури охоплюють діапазон приблизно від 100 до 1000 нм і можуть досліджуватися методами сучасної мікроскопії, тоді як макроструктури перевищують цей діапазон і розглядаються на рівні об'ємних матеріалів.

За геометричною розмірністю нанооб'єкти класифікують на нульвимірні, одновимірні, двовимірні та тривимірні структури. До нульвимірних належать кластери, фулерени та квантові точки. Одновимірні структури представлені нанотрубками, наностержнями та нановолокнами. Двовимірні системи включають тонкі плівки, гетероструктури та моношари, тоді як тривимірні об'єкти охоплюють нанокомпозити та об'ємні масиви наночастинок. Окрему групу

становлять структури проміжної організації, зокрема фрактальні системи та дендримери.

З урахуванням складності та рівня організації виділяють кілька категорій наноматеріалів. До першої категорії відносять матеріали з обмеженою кількістю структурних елементів, які мають нанорозміри в одному або кількох вимірах, зокрема нанопорошки, плівки та нанотрубки. Друга категорія включає матеріали з більшою кількістю структурних елементів, що формують мікророзмірні вироби, такі як дроти або тонкі стрічки. Третя категорія охоплює масивні матеріали, структура яких формується з нанорозмірних елементів, і класифікується за фазовим станом на однофазні, двофазні та багатofазні системи. До четвертої категорії належать композиційні матеріали, у яких наноструктурні компоненти інтегровані в матрицю та забезпечують модифікацію властивостей матеріалу.

Узагальнено наноматеріали поділяють на наночастинки та наноструктурні матеріали. До наночастинок відносять нанокристали, кластери, фулерени, нанотрубки, супрамолекулярні комплекси, біомолекули, міцели та ліпосоми. Наноструктурні матеріали формуються з ансамблів таких частинок і представлені консолідованими системами, у яких частинки фіксовані у просторі, а також дисперсними системами з нанорозмірною фазою, зокрема нанопорошками, суспензіями та пористими матеріалами.

1.4. Самозбірка і самоорганізація

Розроблення сучасних методів синтезу наноматеріалів є одним із пріоритетних напрямів розвитку хімії, фізики та біології. Підвищений науковий інтерес до цієї галузі зумовлений тим, що формування нанооб'єктів відбувається відповідно до специфічних закономірностей, які істотно відрізняються від класичних уявлень про перебіг процесів у традиційній хімії.

Одним із фундаментальних підходів до створення наноструктурованих матеріалів є використання процесів самоорганізації у відкритих складних системах, що характеризуються ієрархічною взаємодією елементів на різних рівнях організації. Альтернативним, але тісно пов'язаним підходом є керована самозбірка, яка передбачає формування впорядкованих структур із попередньо існуючих компонентів, що виконують роль будівельних блоків. У обох випадках процес утворення структур може бути спрямований за допомогою спеціально введених темплатів, які забезпечують селективне формування необхідних типів взаємодій між елементами системи.

Самозбірка розглядається як процес утворення впорядкованих надмолекулярних структур, у якому структурні компоненти, практично не зазнаючи змін, взаємодіють між собою та об'єднуються у складніші системи. Організація таких структур визначається балансом і конкуренцією різних типів міжчастинкових взаємодій, переважно молекулярної природи, включаючи гідрофільно-гідрофобні ефекти, Ван- дер-Ваальсові та електростатичні взаємодії, а також інші сили, що діють у конденсованих середовищах.

Самоорганізація, на відміну від самозбірки, характеризується формуванням структур вищого рівня складності, ніж ті, що були притаманні вихідній системі. Цей процес відбувається внаслідок множинних локальних взаємодій між компонентами, які підпорядковуються власним закономірностям і в сукупності формують новий рівень організації з іншими колективними властивостями. Для самоорганізації характерною є наявність різномасштабних енергетичних взаємодій і обмеження ступенів свободи системи на кількох рівнях її структурної ієрархії. Формування впорядкованих структур у таких системах часто є відповіддю на дію зовнішніх факторів, що виводять систему з рівноважного стану.

Наночастинки, зокрема сферичної форми, здатні до спонтанного утворення впорядкованих агрегатів, які формують надструктури типу надрешіток. Така поведінка зумовлена прагненням системи до зменшення поверхневої енергії, що реалізується через дію слабких міжчастинкових сил, зокрема електростатичних, капілярних і сил поверхневого натягу. Тип сформованої структури та ступінь її впорядкованості визначаються умовами синтезу, розмірами частинок, властивостями поверхнево-активних речовин і характеристиками дисперсійного середовища.

У сучасних дослідженнях показано, що керована самозбірка може бути реалізована за допомогою різноманітних фізичних впливів, зокрема гравітаційних, електричних або магнітних полів, а також завдяки використанню капілярних явищ, ефектів змочування та інших факторів, що впливають на взаємодію компонентів системи.

Таким чином, процеси самозбірки та самоорганізації лежать в основі формування значної частини наноматеріалів і визначають їх структурні та функціональні характеристики. Це підкреслює міждисциплінарний характер нанотехнологій, які поєднують досягнення хімії, фізики, матеріалознавства, медицини та обчислювальних наук і потребують високого рівня професійної підготовки фахівців.

1.5. Історія розвитку нанотехнологій

Передумови становлення нанотехнологій були сформульовані у середині XX століття. У 1959 році фізик Richard Feynman у відомій лекції «There's Plenty of Room at the Bottom» обґрунтував можливість створення матеріалів шляхом безпосереднього маніпулювання окремими атомами. Сам термін «нанотехнології» був запропонований у 1974 році японським ученим Norio Taniguchi, однак широкого поширення він набув дещо пізніше.

Подальший розвиток концепції пов'язаний із роботами К. Eric Drexler, який у 1986 році у праці «Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology» сформулював ідею молекулярного конструювання та запропонував концепцію наномашин, здатних до відтворення складних структур із атомною точністю. Він також виступив співзасновником Foresight Institute, діяльність якого спрямована на популяризацію та розвиток нанотехнологічних ідей.

Становлення нанотехнологій як окремого наукового напрямку у 1980-х роках було зумовлене поєднанням теоретичних концепцій і значних експериментальних досягнень. Вирішальну роль відіграли два наукові прориви. Першим стало створення сканувального тунельного мікроскопа у 1981 році, що дозволило безпосередньо спостерігати окремі атоми та здійснювати їх маніпулювання. Розробники цього методу, Gerd Binnig і Heinrich Rohrer, були відзначені Нобелівською премією з фізики у 1986 році. Подальшим розвитком цього напрямку стало створення атомно-силового мікроскопа, що значно розширило можливості дослідження поверхонь на нанорівні.

Другим ключовим досягненням стало відкриття фулеренів у 1985 році, здійснене Harold Kroto, Richard Smalley і Robert Curl, за що у 1996 році вони отримали Нобелівську премію з хімії. Згодом ці дослідження стали основою для відкриття та вивчення вуглецевих нанотрубок, які мають значний потенціал для застосування у нанoeлектроніці та матеріалознавстві.

На початку XXI століття нанотехнології привернули значну увагу наукової спільноти, політичних структур і бізнесу. Це сприяло активному обговоренню можливостей і потенційних ризиків їх застосування, що знайшло відображення у міжнародних наукових дискусіях, зокрема у публічних дебатах між Дрекслером і Смоллі. Паралельно розпочався процес комерціалізації нанотехнологічних розробок, який супроводжувався впровадженням матеріалів із наночастинками у промисловість і медицину. До таких прикладів належать антибактеріальні покриття на основі срібла, наноструктуровані композити та функціональні текстильні матеріали.

Важливим напрямом розвитку стало створення нанопрепаратів. Зокрема, компанії Starpharma та Dow Chemical проводили дослідження щодо використання дендримерів як носіїв лікарських засобів, що відкриває перспективи для таргетної терапії та підвищення ефективності лікування.

В Україні також здійснюються наукові дослідження у сфері нанонауки та нанотехнологій, зокрема в межах програм Національної академії наук України, які охоплюють питання фізики металів, хімії поверхні, розробки сорбентів і лікарських засобів. Останніми роками спостерігається активізація досліджень, спрямованих на вивчення фізико-хімічних та біомедичних аспектів наноматеріалів.

Незважаючи на значні досягнення у встановленні фізичних і хімічних властивостей наноматеріалів, недостатньо дослідженими залишаються їх біологічні, фармакологічні та токсикологічні характеристики, що є особливо актуальним для розвитку наномедицини та фармації.

Сучасний стан нанонауки характеризується інтенсивним розвитком наукових публікацій у спеціалізованих міжнародних виданнях, що свідчить про високий рівень інтересу до цієї галузі. Загалом можна стверджувати, що саме з 1980-х років розпочалося формування нанонауки як самостійного міждисциплінарного напрямку досліджень.

Подальший розвиток нанотехнологій відбувається за наступними ключовими напрямками:

- фундаментальні дослідження наномасштабних явищ;
- розроблення технологій синтезу та стандартизації наноматеріалів;
- вивчення їх властивостей, створення нанопрепаратів для медичного застосування, дослідження природних наноструктур;
- оцінка впливу наноматеріалів на довкілля;
- аналіз соціальних аспектів розвитку цієї галузі та підготовка висококваліфікованих фахівців.

1.6. Ставлення суспільства до нанотехнологій

У сучасному світі сформувалися два концептуально різні підходи до сприйняття нанотехнологій. Перший пов'язаний із діяльністю промислових корпорацій, університетів і науково-дослідних центрів та ґрунтується на досягненнях хімії, фізики й матеріалознавства. Він орієнтований на практичне впровадження наукових результатів і розглядає нанотехнології як один із ключових чинників технологічного прогресу. Другий підхід сформований під

впливом науково-фантастичних уявлень і передбачає як потенційно позитивні, так і негативні сценарії впливу нанотехнологій на розвиток людства. Саме цей підхід істотно впливає на формування суспільної думки серед осіб, які не мають спеціальної наукової підготовки.

Активний розвиток нанотехнологій супроводжується значним суспільним резонансом, що проявляється у зростанні інтересу до цієї галузі, а також у виникненні дискусій щодо можливих ризиків їх застосування. Дослідження громадської думки, зокрема проведені в межах європейської програми «Євробарометр», свідчать про неоднозначне ставлення населення до нанотехнологій. Частина дослідників зазначає, що критичне або насторожене сприйняття цієї галузі серед неспеціалістів може бути зумовлене як світоглядними чинниками, включаючи релігійні переконання, так і побоюваннями щодо потенційної токсичності наноматеріалів. Особливу увагу привертають продукти, що отримали широку популяризацію, зокрема колоїдне срібло, безпечність і ефективність якого залишаються предметом наукових дискусій.

Зниження рівня суспільних ризиків і запобігання хибним уявленням щодо нанотехнологій значною мірою залежать від розвитку наукової комунікації та освітньої системи. Поширення достовірних знань і підготовка висококваліфікованих фахівців сприятимуть формуванню обґрунтованого ставлення до нанотехнологій як до перспективного міждисциплінарного напрямку, що має значний потенціал для розвитку науки, медицини та фармації.

2. НАНОТЕХНОЛОГІЇ: СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У СВІТОВІЙ ФАРМАЦЕВТИЦІ

2.1. Перспективи застосування нанотехнологій у медицині та фармації

На сучасному етапі розвитку медицини та фармації більшість медичних приладів, матеріалів і лікарських засобів створюються з речовин, що складаються з надзвичайно великої кількості атомів і мають макроскопічну або мікроскопічну організацію. Принципово новим етапом розвитку цих галузей є перехід від маніпулювання речовиною як сукупністю частинок до керування її структурою на рівні окремих атомів і молекул. Такий підхід забезпечує безпрецедентно високий рівень точності при створенні функціональних матеріалів і лікарських засобів, а також відкриває можливості для суттєвого підвищення ефективності їх дії.

Нанотехнології належать до найбільш перспективних напрямів сучасної науки, зокрема у медицині та фармації, що обумовлено можливістю працювати з речовиною у нанометровому масштабі. Саме такі розміри характерні для ключових біологічних структур, включаючи клітини, білки, нуклеїнові кислоти та інші біомолекули. Завдяки цьому нанотехнології не лише доповнюють існуючі наукові дисципліни, але й трансформують їх, створюючи підґрунтя для розвитку нових напрямів, таких як молекулярна медицина та прикладна генетика.

Відповідно до визначення Robert A. Freitas Jr., наномедицина охоплює процеси моніторингу, корекції, конструювання та контролю біологічних систем людини на молекулярному рівні із застосуванням спеціально створених наноструктур і нанопристроїв. Це визначення підкреслює комплексний характер наномедицини, яка поєднує досягнення фізики, хімії, біології та інженерії.

Незважаючи на те, що наномедицина перебуває на етапі становлення, вже сьогодні реалізуються численні наукові проєкти, результати яких мають значний потенціал для впровадження у клінічну практику. Перспективи застосування нанотехнологій у медицині та фармації пов'язані з інтеграцією досягнень різних галузей науки, включаючи хімію, матеріалознавство, мікроелектроніку, а також мікроелектромеханічні та мікрооптоелектромеханічні системи. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє створювати нові типи пристроїв і лікарських форм із принципово новими функціональними характеристиками.

Нанотехнології можуть стати важливим етапом розвитку медицини, оскільки вони відкривають можливості для створення принципово нових методів діагностики та лікування захворювань. Потенційні досягнення у цій сфері охоплюють широкий спектр напрямів від високочутливих діагностичних систем до високоспецифічної терапії. Застосування нанорозмірних систем дозволяє реалізувати локалізоване введення лікарських засобів безпосередньо у патологічний осередок, що значно підвищує ефективність лікування.

Використання нанотехнологій сприяє розвитку нових підходів до діагностики, що забезпечують підвищену чутливість і специфічність методів дослідження. Одночасно створюються передумови для розроблення більш ефективних терапевтичних стратегій, зокрема шляхом забезпечення локальної дії лікарських засобів. Такий підхід дозволяє зменшити системний вплив препаратів, знизити токсичне навантаження на організм і мінімізувати ризик побічних ефектів. Крім того, використання нанотехнологій сприяє підвищенню стабільності лікарських речовин і їх захисту від передчасної деградації.

Важливим фактором розвитку нанофармації є результати геномних досліджень, які значно розширюють кількість потенційних біологічних мішеней для фармакотерапії. За оцінками дослідників, кількість таких мішеней може досягати декількох тисяч, що значно перевищує кількість об'єктів, які використовуються у сучасній фармакології. Поглиблене розуміння взаємозв'язків між генами, молекулярними механізмами та патологічними процесами створює передумови для розроблення високоспецифічних лікарських засобів, орієнтованих на індивідуальні особливості пацієнта.

Очікується, що фармацевтична галузь поступово переходить від традиційної концепції створення лікарських засобів шляхом комбінування різних компонентів до цілеспрямованого конструювання молекул із заданими властивостями. У перспективі це дозволить створювати нанопрепарати, які транспортуються кровотоком безпосередньо до уражених органів або тканин. Такий підхід забезпечує підвищення ефективності лікування та одночасне зниження частоти і вираженості побічних ефектів.

За оцінками фахівців, основними напрямками застосування нанотехнологій у медицині та фармації є створення систем адресної доставки лікарських засобів, розроблення штучних тканин і біоматеріалів, а також удосконалення методів діагностики та моніторингу стану організму.

До наукових і прикладних досліджень у галузі нанотехнологій залучені провідні університети та наукові центри світу. За останні роки сформовано значну кількість спеціалізованих компаній і дослідницьких установ, що свідчить про високі темпи розвитку цього напрямку та його стратегічне значення для сучасної науки і фармацевтичної промисловості.

Одним із прикладів активного впровадження нанотехнологій у біомедичні дослідження є діяльність компанії Invitrogen, яка спеціалізується на розробленні сучасних біотехнологічних рішень. Важливим етапом її розвитку стало придбання компанії Dynal Biotech, що займається дослідженнями у сфері клітинної біології, аналізу протеїнів і нуклеїнових кислот. Використання технологій на основі магнітних мікрочастинок дозволяє значно прискорити процеси дослідження захворювань і створення нових лікарських засобів.

2.2. Наукові розробки і завдання нанофармації

Нанофармація є сучасним міждисциплінарним напрямом, що вивчає отримання лікарських речовин у нанорозмірному діапазоні, переважно від 0,1 до 100 нм, а також їх спрямовану доставку до визначених біологічних мішеней із

мінімальним впливом на здорові тканини організму. Основною метою цього напряму є підвищення ефективності фармакотерапії за рахунок оптимізації властивостей лікарських засобів на молекулярному та надмолекулярному рівнях .

На підставі сучасних досліджень визначено основні перспективні напрями розвитку наномедицини та нанофармації:

1. Створення лікарських засобів із використанням нанорозмірних матеріалів, отриманих за допомогою сучасних нанотехнологічних підходів. У фармацевтичному контексті під матеріалами розуміють широкий спектр компонентів, включаючи вихідну сировину, реактиви, розчинники, допоміжні речовини, проміжні продукти, активні фармацевтичні інгредієнти, а також матеріали для пакування та маркування.

2. Дослідження можливостей застосування наноматеріалів як активних фармацевтичних інгредієнтів або допоміжних компонентів у складі лікарських засобів для різних шляхів введення, зокрема перорального, парентерального, зовнішнього та інгаляційного застосування.

3. Наукове обґрунтування механізмів фармакологічної дії нанопрепаратів із урахуванням їх структурних і фізико-хімічних особливостей.

4. Дослідження токсикологічних характеристик наноматеріалів і нанопрепаратів, а також оцінка їх впливу на організм людини та навколишнє середовище.

5. Впровадження у клінічну практику інноваційних лікарських засобів і розроблення нових методів ранньої діагностики захворювань.

6. Розроблення ефективних підходів до лікування складних патологічних станів, включаючи запальні процеси, онкологічні захворювання та хвороби генетичного походження.

Ключовим завданням нанофармації є удосконалення фармакокінетичних і фармакодинамічних характеристик лікарських засобів, зниження їх токсичності та імуногенності, що забезпечує досягнення максимальної терапевтичної ефективності при мінімальному ризику побічних ефектів. Для реалізації цих цілей розробляються нові лікарські форми та оптимізуються шляхи введення препаратів із урахуванням можливостей цільової доставки активних компонентів.

В Україні дослідження у сфері нанофармації проводяться у провідних наукових установах та закладах вищої освіти, зокрема в установах Національної академії наук та Національної академії медичних наук. Значна увага приділяється розробленню біологічно активних наноматеріалів, які можуть бути використані як основа для створення нових лікарських засобів. Серед освоєних методів

отримання наноматеріалів застосовуються газофазний та плазмохімічний синтез, електронно-променеві технології, осадження з колоїдних систем, термічні методи та детонаційний синтез.

Разом із тим, більшість наноматеріалів потребує всебічного дослідження, зокрема з точки зору біосумісності та наявності необхідних фармако-технологічних властивостей. Це є обов'язковою умовою їх подальшого використання як активних або допоміжних компонентів у складі лікарських засобів. Вивчення цих характеристик вимагає комплексного підходу, що включає фізико-хімічні, біологічні та фармацевтичні дослідження.

Відповідно до вимог Державної фармакопеї України для активних фармацевтичних інгредієнтів і допоміжних речовин необхідно встановлювати повний спектр показників якості та розробляти валідовані методи контролю. Особливого значення набуває визначення методів ідентифікації та кількісного аналізу, що є необхідним для оцінки стабільності лікарських засобів протягом усього терміну їх зберігання. Крім того, детальне вивчення фізико-хімічних властивостей активних компонентів є критично важливим для обґрунтованого вибору допоміжних речовин, технологічних параметрів виробництва та умов пакування.

На сучасному етапі розвитку медицини та фармації створення інноваційних лікарських засобів на основі наноматеріалів перебуває на початковій стадії. Водночас уже розроблено окремі препарати, зокрема ентеросорбенти на основі нанокремнезему та ліпосомальні форми лікарських засобів, що підтверджує перспективність цього напрямку.

В Україні здійснюється активна міжінституційна співпраця у сфері нанофармації, зокрема між провідними медичними університетами та науковими установами, що спеціалізуються на дослідженнях у галузі наноматеріалів. Такі дослідження спрямовані на створення лікарських форм із наночастинками металів, вивчення їх фармакологічних і технологічних властивостей, а також оптимізацію способів їх введення до складу препаратів.

Особливий інтерес становлять наночастинки металів із вираженою антимікробною активністю, що розглядаються як перспективний засіб подолання проблеми антибіотикорезистентності. Результати досліджень свідчать про їх ефективність щодо широкого спектра мікроорганізмів, включаючи бактерії та грибові культури, що обґрунтовує доцільність подальшого вивчення та впровадження таких систем у фармацевтичну практику.

Отримані експериментальні дані підтверджують можливість створення різних лікарських форм із використанням наночастинок, включаючи мазі, креми, гелі та інші системи. Встановлено, що ефективність вивільнення активних компонентів значною мірою залежить від способу введення наночастинок і складу лікарської основи, зокрема наявності ліпідів, поверхнево-активних речовин і полімерних компонентів.

Таким чином, результати сучасних досліджень у галузі нанофармації підтверджують високий потенціал наноматеріалів для створення інноваційних лікарських засобів і обґрунтовують доцільність подальшого розвитку цього напрямку з урахуванням його значення для медицини та фармації.

2.3. Етапи створення лікарського засобу з нанорозмірними активними інгредієнтами

Першим і визначальним етапом створення лікарського засобу є фармацевтична розробка, яка у випадку нанорозмірних систем потребує використання сучасних наукових підходів, аналізу актуальних літературних джерел і застосування передових методів дослідження. Методологічна основа такого процесу має враховувати медико-біологічні вимоги до лікарського засобу, фізико-хімічні характеристики активного фармацевтичного інгредієнту, наведені у відповідній документації, зокрема Drug Master File, особливості його проникнення через біологічні мембрани, а також токсикологічні властивості. Фармацевтична розробка лікарських засобів із нанорозмірними компонентами передбачає проведення комплексу експериментальних досліджень, результати яких дозволяють обґрунтувати оптимальний склад препарату, вибір лікарської форми, технологічного процесу виробництва та пакувальних матеріалів, що забезпечують стабільність і якість препарату протягом усього терміну зберігання.

Об'єктами фармацевтичної розробки є всі складові лікарського засобу, включаючи активні фармацевтичні інгредієнти, допоміжні речовини, лікарську форму, технологічний процес, пакувальні матеріали, а також мікробіологічні характеристики препарату і сумісність його компонентів.

Активні фармацевтичні інгредієнти. Вибір активного компонента та його концентрації повинен бути науково обґрунтованим і підтвердженим експериментальними дослідженнями або даними сучасної наукової літератури. Для нанорозмірних речовин це набуває особливої актуальності у зв'язку з обмеженістю стандартизованих даних щодо їх ефективності та безпечності. Значна варіабельність результатів досліджень, зокрема щодо антимікробної

активності наночастинок металів, зумовлена відсутністю уніфікованих методик і залежністю властивостей від способу їх отримання, що обумовлює необхідність проведення індивідуальних експериментальних досліджень у кожному конкретному випадку фармацевтичної розробки.

Для проведення фармацевтичної розробки необхідна повна характеристика фізико-хімічних і біологічних властивостей активного фармацевтичного інгредієнту, які визначають функціональні властивості лікарського засобу. У випадку наноматеріалів ключове значення мають такі параметри, як розчинність, розмір частинок і здатність до проникнення через біологічні бар'єри. Ці характеристики є взаємопов'язаними та повинні аналізуватися комплексно. Зокрема, розчинність визначає вибір складу лікарської форми і методів аналітичного контролю, тоді як розмір частинок впливає на біодоступність, стабільність і безпечність препарату. Надмірне зменшення розміру частинок може призводити до їх швидкого виведення з організму або до виникнення небажаних ефектів, що підкреслює необхідність оптимізації цього параметра.

Допоміжні речовини. До складу лікарських форм входить значна кількість допоміжних компонентів, які у взаємодії з активною речовиною забезпечують необхідні технологічні та фармакологічні характеристики препарату. У багатьох випадках розмежування між активними та допоміжними речовинами є умовним і залежить від їх функціонального призначення, технології виробництва та взаємодії між компонентами системи. Обов'язковим етапом є дослідження сумісності нанорозмірних речовин із допоміжними компонентами, а також обґрунтування доцільності використання кожної речовини з урахуванням її функціональної ролі, зокрема як антиоксиданта, стабілізатора, регулятора вивільнення або підсилювача проникності. Встановлено, що різні групи допоміжних речовин можуть суттєво впливати на технологічні властивості лікарських форм, зокрема на процеси агрегації наночастинок і кінетику їх вивільнення.

Сучасні дослідження підтверджують, що оцінка ефективності та безпечності лікарського засобу повинна здійснюватися не лише на основі властивостей активного інгредієнта, а з урахуванням сукупних характеристик готового препарату, отриманого за конкретною технологією, включаючи умови пакування, зберігання та застосування.

Лікарська форма. Розроблення лікарської форми з нанорозмірними компонентами має бути спрямоване на забезпечення оптимального терапевтичного ефекту при мінімальному ризику побічної дії, а також на

досягнення фармакологічної доцільності та зручності застосування. Вибір лікарської форми є важливим біофармацевтичним і технологічним фактором, що визначає ефективність препарату. Зокрема, у випадку м'яких лікарських форм їх основа може виконувати додаткові функції, пов'язані з регуляцією стану тканин, зокрема сприяти видаленню ексудату або нормалізації функцій шкіри.

Виробничий процес. Технологічні аспекти створення лікарських засобів із нанорозмірними компонентами потребують врахування різноманітних фізико-хімічних властивостей інгредієнтів, що обумовлює застосування відповідних технологічних операцій, таких як розчинення, диспергування та гомогенізація. Спосіб приготування, зокрема порядок введення компонентів і умови технологічного процесу, може істотно впливати на ефективність лікарського засобу, включаючи швидкість вивільнення активної речовини та ступінь її абсорбції. Особливу увагу слід приділяти контролю мікробіологічної чистоти, рівня ендотоксинів та забезпеченню стерильності для відповідних лікарських форм. Важливим є також вибір оптимального методу стерилізації та обґрунтування використання технологічного обладнання, здатного забезпечити стабільну якість продукції.

Встановлення критеріїв якості лікарських засобів із нанорозмірними компонентами та дослідження їх стабільності потребує розроблення валідованих аналітичних методів, що дозволяють точно визначати вміст і стан активних речовин у процесі зберігання.

Пакувальні матеріали. Вибір пакувальних матеріалів здійснюється відповідно до загальних фармацевтичних принципів і повинен враховувати характеристики лікарської форми, умови її зберігання та застосування. Особливе значення має первинне пакування, яке безпосередньо контактує з лікарським засобом і повинно забезпечувати його стабільність, безпечність і збереження властивостей протягом усього терміну придатності.

Таким чином, досягнення необхідної терапевтичної ефективності лікарських засобів із нанорозмірними активними інгредієнтами можливе лише за умови комплексного науково обґрунтованого підходу на етапі фармацевтичної розробки, що охоплює всі складові препарату та технологічного процесу.

2.4. Стратегії адресної доставки лікарських засобів

Одним із ключових напрямів розвитку сучасної нанофармації є створення лікарських форм із використанням нанотехнологій, що забезпечує можливість істотного підвищення ефективності фармакотерапії, зниження вираженості

побічних ефектів та підвищення комплаєнсу пацієнтів. Застосування наночастинок як носіїв лікарських речовин відкриває нові можливості для використання фармакологічно активних сполук, у тому числі тих, що раніше мали обмежене застосування через високу токсичність. Включення таких речовин до складу систем контрольованої доставки дозволяє підвищити їх біодоступність, забезпечити регульоване вивільнення та знизити системну токсичність.

Концепція розвитку наномедицини передбачає створення високотехнологічних систем, здатних переміщуватися в організмі людини, долати біологічні бар'єри та здійснювати адресну доставку лікарських речовин на клітинному і субклітинному рівнях. На сучасному етапі ці ідеї реалізуються у вигляді наноконтейнерів, які транспортують терапевтичні та діагностичні агенти безпосередньо до визначених ділянок організму. Такий підхід забезпечує селективність дії лікарських засобів і дозволяє мінімізувати їх вплив на здорові тканини.

У якості систем доставки використовуються різноманітні наноносії, включаючи нанокапсули, стелс-ліпосоми, полімерні системи, а також вектори для генної терапії вірусної та невірусної природи. Розвиток лікарських форм значною мірою пов'язаний із створенням нових типів носіїв, здатних забезпечувати ефективне транспортування лікарських речовин та контроль їх вивільнення у біологічному середовищі.

Наноносії, створені на основі полімерів, ліпідів, білків або неорганічних матеріалів, характеризуються здатністю забезпечувати пролонговане вивільнення лікарських речовин, захист активних компонентів від деградації та їх селективну доставку до біологічних мішеней. Важливими властивостями таких систем є біосумісність, здатність до біодеградації та чутливість до змін фізико-хімічних параметрів середовища. Особливого значення набуває здатність наноносіїв долати біологічні бар'єри, зокрема гематоенцефалічний бар'єр, що відкриває можливості для лікування захворювань центральної нервової системи.

Існує декілька основних шляхів введення нанопрепаратів, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Пероральний шлях введення є найбільш зручним і прийнятним для пацієнтів, однак його ефективність часто обмежується низькою стабільністю білкових і пептидних препаратів у шлунково-кишковому тракті, а також їх недостатньою проникністю через біологічні мембрани. Використання наноносіїв дозволяє частково подолати ці обмеження за рахунок підвищення стабільності лікарських речовин і покращення їх абсорбції.

Трансдермальний шлях введення дозволяє уникнути негативного впливу на шлунково-кишковий тракт і зменшити варіабельність біодоступності, однак характеризується обмеженою швидкістю проникнення лікарських речовин через шкіру. Застосування нанотехнологій дає можливість підвищити ефективність такого способу введення за рахунок покращення проникності активних компонентів.

Парентеральне введення забезпечує високу біодоступність лікарських речовин і швидкий початок терапевтичної дії, однак є більш інвазивним і потребує ретельного контролю безпечності. У цьому випадку нанотехнології дозволяють оптимізувати фармакокінетичні характеристики препаратів і знизити ризик небажаних ефектів.

Перспективними є також альтернативні шляхи введення лікарських засобів, включаючи назальний, сублінгвальний та інгаляційний. Їх перевагою є можливість уникнення ефекту першого проходження через печінку. Інгаляційні системи можуть містити різноманітні наноструктури, зокрема ліпосоми, міцели, наночастинки та дендримери, і використовуються як для локального лікування захворювань дихальної системи, так і для системної доставки лікарських речовин. Водночас ефективність доставки білкових препаратів інгаляційним шляхом може знижуватися внаслідок активності легеневих макрофагів, що необхідно враховувати при розробленні відповідних лікарських форм.

Розвиток систем доставки лікарських засобів формує окремий сегмент фармацевтичної індустрії, який характеризується високими темпами зростання та активною участю наукових і виробничих структур.

Доставка лікарських засобів розглядається як сукупність технологічних і наукових підходів, спрямованих на модифікацію фізико-хімічних, фармакокінетичних і фармакодинамічних властивостей лікарських речовин з метою підвищення їх ефективності та безпечності.

У сучасних системах доставки реалізуються дві основні стратегії націлення лікарських засобів, а саме пасивна та активна. Пасивне націлення базується на здатності наночастинок накопичуватися у певних тканинах завдяки їх розмірам і фізико-хімічним характеристикам. Активне націлення передбачає використання специфічних молекул, здатних селективно взаємодіяти з рецепторами клітин-мішеней.

Методи активного націлення включають кілька підходів.

Хімічне приєднання адресних молекул до попередньо синтезованих наноносіїв, що забезпечує фіксацію розпізнавальних фрагментів на їх поверхні.

Інтеграцію адресних молекул у процесі формування систем доставки, коли вони включаються до структури носія на етапі його синтезу.

Використання авідин-біотинових комплексів, що характеризуються високою спорідненістю компонентів і дозволяють ефективно приєднувати біологічно активні молекули, включаючи антитіла та пептиди.

Приєднання функціональних фрагментів на стадії синтезу складових компонентів наноносія, що забезпечує контроль їх кількості та оптимізацію процесів очищення системи.

Функціональні характеристики систем доставки лікарських засобів визначаються рядом факторів.

Процес включення лікарської речовини у наноносій залежить від методу отримання системи, природи її компонентів, розчинності активної речовини та кислотності середовища. Важливу роль відіграють електростатичні взаємодії між компонентами системи.

Вивільнення лікарської речовини залежить від типу наноносія та технології його виготовлення. Велика питома площа поверхні наночастинок сприяє підвищенню швидкості вивільнення. У багатьох випадках цей процес має двофазний характер і включає початкове швидке вивільнення та подальше поступове виділення лікарської речовини.

Стабільність систем доставки є критичним фактором, що визначає їх ефективність. Наноматеріали можуть бути чутливими до умов зовнішнього середовища, тому важливим є забезпечення оптимальних умов зберігання, зокрема використання інертних середовищ. Для підвищення стабільності застосовують різні технологічні підходи, включаючи ліофілізацію, хоча її використання може супроводжуватися певними обмеженнями.

Системи доставки лікарських засобів у більшості випадків є колоїдними системами, які класифікують за агрегатним станом, морфологією, природою матеріалу носія та походженням, яке може бути природним або синтетичним.

До наноносіїв висувається ряд вимог, які визначають їх ефективність і безпечність. Вони повинні забезпечувати стабільність і збереження хімічної структури лікарської речовини протягом певного часу, а також бути здатними до біодеградації. Важливою є їх здатність до тривалої циркуляції у кровотоці та накопичення у патологічних тканинах. Крім того, наноносії повинні забезпечувати ефективне транспортування лікарських речовин до клітин і внутрішньоклітинних структур, а також містити компоненти, що дозволяють здійснювати візуалізацію процесів їх розподілу в організмі.

Цим вимогам значною мірою відповідають системи на основі квантових точок, які характеризуються унікальними оптичними властивостями і можуть використовуватися як маркери для візуалізації біологічних процесів. Зокрема, наночастинки, модифіковані аптамерами, здатні забезпечувати селективне зв'язування з пухлинними клітинами, контрольоване вивільнення лікарських речовин і одночасний моніторинг терапевтичного ефекту, що відкриває перспективи для застосування у таргетній протипухлинній терапії.

2.5. Основні класи наноносіїв у системах доставки лікарських речовин

Наночастинки, отримані з різних матеріалів, широко застосовуються як носії для транспортування лікарських речовин, зокрема паклітакселу, гепарину, лідокаїну, гідрохлориду пропранололу та інших фармакологічно активних сполук. На сучасному етапі активно проводяться як доклінічні, так і клінічні дослідження наноносіїв, які використовуються для діагностики та лікування захворювань нервової системи, включаючи хворобу Альцгеймера, больові синдроми, гліоми, епілепсію та інші патологічні стани.

Найбільш дослідженими у сучасній нанофармакології та нанофармації є полімерні наноносії, що зумовлено наявністю у них комплексу властивостей, які відповідають основним вимогам до систем доставки лікарських засобів. Полімерні наноносії класифікують за структурними особливостями, серед яких виділяють нанокапсули, амфіфільні молекули, полімерні міцели, а також сильно розгалужені макромолекули, відомі як дендримери.

У якості систем доставки лікарських засобів широко застосовують біополімери, зокрема білки та полісахариди, які характеризуються високою біосумісністю, здатністю до біодеградації в організмі та подальшого виведення. Полімерні системи виконують функцію структурних каркасів, що забезпечують транспортування активних молекул, таких як фактори росту або кортикостероїди. До найбільш поширених природних полімерів, що використовуються у фармацевтичних системах доставки, належать колаген, желатин, фібрин, хітозан, альгінат та інші сполуки. Синтетичні полімери, у свою чергу, відкривають ширші можливості для модифікації структури, регулювання швидкості вивільнення лікарських речовин та їх розподілу в органах і тканинах.

Особливе місце серед полімерних наноносіїв займають дендримери, які вважаються одними з найбільш перспективних систем доставки. Вони здатні переносити молекули активних речовин як у внутрішньому об'ємі, так і адсорбовані на поверхні. Структура дендримерів є чітко визначеною та піддається

контролю на стадії синтезу, що дозволяє регулювати їх функціональні властивості. На сьогодні створені лікарські засоби на їх основі, які застосовуються для лікування вірусних інфекцій, зокрема генітального герпесу та ВІЛ-інфекції, причому деякі з них перебувають на завершальних етапах клінічних випробувань. Наночастинки, що містять антибіотики у складі таких систем, отримали назву гліконанобіотиків.

Однією з важливих переваг полімерних наноносіїв є їх здатність знижувати токсичність лікарських речовин та оптимізувати їх фармакокінетичні параметри, що має особливе значення при застосуванні високотоксичних протипухлинних препаратів.

Системи доставки на основі ліпідів використовуються переважно для транспортування ліпофільних лікарських речовин. У якості носіїв застосовують малотоксичні та біосумісні сполуки, зокрема тригліцериди. До цього класу належить широкий спектр систем, включаючи ліпосоми, тверді ліпідні наночастинки, а також рідкокристалічні структури, зокрема кубосоми. Найбільш дослідженими серед них є ліпосоми.

Ліпосоми являють собою замкнені колоїдні системи, що формуються внаслідок процесів самозбірки і складаються з ліпідного бішару, який оточує водну внутрішню фазу. Вони є мікроскопічними везикулами, оболонка яких утворена молекулами ліпідів, переважно фосфоліпідів. Така оболонка за своєю будовою подібна до клітинної мембрани, а сама структура нагадує клітинну органелу. Ліпіди, як дифільні сполуки, мають як гідрофільні, так і гідрофобні фрагменти, що забезпечує їх здатність до самовільного формування бішарових структур у водному середовищі. Прагнення мінімізувати контакт гідрофобних частин із водою призводить до замикання бішару з утворенням везикул.

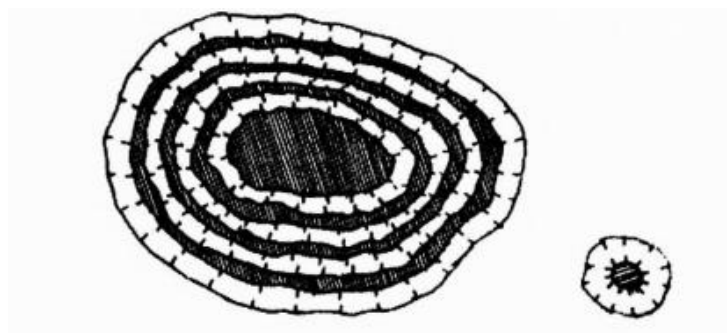


Рис. 1. Ліпосоми.

Ліпосоми можуть бути одношаровими (діаметр 250...300 Å) і багатошаровими (5...50 мкм). Заштриховані тони – місце знаходження води, світлі – бімолекулярний ліпідний шар, «хвости» молекул, що складають шар, звернені всередину шару.

Історично ліпосоми були вперше описані англійським дослідником Алеком Бангемом у 1965 році, коли було встановлено їх подібність до біологічних мембран. Спочатку вони використовувалися як модельні системи для дослідження проникності мембран, а вже у 1970-х роках було здійснено перші спроби використання ліпосом для доставки біологічно активних речовин у кровотік з метою корекції метаболічних порушень. Надалі були розроблені ліпосомальні форми протипухлинних препаратів, антибіотиків, гормонів та інших лікарських засобів.

Ліпосоми характеризуються рядом важливих властивостей, зокрема високою біосумісністю, відсутністю пірогенних, алергенних і токсичних ефектів при різних шляхах введення. Фосфоліпіди, що входять до їх складу, є природними компонентами клітинних мембран, тому при правильному підборі складу вони не викликають негативних реакцій в організмі. Вони здатні до біодеградації, можуть поглинатися клітинами та взаємодіяти з клітинними мембранами, забезпечуючи внутрішньоклітинну доставку активних компонентів. Крім того, ліпосоми можуть транспортувати лікарські речовини різної природи, включаючи гідрофільні, гідрофобні та амфіфільні сполуки.

Водночас до недоліків ліпосом належать їх відносна нестабільність і короткий час циркуляції в кровотоці, що зумовлено швидким захопленням макрофагами та виведенням з організму.

Завдяки можливості варіювання складу і структури ліпосом можна регулювати їх розміри, поверхневі характеристики, заряд, кількість шарів та концентрацію фосфоліпідів, що дозволяє оптимізувати включення лікарських речовин і підвищувати їх біодоступність. Ліпосоми здатні транспортувати широкий спектр біологічно активних речовин, включаючи антибіотики, гормони, вакцини, ферменти та генетичний матеріал.

Окрему групу становлять ніосоми, які є везикулярними структурами на основі неіоногенних поверхнево-активних речовин. За будовою вони подібні до ліпосом, проте відрізняються більшою стабільністю, низькою токсичністю, біосумісністю та відсутністю імуногенних властивостей.

Серед інших ліпосомоподібних систем виділяють білосоми, що містять солі жовчних кислот, емульсоми з ядром із жирних кислот і ліпідною оболонкою, еліпосоми, етосоми та екзосоми, які використовуються для цільової доставки лікарських речовин.

Особливий інтерес становлять самозбираючі системи на основі дендримерів і нуклеїнових кислот. Молекули ДНК, окрім функції збереження генетичної

інформації, можуть використовуватися як структурні елементи для створення наноконструкцій завдяки їх здатності до комплементарної гібридизації. Це дозволяє формувати складні просторові структури, включаючи нанокуби, нанокапсули та інші архітектури із застосуванням технологій наноорігамі.

Перспективними є також фосфоліпідні наноміцели, які характеризуються біосумісністю, здатністю до біодеградації, фізико-хімічною стабільністю та тривалим перебуванням у кровотоці. Ліюфілізовані форми таких систем забезпечують підвищення стабільності препаратів і подовження терміну їх придатності.

Ліпідні системи можуть виконувати не лише функцію носіїв, але й використовуватися як модельні системи для дослідження взаємодії наночастинок із біологічними мембранами в умовах *in vitro*. Зокрема, підтримувані ліпідні бішари застосовуються як моделі біологічних мембран для вивчення механізмів взаємодії та проникнення наноматеріалів у клітинні структури

3. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Визначення терміну «нанотехнологія», «нанофармація», «наномедицина та історія їх появи.
2. Основні терміни та визначення в області нанотехнологій і нанофармації.
3. Що таке наноматеріали? Нанооб'єкти?
4. Поясніть значення термінів: наночастинка, кластер, нанотрубка, наноплівка, квантова точка, нанопорошок, нановолокно, нанофольга.
5. Історія розвитку нанотехнологій у світі та Україні.
6. Основні досягнення в області нанотехнологій і нанофармації.
7. Основні напрями використання нанотехнологій в медицині. Які відкриття в області наномедицини вам відомі?
8. Розмірний ефект. Як наночастинок класифікують за розміром?
9. Самоорганізація і самозбірка в наносистемах. Основні типи нано- і мікроструктурованих матеріалів
10. Фулерени, їх фармакологічні властивості.
11. Дендримери та нанокристали, перспективи використання в наномедицині.
12. Назвіть основні напрями використання наноматеріалів у нанофармації.
13. Фармацевтичні та фармакологічні властивості наночастинок. Визначення і завдання нанофармації.
14. Наноматеріали як основа створення сучасних лікарських засобів.

15. Допоміжні речовини в нанотехнології.
16. Назвіть основні напрями використання наноматеріалів у медицині.
17. Використання нанотехнологій для розробки систем доставки лікарських речовин до органів та тканин-мішеней.
18. Застосування нанокапсул в якості транспорту для лікарських речовин.
19. Переваги адресної доставки лікарських речовин і завдання, що треба вирішувати.
20. Створення та використання нових класів і видів носіїв для точної доставки лікарських засобів.
21. Функціональне призначення допоміжних речовин, використаних в технології нанорозмірних систем для доставки лікарських речовин.
22. Визначення ліпосом та історія їх одержання.
23. Класифікація і переваги різних модифікацій ліпосом для спрямованого транспорту лікарських речовин.
24. Лікарські засоби на основі ліпосом: приклади, особливості фармакокінетики.
25. Фармакокінетичні та фармакодинамічні особливості лікарських препаратів на основі ліпосом.
26. Поверхнево-активні речовини в технології нанорозмірних систем доставки лікарських речовин.
27. Біофармацевтичні аспекти використання наноносіїв. Парентеральний та ентеральний шляхи введення наноносіїв.

4. ТЕСТИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ РІВНЯ ЗНАНЬ

1. Нанотехнологією (молекулярною технологією) прийнято називати:

- A) Міждисциплінарну галузь фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних систем протяжністю порядку кількох нанометрів або часток нанометра;
- B) Міждисциплінарну галузь фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів або часток нанометра;
- C) Не є міждисциплінарною галуззю фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку кількох нанометрів або часток нанометра;
- D) Галузь фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів;
- E) Міждисциплінарну галузь прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів або часток нанометра.

2. Принципова відмінність колоїдних систем у тому, що:

- A) Поверхня їх частинок або величезних молекул в мільйони разів перевершує об'єм частинок, і частинки займають проміжний стан між частинками гомогенних розчинів і звичайними об'єктами макросвіту;
- B) Поверхня їх частинок або величезних молекул в кілька разів менше ніж об'єм частинок, і частинки займають проміжний стан між частинками гомогенних розчинів, сплавами, і звичайними об'єктами макросвіту;
- C) Об'єм їх частинок в мільйони разів перевершує поверхню частинок і такі частинки займають проміжне стан між частинками гомогенних розчинів, сплавами, і звичайними об'єктами макросвіту;
- D) Поверхня їх частинок перевищує об'єм самих частинок і такі частинки є частинками гомогенних розчинів.

3. Нанотехнології можна визначити як:

- A) Технології, що не засновані на побудові структур із наперед заданими властивостями;
- B) Технології, засновані на маніпуляції окремими атомами для побудови структур із наперед заданими властивостями;

- C) Технології, основані на маніпуляції окремими атомами і молекулами для побудови структур із наперед заданими властивостями;
- D) Технології, основані на маніпуляції молекулами, для побудови структур із наперед заданими властивостями..

4. Поява нанотехнологій у 1980-і роки відбулася завдяки:

- A) Теоретичної та практичної роботи Дрекслера, який розробив і популяризував концептуальні рамки для нанотехнологій;
- B) Зближенню теоретичної та громадської роботи Дрекслера, який розробив і популяризував концептуальні рамки для нанотехнологій;
- C) Громадської роботи Дрекслера, який розробив і популяризував концептуальні рамки для нанотехнологій;
- D) Теоретичної та громадської роботи Дрекслера, який розробив, але не популяризував концептуальні рамки для нанотехнологій;
- E) Зближенню теоретичної та громадської роботи Норіо Танігучі, який розробив і популяризував концептуальні рамки для нанотехнологій.

5. Практичний чинник нанотехнологій стосується:

- A) Виробництва пристроїв, потрібних для створення, обробки і маніпуляції атомами і молекулами;
- B) Виробництва пристроїв та їх компонентів, не потрібних для створення і маніпуляції атомами, молекулами і наночастинками;
- C) Виробництва пристроїв та їх компонентів, потрібних для створення, обробки і маніпуляції атомами, молекулами і наночастинками;
- D) Виробництва пристроїв та їх компонентів, потрібних для створення, обробки і маніпуляції атомами.

6. Наноматеріали – це:

- A) Матеріали, розроблені на основі наночастинок з унікальними характеристиками, що обумовлені мікроскопічними розмірами їх складових;
- B) Матеріали, розроблені на основі молекул з унікальними характеристиками, що обумовлені мікроскопічними розмірами їх складових;
- C) Матеріали, розроблені на основі наночастинок з унікальними характеристиками, що не обумовлені мікроскопічними розмірами їх складових;

D) Матеріали, розроблені на основі наночастинок з унікальними характеристиками, що обумовлені макроскопічними розмірами їх складових.

7. Фулерени – це:

- A) Молекулярні сполуки, що належать класу алотропних форм вуглецю і які є опуклими замкненими, складеними з парного числа трикоординованих атомів вуглецю;
- B) Молекулярні сполуки, що належать класу алотропних форм вуглецю і які є незамкненими багатогранниками, складеними з парного числа трикоординованих атомів вуглецю;
- C) Молекулярні сполуки, що належать класу алотропних форм кисню і які становлять опуклі замкнені багатогранники, складені з парного числа трикоординованих атомів вуглецю;
- D) Молекулярні сполуки, що належать класу алотропних форм вуглецю і які є опуклими замкненими, складеними з непарного числа трикоординованих атомів вуглецю.

8. Нанотрубка – це:

- A) Порожня всередині молекула, що складається з близько 1.000 атомів вуглецю і є одношаровою трубкою діаметром близько нанометра і довжиною в кілька десятків мікрон;
- B) Порожня всередині молекула, що складається з близько 1.000.000 атомів вуглецю і є двошаровою трубкою діаметром близько нанометра і довжиною в кілька десятків мікрон;
- C) Порожня всередині молекула, що складається з близько 1.000.000 атомів вуглецю і є одношаровою трубкою діаметром близько нанометра і довжиною в кілька десятків мікрон;
- D) Порожня всередині молекула, що складається з близько 1.000.000 атомів вуглецю і є одношаровою трубкою діаметром близько 55 нм і довжиною в кілька десятків мікрон.

9. До кластерів відносяться:

- A) Наночастинки металів розміром менше 0,1 нм;
- B) Наночастинки металів розміром більше 10 нм;
- C) Наночастинки металів розміром більше 20 нм;
- D) Наночастинки металів розміром менше 10 нм.

10. Графен – це:

- A) Одиночний плоский лист, що складається з атомів вуглецю, пов'язаних між собою, і утворює двовимірний шар правильних шестикутників з атомів вуглецю;
- B) Одиночний лист, що складається з атомів вуглецю, не зв'язаних між собою, і утворює двовимірний шар правильних шестикутників з атомів вуглецю;
- C) Одиночний плоский лист, що складається з атомів вуглецю, пов'язаних між собою, і утворює тривимірний шар шестикутників з атомів вуглецю;
- D) Одиночний лист, що складається з атомів вуглецю, пов'язаних між собою і утворює двовимірний шар правильних шестикутників з атомів кисню.

11. Фракталом називається:

- A) Об'єкт з розгалуженою структурою, в якому при зростаючому збільшенні можна побачити, як одна і та ж структура повторюється на всіх рівнях і в будь-якому масштабі;
- B) Об'єкт з нерозгалуженою структурою, в якому при зростаючому збільшенні можна побачити, як одна і та ж структура повторюється на всіх рівнях і в будь-якому масштабі;
- C) Об'єкт з розгалуженою структурою, в якому при зростаючому збільшенні можна побачити, що одна і та ж структура не повторюється на всіх рівнях і в будь-якому масштабі;
- D) Об'єкт з розгалуженою структурою, в якому при зростаючому збільшенні можна побачити, як одна і та ж структура не повторюється в ньому.

12. З перерахованих до наночастинок відносяться:

- A) Фулерени, нанотрубки, молекули білків, неорганічні нанокристали, міцели, золі, гелі та ін.;
- B) Фулерени, нанотрубки, молекули білків, неорганічні нанокристали, міцели та ін.;
- C) Фулерени, неорганічні нанокристали, міцели, золі, гелі, колоїдні розчини та ін.;
- D) Фулерени, нанотрубки, молекули білків, неорганічні нанокристали, міцели, золі, гелі, наноструктуровані плівки та ін.

13. З перерахованих до наносистем відносяться:

- A) Тіла з плівкою на поверхні, нанотрубки, молекули білків, неорганічні нанокристали, міцели, золі, гелі, наноструктуровані плівки та ін.;

- B) Тіла з плівкою на поверхні, аерозолі, молекули білків, неорганічні нанокристали, міцели, золі, гелі, наноструктуровані плівки та ін.;
- C) Тіла з плівкою на поверхні, тверді тіла, нанотрубки, молекули білків, неорганічні нанокристали, міцели, золі, гелі, наноструктуровані плівки та ін.;
- D) Тіла з плівкою на поверхні, нанотрубки, молекули білків, неорганічні нанокристали, міцели, золі, гелі, наноструктуровані плівки та ін.;
- E) Тіла з плівкою на поверхні, тверді тіла, золі, гелі, наноструктуровані плівки, розчини, кристали та ін.

14. Наночастинки срібла мають ряд унікальних властивостей:

- A) Феноменальна антивірусна активність, а також антимікробні властивості;
- B) Феноменальна бактерицидна і антивірусна активність, а також антимікробні властивості;
- C) Феноменальна бактерицидна і антивірусна активність;
- D) Феноменальна бактерицидна активність, а також антимікробні властивості.

15. Самоорганізація – це процес, в якому:

- A) Невпорядкована система вже існуючих компонентів утворює організовану структуру (одиниця наступного якісного рівня) або шаблон як наслідок конкретної локальної взаємодії між самими компонентами при зовнішньому втручанні;
- B) Невпорядкована система вже існуючих компонентів утворює організовану структуру (одиниця наступного якісного рівня) або шаблон як наслідок конкретної локальної взаємодії між самими компонентами, без зовнішнього втручання (зміна зовнішніх умов може стимулювати або подавляти дію);
- C) Невпорядкована система компонентів утворює слабо організовану структуру (одиниця наступного якісного рівня) або шаблон як наслідок конкретної локальної взаємодії між самими компонентами, без зовнішнього втручання;
- D) Впорядкована система існуючих компонентів утворює організовану структуру (одиниця наступного якісного рівня) або шаблон як наслідок конкретної локальної взаємодії між самими компонентами, без зовнішнього втручання.

16. Молекулярною самоорганізацією або самозбіркою:

- A) Називається процес, коли конститутивні компоненти не є молекулами;
- B) Називається процес, коли компоненти є наночастинками і молекулами;
- C) Називається процес, коли конститутивні компоненти є атомами і молекулами;
- D) Називається процес, коли конститутивні компоненти є молекулами.

17. Наномедицина досліджує доцільність застосування матеріалів нанотехнологій у медичній практиці для:

- A) Профілактики і лікування захворювань з контролем біологічної активності, фармакологічної та токсикологічної дії отриманих продуктів чи медикаментів;
- B) Профілактики, діагностики і лікування захворювань без контролю біологічної активності, фармакологічної та токсикологічної дії отриманих продуктів чи медикаментів;
- C) Профілактики, діагностики і лікування захворювань з контролем біологічної активності, фармакологічної та токсикологічної дії отриманих продуктів чи медикаментів;
- D) Профілактики захворювань з контролем біологічної активності, фармакологічної та токсикологічної дії отриманих продуктів.

18. Фармацевтична промисловість – це:

- A) Галузь промисловості, пов'язана з розподілом лікарських засобів, переважно призначених для профілактики, полегшення і лікування хвороб;
- B) Галузь промисловості, пов'язана з дослідженням, розробкою, масовим виробництвом, вивченням ринку і розподілом лікарських засобів, переважно не призначених для профілактики і лікування хвороб;
- C) Галузь промисловості, що не пов'язана з дослідженням, розробкою, масовим виробництвом, вивченням ринку і розподілом лікарських засобів, призначених для лікування хвороб;
- D) Галузь промисловості, пов'язана з дослідженням, розробкою, масовим виробництвом, вивченням ринку і розподілом лікарських засобів, переважно призначених для профілактики, полегшення і лікування хвороб.

19. Лікарський засіб – це:

- A) Речовина або поєднання кількох речовин природного, синтетичного або біотехнологічного походження, що не має специфічну фармакологічну активність і в певній лікарській формі застосовується для профілактики, діагностики та лікування захворювань людини;
- B) Речовина або поєднання кількох речовин природного, синтетичного або біотехнологічного походження, що має специфічну фармакологічну активність і в певній лікарській формі не застосовується для лікування захворювань людини;
- C) Речовина або поєднання кількох речовин природного, синтетичного або біотехнологічного походження, що має специфічну фармакологічну активність і в певній лікарській формі застосовується для профілактики, діагностики та лікування захворювань людини, запобігання вагітності, реабілітації хворих або для зміни стану і функцій організму шляхом внутрішнього і зовнішнього використання;
- D) Речовина або поєднання кількох речовин не природного походження, що не має специфічну фармакологічну активність і в певній лікарській формі застосовується для профілактики, діагностики та лікування захворювань людини.

20. Лікарська речовина – це:

- A) Лікарський фармакологічний засіб, що не є індивідуальною сполукою природного, хімічного або біологічного походження;
- B) Лікарський фармакологічний засіб, що є індивідуальною сполукою (субстанцією) природного, хімічного або біологічного походження;
- C) Лікарський фармакологічний засіб, що не є індивідуальною сполукою (субстанцією) природного, хімічного або біологічного походження;
- D) Лікарський фармакологічний засіб, що є індивідуальною сполукою (субстанцією) тільки біологічного походження.

21. Лікарська форма – це:

- A) Діюча речовина, сукупність кількох діючих речовин або найчастіше сукупність діючих і допоміжних речовин в стані, зручному для використання;
- B) Діюча речовина, сукупність кількох діючих речовин або найчастіше сукупність діючих і допоміжних речовин в стані, не зручному для використання;

- C) Сукупність кількох діючих речовин в стані, зручному для використання;
- D) Діюча речовина в стані, зручному для використання.

22. Фармацевтична розробка лікарських засобів з наночастинками нерозривно зв'язана з:

- A) Доклінічними дослідженнями – мікробіологічними і токсикологічними;
- B) Доклінічними дослідженнями – фармакологічними, мікробіологічними, токсикологічними;
- C) Доклінічними дослідженнями – фармакологічними і мікробіологічними;
- D) Доклінічними дослідженнями – фармакологічними і токсикологічними.

23. Важливими є:

- A) Дослідження проникнення наночастинок через біологічні мембрани та виведення їх з організму;
- B) Встановлення особливостей проникнення наночастинок через біологічні мембрани та накопичення їх в паренхіматозних органах;
- C) Дослідження особливостей накопичення наночастинок в паренхіматозних органах та виведення їх з організму;
- D) Дослідження особливостей проникнення наночастинок через біологічні мембрани, накопичення їх в паренхіматозних органах та виведення з організму.

24. Об'єктами досліджень з фармацевтичної розробки є:

- A) Активні фармацевтичні інгредієнти та допоміжні речовини, лікарська форма, технологічний процес та пакувальні матеріали;
- B) Фармацевтичні інгредієнти, лікарська форма, технологічний процес та пакувальні матеріали, мікробіологічні властивості лікарського засобу та сумісність компонентів;
- C) Всі компоненти лікарського засобу – активні фармацевтичні інгредієнти та допоміжні речовини, лікарська форма, технологічний процес та пакувальні матеріали, мікробіологічні властивості лікарського засобу та сумісність компонентів;
- D) Допоміжні речовини, лікарська форма, технологічний процес та пакувальні матеріали, мікробіологічні властивості лікарського засобу та сумісність компонентів.

- 25. Термін «нанотехнологія»** (з грецької: nanos – карлик, гномик, techno – майстерність, logos – наука, система знань) запропонований:
- A) Норіо Танігучі у 1974 р.;
 - B) К.Е. Дрекслером в 1994 р.;
 - C) Гердом Біннінгом в 1981 р.;
 - D) Генріхом Рорером в 1981 р.
- 26. Терапевтичну ефективність та безпечність лікарських засобів слід оцінювати:**
- A) За певною технологією готового лікарського засобу (в певному упакованні, з визначеним терміном придатності та рекомендаціями щодо застосування);
 - B) За складом активних фармацевтичних інгредієнтів та за певною технологією готового лікарського засобу (в певному упакованні, з визначеним терміном придатності та рекомендаціями щодо застосування);
 - C) За властивостями одержаного лікарського засобу (в певному упакованні, з визначеним терміном придатності та рекомендаціями щодо застосування);
 - D) За сукупними властивостями одержаного за певною технологією готового лікарського засобу (в певному упакованні, з рекомендаціями щодо застосування та з визначеним терміном придатності).
- 27. Фармацевтична розробка лікарських засобів з нанорозмірними речовинами повинна бути:**
- A) Спрямована на створення лікарської форми, яка забезпечить оптимальний терапевтичний ефект активного фармацевтичного інгредієнта при мінімумі побічної дії, а також фармакологічну раціональність, зручність при зберіганні та застосуванні;
 - B) Спрямована на створення лікарської форми, яка не забезпечить оптимальний терапевтичний ефект активного фармацевтичного інгредієнта при мінімумі побічної дії;
 - C) Спрямована на створення лікарської форми, яка забезпечить оптимальний терапевтичний ефект активного фармацевтичного інгредієнта при максимумі побічної дії, а також фармакологічну раціональність, зручність при зберіганні та застосуванні;
 - D) Спрямована на створення лікарської форми, яка забезпечить оптимальний терапевтичний ефект активного фармацевтичного інгредієнта при мінімумі побічної дії, і не забезпечить фармакологічну раціональність.

5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горобець С. В. Функціональні біо- та наноматеріали медичного призначення: монографія / С. В. Горобець, О. Ю. Горобець, П. П. Горбик, І. В. Уварова. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. 480 с.
2. Нанонаука, нанобіологія, нанофармація. Монографія / І. С. Чекман, З. Р. Ульберг, В. О. Маланчук, Н. О. Горчакова, І. А. Зупанець. Київ: Поліграф-плюс, 2012. 328 с.
3. Чекман І. С. Нанофармакологія / І. С. Чекман. Київ: Задруга, 2011. 424 с.
4. Чекман І. С. Основи наномедицини / І. С. Чекман, В. О. Маланчук, А. В. Рибачук. Київ: Логос, 2011. 250 с.
5. Волков С. В. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали / С. В. Волков, С. П. Ковальчук, В. М. Генко. Київ: Наукова Думка, 2008. 422 с.
6. Пилипчук Л. Л., Близнюк В. М. Наноматеріали в хімії та фармації. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 168 с.
7. Drexler K. E. Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation / K. E. Drexler. NY: John Wiley and Sons, 1992.
8. Physical Chemistry of Nanomaterials and Supramolecular Structures. V. 1 / Eds. A. P. Shpak, P. P. Gorbyk. Kyiv: Naukova Dumka, 2007. 431 p.
9. Physical Chemistry of Nanomaterials and Supramolecular Structures V. 2 / Ed. A. P. Shpak, P. P. Gorbyk. - Kyiv: Naukova Dumka, 2007. – 440 p.

Навчальне видання

НАНОРОЗМІРНІ СИСТЕМИ В ФАРМАЦЕВТИЦІ

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до аудиторної та самостійної роботи
здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності ЕЗ Хімія, ОНП Фармацевтична хімія, І8 Фармація

Електронне практичне видання

Укладачі:

Стрельцова Олена Олексіївна

Менчук Василь Васильович

В авторській редакції

Затв. авт. 22.07.2026. Шрифт Times New Roman.
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним забезпеченням
для читання файлів формату PDF.
Обсяг 0,7 МБ. Зам. № 3208.

Видавець:

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Змієнка Всеволода, буд. 2, м. Одеса, 65001, Україна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8592 від 23.03.2026 р.
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua