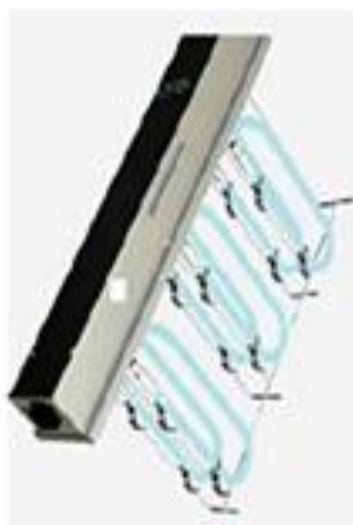


Шуаібов О.К., Грицак Р.В.

**БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ.
Вступ до спеціальності**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
Фізичний факультет
Кафедра квантової електроніки**

ШУАІБОВ О.К., ГРИЦАК Р.В.

**БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ.
Вступ до спеціальності**

Навчальний посібник

Ужгород-2019

УДК 621:616(075.8)

Ш 95

Шуаїбов О.К., Грицак Р.В. **Біомедична інженерія. Вступ до спеціальності.: Навчальний посібник.** – Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Видавництво «Говерла», 2019 р. – 177 с. – Іл. 37; – таблиць 3. – Бібл.: 17 назв. – Укр. мовою.

В навчальному посібнику розкрито дев'ять тем з біомедичної інженерії на рівні вступу до відповідних навчальних дисциплін, які студенти з спеціальності «БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ» будуть в майбутньому більш детально вивчати на старших курсах бакалаврату при фізичному факультеті ДВНЗ «Ужгородський національний університет», кафедри квантової електроніки. В додатку до посібника наведено опис компетентностей з усіх навчальних дисциплін в розрізі того, що мають студенти «знати» і «вміти» після закінчення четвертого курсу.

Матеріали, викладені в навчальному посібнику, можуть бути корисними для студентів із спеціалізацій «екологія навколишнього середовища», «агрономія», «мікробіологія» та «лікувальна справа».

Рецензенти: доктор фізико-математичних наук, професор Кельман Володимир Андрійович;

доктор фізико-математичних наук, професор Шафраньош Іван Іванович.

*Рекомендовано до друку Вченою радою
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
(протокол №3 від 26 лютого 2019 р.)*

*Рекомендовано до друку Редакційно-видавничою радою
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
(протокол №2 від 25 лютого 2019 р.)*

ISBN 978-617-7333-75-2

© Вид-во УжНУ «Говерла», 2019

© Шуаїбов О.К., Грицак Р.В., 2019

Перелік умовних скорочень

- АОТ** – діоктилсульфосукціонат натрію;
- БМА** – біомедична апаратура;
- БМІ** – біомедична інженерія;
- БО** – біологічний об'єкт;
- БТС** – біотехнічна система;
- ЗК** – загальні компетентності;
- ІК** – інтегральна компетентність;
- ЛПУ** – лікувально-профілактична установа;
- МВ** – медичні вироби;
- СК** – Спеціальні компетентності;
- СТМ** – скануючий тунельний мікроскоп;
- ТЗ** – технічні засоби;
- УФ** – ультрафіолетове випромінювання;
- КУО** - колонієутворюючі одиниці.

ЗМІСТ

ТЕМА–1. ВСТУП ДО БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ	6
ТЕМА–2. ІНАКТИВАЦІЯ І ДЕЗІНФЕКЦІЯ ОБ’ЄКТІВ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ТА ПІД ДІЄЮ ОЗОНУ	22
ТЕМА–3. УЛЬТРАФІОЛЕТОВІ ЛАМПИ І ОСВІТЛЮВАЧІ ДЛЯ ЗАСТОСУВАНЬ В БІОМЕДИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ	40
ТЕМА–4. ОСНОВИ СВІТЛОКУЛЬТУРИ РОСЛИН ЗАКРИТОГО ГРУНТУ	57
ТЕМА–5. ВСТУП ДО КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ І ТЕХНІКИ ЛАЗЕРІВ	73
ТЕМА–6. ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ ЛЮДИНИ	86
ТЕМА–7. ОСНОВИ ВИМІРЮВАННЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ОБ’ЄКТІВ БМІ	94
ТЕМА–8. ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ	110
ТЕМА–9. НАНОТЕХНОЛОГІЇ І НАНОМАШИНИ В БІОМЕДИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ	125
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	137
ДОДАТОК	139

ПЕРЕДМОВА

Метою даного посібника є ознайомлення студентів з програмою спеціальності «Біомедична інженерія», навчальними предметами бакалаврату (1-4 курси), компетентностями, якими мають набути студенти після закінчення четвертого курсу, та основними сучасними напрямками в біомедичній інженерії (БМІ).

Відмінними рисами освітнього спрямування БМІ як навчальної дисципліни є:

- підвищена увага дослідників до проблеми адекватного сполучення біологічного об'єкта з технічними засобами, призначеними для знімання інформації і для адекватного впливу;

- інтеграція різноманітних галузей науки, техніки і інформатики: біології, медицини, фізики, хімії, радіотехніки та мікроелектроніки, матеріалознавства, обчислювальної техніки та інших - з метою пізнання природи здоров'я і захворювань людини;

- розуміння специфіки біологічних об'єктів та базових основ сучасних інформаційних, мікроелектронних і біологічних технологій.

Вирішальною проблемою в розробці передових медичних технологій і медичної техніки є необхідність подолання основного обмежуючого фактору, а саме – відсутності фахівців за спеціальністю БМІ. Виходячи з досвіду Європейських країн, можна стверджувати, що розвиток БМІ в Україні – є стратегічним напрямком зміцнення економіки держави, підвищення ефективності вітчизняного медичного виробництва і охорони здоров'я, відкриття принципово нової сфери наукових досліджень. Це привело до збільшення центрів з підготовки фахівців з БМІ, на основі факультетів і кафедр технічного, фізико-хімічного і медико-біологічного профілю.

Даний посібник включає передмову, дев'ять тем з основних напрямків БМІ, списку першоджерел і додатку.

Питання, що розглядаються в даному навчальному посібнику, формують в студентів-бакалаврів основу для подальшого сприйняття спеціальних навчальних дисциплін з напрямку підготовки «БМІ».

ТЕМА–1. ВСТУП ДО БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Біомедична інженерія виникла на перетині точних та медико-біологічних наук як офіційна навчальна дисципліна на початку 1950-х роках. Подальша історія БМІ охоплює всі досягнення фізики, хімії, математики, інформатики, інших технічних галузей, які знайшли своє медико-біологічне застосування, особливо в ХІХ-ХХІ століттях.

Головною причиною бурхливого розвитку БМІ саме у ХХ сторіччі є поява «стандартів якості», розвиненої ринкової економіки та високі вимоги до якості і конкурентної спроможності медичних виробів і технологій. Головна ознака якості – це максимальна відповідність кінцевого результату будь-якої роботи інтересам замовника.

1. Сучасний стан розвитку навчального напрямку підготовки спеціалістів з біомедичної інженерії

За кордоном, у Європі та США лікарі започаткували напрямок біомедичної інженерії, залучивши до вирішення медичних проблем провідні технічні університети. Перші заклади, де це відбулось: Інститут медичної фізики (1921), в подальшому - Інститут біофізики Макса Планка (Німеччина) та Радіо-інженерний інститут (1948, США). В подальшому більшість провідних технічних університетів світу відкрили кафедри та факультети з БМІ.

Таким чином, в Європі та США сформувався потужний рух до створення самостійної програми навчання з БМІ, яка більше не є частиною традиційних інженерних програм, а з самого початку повністю інтегрована з медициною і біологією. Сьогодні розробка матеріалів медичного призначення, виробів з них та медичної техніки, а також науково і техноємних медичних технологій є одним із основних напрямів економічної політики розвинених країн.

Реалізація цих програм потребує залучення високоосвічених фахівців, які володіють відповідним обсягом знань і навичок у галузях біології, медицини, медичної техніки, медичної електроніки, біоматеріалознавства. Це привело до створення у США і Європі спеціальності „Біомедична інженерія” та споріднених з нею спеціалізацій (зокрема „Медична інформатика”, „Медична інженерія”, „Клінічна інженерія”). Державний департамент США із працевлаштування і зайнятості (United States Department of Labor)

наводить такі цифри: „... з 2000 до 2010 року число робочих місць у сфері БМІ збільшилось на 31,4% – що вдвічі перевищило швидкість зростання робочих місць у всіх інших сферах діяльності разом узятих. Сумарне зростання числа робочих місць у інших сферах на протязі декади передбачається на рівні 15,2%”. В березні 2000 р. Рада Європи заявила, що Євросоюз має важливе завдання стати найбільш спроможною з точки зору конкуренції і динамічною економічною зоною світу. Відповідно, створення гармонізованої системи науки і освіти “Європа знань” стало суттєвим політичним наслідком економічних потреб регіону з обмеженими природними ресурсами, а також продовженням попередніх ініціатив урядів і установ, відповідальних за освіту і науку у Європі, головним чином університетів.

Перед усіма науковими і професійними товариствами в галузі БМІ а також перед Європейськими університетами, які викладають БМІ, постало питання: яким чином такі програми вплинуть на освіту в галузі БМІ і як біо-медико-інженерна спільнота зможе підтримати зміни у сфері розвитку людських ресурсів і просуванні у напрямку науково-технічного прогресу? Наскільки важливий зв'язок між БМІ і медичними технологіями і чи варто їх розділяти? В цілому галузь БМІ посідає чільне місце за впливом на економіку Європи. БМІ потребуватиме напружених освітянських зусиль для забезпечення її необхідними людськими ресурсами.

Уніфікація якості і акредитація освітянських програм із подальшим швидким їх поширенням, а також політичні зміни у Європі, які підвищують можливість і мобільність працевлаштування в Європейській сфері вищої освіти, потребують від університетів і професійних асоціацій в галузі БМІ активної участі у формуванні майбутнього цієї дуже успішної і перспективної дисципліни шляхом керівництва розвитком вищої освіти і наукових досліджень в цій галузі.

З метою подальшої підтримки високої якості біо-медико-інженерної освіти створена «Міжнародна федерація медичної і біологічної інженерії», а також підтримуваний нею новоутворений «Європейський альянс медичної і біологічної інженерії і наук», які об'єднують національні і транснаціональні європейські асоціації, навчальні заклади і промисловість, пов'язану із медико-біологічною інженерією і наукою. Ці організації ведуть облік і координацію всіх

медико-біологічних освітніх і наукових програм у Європі і готують рекомендації для створення сучасної освіти з напрямку БМІ.

З огляду на це, в 2005 р. міжнародна федерація медичної і біологічної інженерії затвердила «Критерії з акредитації освітніх програм з БМІ для Європи», які відповідають вимогам Болонської декларації, підписаної 29 європейськими країнами в 1999 р. Головні гравці в цьому процесі – університети. Першочергові завдання в цьому контексті такі: • акредитація освітніх програм; • стажування; • продовження освіти протягом життя.

Досягнення можливості безперешкодного працевлаштування в Європі і обміну новітніми технологіями потребує гармонізації вищої освіти і в галузі БМІ. Тому акредитація освітніх програм з БМІ, які ґрунтуються на критеріях, узгоджених по всій Європі – є необхідною умовою реалізації всіх інших завдань. З метою розробки рекомендацій з акредитації Робоча група з акредитації сертифікації Асоціації біомедичних інженерів Німеччини (Working Group for Accreditation and Certification of the German Society for Biomedical Engineering (DGBMT)) взяла на себе ініціативу складання каталогу ключових визначень. В результаті цієї роботи створено документ, розміщений за адресою: <http://www.vde.com/de/fg/dgbmt/studiumberuf/gegenstandskatalog/> – який є практично паспортом спеціальності БМІ.

Перспективи біо-медико-інженерної освіти в Україні навчальна програма з БМІ в Україні, також як і в країнах Європи, повинна давати освіту, що дозволяє організовувати і виконувати фундаментальні і прикладні дослідження в цій мультидисциплінарній галузі. Спеціалісти мають досвід комплексного підходу до досліджуваних об'єктів, який дозволяє: розвивати існуючі міждисциплінарні концепції і створювати нові; приймати безпосередню участь у розробці високотехнологічних підходів до втручання в процеси життєдіяльності, контролювати їх ефективність. БМІ є тією ланкою, яка здійснює взаємозв'язок клінічної практики, наукових досліджень і виробництва. Спеціалісти з біомедичної інженерії мають виконувати подвійну функцію: з одного боку вони впроваджують наукові досягнення в клінічну практику, а з іншого – трансформують потреби і завдання клінічної практики у напрямки наукових досліджень і виробництва. Оскільки така взаємодія створює нові інструменти і технології для медичної практики, тому бакалаврат за спеціальністю „Біомедична інженерія” може завершуватися спеціалізацією з медичної інженерії, клінічної інженерії, медичної інформатики, біомедичної фізики, а також вже

існуючих в Україні напрямків, таких як: фізична і біомедична електроніка; медичні прилади і системи; біотехнічні та медичні апарати і системи; медичні акустичні та біоакустичні прилади і апарати.

Оскільки із вказаних вище напрямків підготовки медична та клінічна інженерія є новими для України прикладними складовими БМІ, слід підкреслити, що вони спрямовані на забезпечення технологічної відповідності експлуатації в медичній практиці складного обладнання, застосування матеріалів і виробів медичного призначення; контролю і сертифікації їх якості і безпечності; коректності в отриманні, інтерпретації і обробці біомедичної інформації.

Слід відзначити також те, що включення українського напрямку підготовки з БМІ до галузі знань «Біотехнологія» відповідає найсучаснішим світовим тенденціям, оскільки медичні біотехнології, пов'язані із застосуванням молекулярної хімії (генної інженерії), стовбурових клітин, клітинної та тканинної інженерії є розділом сучасної БМІ. Останнім часом у Європі фахівці з БМІ, отримавши додатково середню медичну освіту, приймають безпосередню участь у застосуванні техноємних методів діагностики і лікування.

2. Основні поняття і визначення з напрямку БМІ

На даний час значно підвищується ефективність наукового, технічного, фармакологічного і інформаційного забезпечення охорони здоров'я. Так, за даними міжнародної організації «**The World Medical Market Fact File**» (WMMFF), медичні вироби (МВ) за обсягом, номенклатурою, асортиментом і кількістю займають одне з перших місць в світі, випереджаючи таку динамічну галузь, яка розвивається, як «обчислювальна техніка та інформатика». До МВ будемо відносити вироби медичного призначення та медичну техніку, зокрема: прилади, апарати, інструменти, пристрої, комплекси, системи з програмними засобами, обладнання, пристосування, перев'язувальні і шовні засоби, стоматологічні матеріали, набори реагентів, контрольні матеріали і стандартні зразки, вироби з полімерних, гумових та інших матеріалів, які застосовують в медичних цілях окремо або в поєднанні між собою і які призначені для профілактики, діагностики, лікування захворювань, реабілітації, проведення медичних процедур, досліджень медичного характеру, заміни або модифікації частин тканин, органів і організму

людини, відновлення або компенсації порушених чи втрачених фізіологічних функцій, контролю над зачаттям, впливу на організм людини таким чином, що їх функціональне призначення не реалізується шляхом хімічного, фармакологічного, імунологічного або метаболічного взаємодії з організмом людини.

Обсяг продажів МВ в світі переважає 300 млрд доларів США, з яких на частку США припадає понад 70 млрд доларів. Для здійснення прориву в області інноваційних медико-біологічних технологій, необхідно чітко уявляти тенденції і перспективи розвитку сучасної біомедичної інженерії.

В Україні виробництво медичної техніки і матеріалів медичного призначення дуже обмежене і знаходиться на початковій стадії свого розвитку. Забезпечення всіх потреб вітчизняної охорони здоров'я у зазначених вище виробках і технологіях за рахунок імпорту недоцільне, а часом неможливе з економічних міркувань. Необхідним є створення вітчизняної матеріально-технічної і наукової бази для виробництв медичного обладнання, матеріалів і засобів профілактики. Крім того, впровадження і експлуатація високотехнологічного медичного обладнання і спеціалізованих матеріалів медичного призначення висуває нові вимоги до компетентності експертів, розробників та інженерного персоналу який супроводжує інсталяцію і експлуатацію обладнання у лікувальних закладах.

Відомо, що наукомісткі МВ розробляються на стику біології і фізики, медицини і радіоелектроніки, математики та біомеханіки, біохімії та інформатики і т.д. Ні в якому разі не випадковий той факт, що за велику кількість світових досягнень в цих областях їх автори отримали Нобелівські премії. Перерахуємо деякі з них.

1901 р. – Вільгельм Конрад Рентген - перша Нобелівська премія з фізики за відкриття рентгенівських променів. Це відкриття дозволило створити потужні засоби візуалізації для точної діагностики значної кількості захворювань і травм.

1903 р. – Нільс Фінсен, датський лікар - премія в галузі фізіології або медицини за «застосування концентрованих світлових променів», що стало новим напрямком в медичній науці, оскільки на даний час сучасну медицину неможливо уявити без застосування різноманітних видів концентрованих потоків електромагнітної енергії, які впливають на біологічні об'єкти, в першу чергу, лазерних технологій.

1924 р. – Біллем Ейндховен, голландський лікар - премія в галузі фізіології або медицини за «відкриття механізму електрокардіограми» і

створення першого електрокардіографа для вимірювання електричної активності серця.

1952 р. – Фелікс Блох і Едуард Перселл (США) - премія в галузі фізики за «розвиток нових методів для точних ядерних магнітних вимірів і пов'язані з цим відкриття», що відкрило шлях до застосування ядерно-магнітного резонансу (ЯМР) в медицині і біології та стало значним поштовхом у розвитку систем візуалізації біоб'єктів.

1964 р. – Микола Басов, Олександр Прохоров (СРСР) і Чарлз Таунс (США) - премія в галузі фізики за «створення генераторів і підсилювачів, заснованих на лазерно-мазерному принципі».

1979 р. – Аллан Кормак (США) і Готфамі Хаунсфілд (Великобританія) - премія в галузі фізіології або медицини за створення рентгенівського комп'ютерного томографа (РКТ), що стало тріумфом медико-технічної науки ХХ століття.

1986 р. – Герд Бінніг (ФРН) і Хенрі Рорер (Швейцарія) - премія в галузі фізики за тунельний мікроскоп (STM), котра поклала початок розвитку та застосування нанотехнологій в тому числі і для біоб'єктів.

2002 р. – Жорес Алфьоров (Росія) і Герберт Кремер (ФРН) - премія в галузі фізики за «розвиток напівпровідникових гетероструктур, які використовуються в високошвидкісній електроніці та оптоелектроніці», в тому числі і в біологічній та медичній практиках.

Одночасно з диференціацією наук, їх все більшою спеціалізацією на традиційних межах виникають нові міждисциплінарні напрямки, які стають містками взаємного проникнення різних областей знання в ім'я загальнолюдського прогресу. Медико-технічні науки, такі як біомедична кібернетика, біоніка, біомеханіка і ін., є також прикладом взаємопроникнення медичних і технічних наук заради пізнання природи здоров'я і різних захворювань людини.

На даний час можна назвати наступні основні сфери застосування біомедичної техніки.

Біологічна інженерія – фундаментальні та прикладні дослідження різних біосистем, в тому числі і на рівні нанорозмірів, для вирішення практичних завдань молекулярної біології, медицини, фармацевтичної, харчової промисловості та сільського господарства і агрокультури.

Медична інженерія – дослідження, проектування і виготовлення нових наукоємних медичних виробів для діагностики, терапії і хірургії, створення штучних органів; експлуатація та сервісне обслуговування

медичних систем, комплексів і апаратів безпосередньо в медичних центрах, лікувально-профілактичних установах (ЛПУ) різного рівня.

Біоінформаційна інженерія – розробка автоматизованих інформаційних систем медичного призначення, проблемно-орієнтованих баз даних та баз знань, експертних медичних систем.

Медико-екологічна інженерія - рішення проблем взаємодії людини з постійно ускладнюючим місцем її існування, а також контролю і захисту людини від патогенних факторів зовнішнього середовища.

Реабілітаційна індустрія – дослідження, проектування, виробництво та експлуатація технічних засобів (ТЗ) для реабілітації осіб з обмеженнями життєдіяльності.

Медицина катастроф – дослідження, проектування, виробництво та експлуатація ТЗ для екстремальної медицини.

Таким чином, всі перераховані вище напрями можна об'єднати одним загальною назвою – біомедична інженерія (БМІ). БМІ – міждисциплінарна область фундаментальної і прикладної науки і техніки, що включає в себе: наукові дослідження на стику «живе і неживе», в тому числі створення інтерфейсу між «живою» і «неживою» природою; адекватну взаємодію технічних і біологічних об'єктів на нанорівні, з метою створення біотехнічних систем (БТС) нового покоління; діагностичні дослідження, лікувальні процедури і реабілітація в умовах медичних центрів і ЛПУ різного профілю, в установах профілактичної медицини, спортивно-оздоровчих комплексах, курортно-санаторних організаціях, різних об'єктах спеціальної та галузевої медицини та ін.; оцінку середовища проживання і санітарно-гігієнічних умов життя людини в побутових і виробничих приміщеннях, контроль якості продуктів харчування і питної води, промислових стоків, викидів і відходів для оцінки впливу на його здоров'я; біологічні експерименти в умовах біостанцій, біологічних дослідницьких лабораторій і екологічних центрів; розробку нестандартних методик повірки, калібрування і тестування медичного обладнання, апаратів, систем і комплексів, а також ТЗ біологічних лабораторій; розробку нових методів дослідження стану біологічних об'єктів (БО) та управління цим станом, а також нових медичних технологій із застосуванням вискоєфективних технічних і комп'ютерних засобів; обробку біомедичної інформації, створення і експлуатацію медичних БД, експертних, моніторингових систем з

використанням сучасних пакетів прикладних програм інформаційної підтримки діагностичного та лікувального процесів.

Світовий досвід свідчить про те, що нові біомедичні технології і технічні системи, які їх реалізують, з'являються і асимілюються клінічною практикою, перш за все шляхом перенесення ідеї і досягнення фізики, хімії, математики, радіоелектроніки, інформатики в біологічну та медичну проблематику і практичні застосування.

Аналіз результатів, відзначених Нобелівськими преміями в області фізіології і медицини, добре демонструє принципи формування і розвитку біомедичної інженерії в ХХ столітті.

Основними сферами застосування БМІ є:

в охороні здоров'я – фундаментально-наукова охорона здоров'я (генна інженерія), фармакологія (синтез і об'ємне моделювання лікарських речовин);

в медицині екстремальних ситуацій – біороботи (в тому числі роботи-хірурги та мікророботи), лазерні та біосенсорні системи для експрес-діагностики, телемедичні системи;

в медичній промисловості – розробка (проектування) і виготовлення нових приладів, апаратів і інших МВ для біотехнічних систем (БТС) різного призначення;

в галузевій медицині – авіаційна і космічна апаратура контролю та підтримки життєдіяльності людини, спортивні радіоелектронні комплекси та тренажери, медичні вироби для курортно-санаторної медицини, тренажерно-моделювальні комплекси професійної підготовки фахівців різного профілю в людино-машинних системах (в атомній енергетиці, транспорті, космосі, підводних дослідженнях, спеціальних інформаційних службах і т. д.);

в біології – створення комплексів керованого біологічного експерименту, що включають як прецизійні медичні вироби дію на біооб'єкти, так і автоматизовані засоби знімання, обробки, формування керуючих команд і інтерпретації результатів;

в реабілітаційній індустрії – розробка біотехнічних систем реабілітації та створення адаптивної навколишнього середовища для осіб з обмеженнями життєдіяльності;

в харчовій промисловості – контроль якості продуктів харчування, створення біоактивних додатків, що не роблять шкідливого впливу на людину, і інше;

в екології – контроль середовища проживання людини, в цьому числі аналіз впливу природних і виробничих факторів на екологію людини;

в комп'ютерній техніці – створення нового покоління комп'ютерів – біокомп'ютерів.

Позитивні тенденції в розвитку медико-технічної науки і її практичне застосування пов'язані зі збільшенням витрат на охорону здоров'я в багатьох країнах в останнє десятиліття і, відповідно, зі збільшенням витрат на закупівлю сучасних МВ. Наслідком цього є істотне зростання інвестицій в наукові дослідження для розвитку нових і перспективних напрямів такої інтегральної предметної області, як БМІ. У передових країнах (при загальному «обсязі споживання медичних виробів» в розмірі десятків мільярдів доларів на рік) витрати на науково-дослідні і конструкторські роботи досягають 10-15%. Цей показник збільшився за останні десять років більш ніж в два рази і став порівняним з обсягами інвестицій в фармацевтичну промисловість.

Відзначимо, що проблема здоров'я нації є стратегічною проблемою будь-якої цивілізованої країни, що зумовлює необхідність розробки і застосування сучасних медичних виробів, нових медичних технологій і методів управління, спрямованих на істотне підвищення якості в сфері вітчизняної охорони здоров'я.

Таким чином, можемо сформулювати, що **«Біомедична інженерія»** – це міждисциплінарна наука, яка вивчає принципи функціонування технічних пристроїв для дослідження біологічних процесів, діагностичної та терапевтичної апаратури, моделювання життєвих процесів з точки зору фізичних законів та математичних закономірностей, що дозволяє створювати біотехнічні системи різного призначення.

Код та найменування спеціальності 163 «Біомедична інженерія». Рівень вищої освіти перший (бакалаврський). Спеціалізація «Біомедична інженерія». Освітня програма «Біомедична інженерія». Загальний обсяг у кредитах Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи та строк навчання 240 кредитів ЄКТС, 3 роки 10 місяців.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

«Знати» призначення та область завдань, яку обслуговує спеціальність “біомедична інженерія”; фізичні принципи роботи сучасної лікувально-діагностичної апаратури; принципи організації навчання по обраній спеціальності; структуру навчального плану по обраній спеціальності.

«Уміти» орієнтуватися у сучасних напрямках розвитку лікувально-діагностичного засобів на основі новітніх фізичних методів; розробляти нове та належно обслуговувати вже наявне високотехнологічне медичне обладнання у медичних закладах; розуміти профіль своєї підготовки у вузі, напрямок професії та перспективи працевлаштування.

3. Загальна характеристика освітньої програми з підготовки студентів бакалаврату по спеціальності БМІ.

Метою освітньо-професійної програми є формування професійної компетентності фахівців із спеціальності “Біомедична інженерія”, що спрямована на здатність розв'язувати спеціалізовані задачі планування, проектування, розробку, встановлення та експлуатацію біомедичних пристроїв і приладів.

Зарахування проводиться на загальних умовах вступу: за результатами конкурсу сертифікатів зовнішнього незалежного оцінювання знань і вмінь (ЗНО) з предметів: «Українська мова та література», «Біологія» та «Історія України/Іноземна мова» з урахуванням середнього балу документа про повну загальну середню освіту та балів за особливі успіхи.

Спеціальні вимоги до професійного відбору вступників відсутні.

Результати навчання (компетентності), якими має володіти здобувач вищої освіти.

Важливим елементом освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності «Біомедична інженерія» є досягнення здобувачами першого рівня вищої освіти запланованих результатів навчання шляхом засвоєння відповідних модулів (навчальних дисциплін та практик).

Формулювання програмних результатів навчання здійснюється відповідно до ключових загальних та спеціальних (фахових) компетентностей. Процес вивчення навчальних дисциплін спрямований на формування наступних компетентностей:

Інтегральна компетентність (ІК):

(ІК-1). Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у біомедичній інженерії або у процесі навчання, що передбачає застосування хімічної та біоінженерії, і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності (ЗК):

(ЗК-1) Здатність сприймати, розуміти, узагальнювати, зберігати та застосовувати отримані знання.

(ЗК-2) Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями як в колективі, так і самотійно.

(ЗК-3) Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях та проводити дослідження на відповідному рівні.

(ЗК-4) Знання та розуміння предметної області професійної діяльності.

(ЗК-5) Здатність спілкуватися державною та іноземною мовами як усно, так і письмово.

(ЗК-6) Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

(ЗК-7) Здатність знаходити, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел.

(ЗК-8) Здатність приймати обґрунтовані рішення.

(ЗК-9) Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

(ЗК-9) Здатність використовувати фундаментальні поняття і закони біології, хімії, медицини, фізики та математики у сфері професійної діяльності.

(ЗК-10) Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу на основі логічних аргументів та перевірених фактів.

(ЗК-11) Здатність працювати в колективі, толерантно сприймаючи соціальні, етнічні, конфесійні та культурні відмінності.

(ЗК-12) Прагнення до збереження навколишнього середовища.

Спеціальні компетентності (СК):

- (СК-1) Здатність застосовувати пакети інженерного програмного забезпечення для проведення досліджень, аналізу, обробки та представлення результатів.
- (СК-2) Здатність забезпечувати інженерно-технічну експертизу в процесі планування, розробці, оцінці та специфікації медичного обладнання.
- (СК-3) Здатність вивчати нові методи та інструменти аналізу, моделювання, проектування та оптимізації.
- (СК-4) Здатність розуміти технічні і функціональні характеристики систем, методів і процедур, що використовуються в медицині та біології (при профілактиці, діагностиці, лікуванні та реабілітації).
- (СК-5) Здатність розробляти, планувати і застосовувати математичні методи в аналізі, моделюванні функціонування живих організмів, систем і процесів в біології та медицині.
- (СК-6) Здатність планувати, проектувати, розробляти, встановлювати, експлуатувати і підтримувати прилади, обладнання та системи для профілактики, діагностики, лікування і реабілітації.
- (СК-7) Здатність ефективно використовувати інструменти та методи для аналізу, проектування, розрахунку та випробувань при розробці біомедичних продуктів і послуг.
- (СК-8) Здатність забезпечити, встановити випробувальне устаткування, що використовується в лікарнях і науково-дослідних інститутах і підтримується на оптимальному рівні функціонування, а також, контролювати і координувати ремонт.
- (СК-9) Здатність проводити дослідження та спостереження щодо взаємодії біологічних, природних та штучних систем (протези, штучні органи та ін.).
- (СК-10) Здатність планувати технічне обслуговування медичного обладнання.

- (СК-11) Здатність ідентифікувати, формулювати і вирішувати інженерні проблеми, пов'язані з взаємодією між живими і неживими системами.
- (СК-12) Здатність обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для реалізації та контролю медичного обладнання.
- (СК-13) Здатність застосовувати базові знання з комп'ютерного програмного забезпечення для автоматизованого проектування медичних приладів та систем.
- (СК-14) Розуміти принципи побудови сучасних автоматизованих систем управління виробництвом медичних приладів, їх технічне, алгоритмічне, інформаційне і програмне забезпечення.
- (СК-15) Володіння практичними навичками щодо правового регулювання патентного права та фундаментальними знаннями щодо правової охорони об'єктів інтелектуальної власності та їх захисту в Україні та світі.
- (СК-16) Володіння навичками розробки і впровадження оперативних заходів цивільного захисту.

Згідно освітньої програми «Біомедична інженерія» з циклу підготовки бакалаврів в ДВНЗ «Ужгородський національний університет» навчальний процес будується на основі наступних дисциплін.

Цикл загальної підготовки.

Обов'язкові навчальні дисципліни.

1. Гуманітарні та соціально-економічні дисципліни.

1.1 Нормативні початкові дисципліни.

1. Ділова українська мова
2. Іноземна мова
3. Історія та культура України
4. Філософія
5. Безпека життєдіяльності та охорона праці
6. Фізичне виховання

Цикл загальної підготовки

1.2 Дисципліни природничо-наукової (фундаментальної) підготовки

1. Вища математика, в т.ч.
 - 1.1. Аналітична геометрія і лінійна алгебра
 - 1.2. Диференціальне та інтегральне числення
 - 1.3. Основи дискретної математики
 - 1.4. Теорія ймовірностей та математична статистика
2. Фізика, у т.ч.
 - 2.1. Механіка, молекулярна фізика і термодинаміка
 - 2.2. Електрика і магнетизм, оптика
 - 2.3. Атомна і ядерна фізика
3. Біофізика
4. Загальна хімія
5. Біохімія
6. Основи анатомії та фізіології людини
7. Екологія

1.2. Дисципліни вільного вибору студентів

1. Інтелектуальна власність / Цивільний захист
2. Маркетинг та менеджмент в біомедичній інженерії / Економіка та організація виробництва

1.3. Дисципліни за вибором вуза

1. Фізичний практикум
2. Біомедична термінологія та етика

2. Цикл професійної підготовки

2.1. Нормативні навчальні дисципліни

1. Вступ у спеціальність
2. Інформатика, в т.ч.:
 - 2.1. Архітектура комп'ютерів
 - 2.2. Алгоритмічні мови програмування
3. Інженерна і комп'ютерна графіка
4. Електроніка, в т.ч.:
 - 4.1. Основи теорії кіл та сигналів
 - 4.2. Електронні прилади (Елементна база сучасної електроніки)
 - 4.3. Аналогова схемотехніка

- 4.4. Цифрова схемотехніка
- 4.5. Мікропроцесорна техніка
з курсовим проектом
- 5. Біомедичні прилади, апарати і комплекси
- 5.1. Лабораторна аналітична техніка
- 5.2. Діагностична техніка
- 5.3. Лікувальна техніка
- 6. Біомеханіка
- 7. Основи метрології і стандартизації
- 8. Економіка і бізнес (Медикобіологічні дослідження)

Цикл практичної підготовки

- 1. Ознайомча практика (2 тижні)
- 2. Виробнича практика (4 тижні)
- 3. Виконання кваліфікаційної роботи із захистом

2.2 Дисципліни вільного вибору студента

- 1. Плазмозна і ультрафіолетова дезінфекція об'єктів БМІ
- 2. Математичне моделювання процесів і систем 2. Інструментальні методи медико-біологічних досліджень/ Матеріалознавство і біосумісні матеріали
- 3. Нанотехнології в біології та медицині / Системи медичної візуалізації
- 4. Фізичні методи очищення води / Основи теорії біотехнічних систем

Блок А

- 5. Системи променевої терапії / Контроль якості технологій діагностики та терапії
- 6. Моделювання біологічних процесів і систем / Нелінійна термодинаміка синергетика
- 7. Основи оптичної спектроскопії великих молекул / Комп'ютерне моделювання біосистем.
- 8. Фізика екосфери / Медичні кріотехнології
- 9. Магнітобіологія / Програмування мікроконтролерів

Блок Б

- 10. Об'єктно-орієнтоване проектування медичних програмних засобів / Прикладне програмне забезпечення в БМІ
- 11. Основи телемедицини / Засоби біомедичних вимірювань

12. Інструментальні засоби медичних інформаційних систем / Якість медичного програмного забезпечення та тестування

13. Обчислювальні методи в генетиці / Технічний захист інформації в БМІ

14. Експлуатація БМА / Методи та засоби автоматизації схемотехнічного проектування.

Детальна ідентифікація обсягів знань і вмінь студентів рівня підготовки «бакалавр» наведена в пункті «Додаток».

Контрольні запитання

- 1. Що в біомедичній інженерії відноситься до медичних виробів?*
- 2. Охарактеризуйте основні результати біомедичної інженерії, які були удостоєні Нобелівськими преміями.*
- 3. Якими на даний час є базові застосування біомедичної техніки?*
- 4. Що включає «БМІ», як міждисциплінарна область фундаментальної і прикладної науки? Якими є основні сфери застосування «БМІ»?*

ТЕМА–2. ІНАКТИВАЦІЯ І ДЕЗІНФЕКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ТА ПІД ДІЄЮ ОЗОНУ

Протягом тривалого часу для знезараження і дезінфекції води та поверхонь застосовувалися окислювальні технології із застосуванням хлору та інших хімічних сполук. Для повітря ці хімічні технології не застосовувалися, оскільки більшість хімічних дезінфектантів або отруйні, або роблять у край негативні впливи на здоров'я людей при їх вдиханні з повітрям. Багаторічні дослідження впливу хімічних дезінфектантів на здоров'я населення показують стійку кореляцію між захворюваннями органів дихання, травлення, запалень слизових оболонок і вмістом в атмосфері шкідливих хімічних реагентів. У 70-х роках минулого століття було також виявлено, що побічні продукти (галогенорганічні сполуки), які утворюються під час хлорування води, в питній воді становить небезпеку для здоров'я людей, а в стічних водах завдають серйозної шкоди екології водойм. При цьому, хлорування і інші окисні технології знезараження малоефективні по відношенню до вірусів.

Незважаючи на те, що історія знезараження води триває вже два століття, в даний час розвиваються нові методи і особливо активно фізичні методи, в тому числі удосконалюються відомі методи, наприклад, застосування ультрафіолетового (УФ) випромінювання чи озонування.

Знезараження повітря протягом тривалого часу проводилося, в основному, в лікувально-профілактичних установах і тільки останнім часом починає застосовуватися на транспорті, в торгових і офісних приміщеннях. У цій тенденції є об'єктивні причини. Повітряно-крапельні інфекції представляють одну з найгостріших проблем інфекційної безпеки. Поява нових небезпечних видів інфекцій, що передаються повітряно-крапельним шляхом, наявність загроз біотероризму, перевезення інфікованих пасажирів в містах з масовим скупченням людей, можливість перевезення за короткий термін інфекції на великі відстані, наприклад літаком, підвищують ризик поширення інфекційних захворювань. Це, в свою чергу, підвищує актуальність вдосконалення наявних методів знезараження повітря і створення нових. Знезараження повітря необхідно в місцях масового перебування людей: лікарні, громадський транспорт, вокзали, шкільні

установи, театри, закриті спорткомплекси та ін. Залишаються проблеми і з знезараженням в лікувальних установах. Від 5% до 10% пацієнтів, що надходять в сучасні стаціонари в розвинених країнах, отримують внутрішньо лікарняну інфекцію. При цьому, одним з основних факторів передачі лікарняної інфекції є повітря і різні поверхні.

Знезараження повітря закритих приміщень має свої особливості: складність або неможливість застосування хімічних дезінфектантів в присутності людей, швидке перемішування і перетікання повітря в різних приміщеннях, наявність в приміщеннях джерел інфікування (хворі люди) і можливість повторного інфікування повітря. Застосування з метою знезараження хімічних реагентів призводить до невиправданого зростання хімічного навантаження на людину. На відміну від промислових хімічних забруднень, дезінфектанти вносяться безпосередньо в середовище проживання людини і їх застосування жорстко обмежене нормативами на залишковий вміст засобів, які здійснюють стерилізацію.

У зв'язку з появою нових, раніше не використовуваних в повсякденній практиці методів знезараження, а також активною рекламою нових технологій і їх нових можливостей, перед споживачами виникає складний вибір між різними методами знезараження, особливо для знезараження в відповідальних місцях, наприклад, в лікарнях, операційних і післяопераційних палатах. Особливо складним це питання стає при виборі методів і обладнання для знезараження повітря, коли необхідно врахувати ефективність і надійність знезараження, розміри приміщення, тривалість обробки, простоту експлуатації, вартість обладнання, розміри і вага, і інші фактори.

1. Основні поняття і визначення.

Початок експериментальних досліджень впливу УФ-випромінювання на мікроорганізми і створення відповідних джерел випромінювання можна датувати 1892 роком, коли було запропоновано використовувати дугу Петрова для знезаражування залізничних вагонів. Ефективність методу виявилася незначною. Однак, у той же самий час професором А.М. Маклаковим було показано, що різні ділянки спектру роблять різну біологічну дію на віруси і мікроорганізми. Лише значно пізніше, у 1935-41 рр., вдалося надійно встановити, що знезаражуючі властивості випромінювання на

$\lambda = 253.7$ нм у 4000 разів вищі, ніж випромінювання на $\lambda = 365$ нм і приблизно в 10000 разів вище, ніж на $\lambda = 404.7$ нм.

Для позначення процесу знезараження **УФ**- випромінюванням застосовуються терміни «**дезінфекція**», «**стерилізація**» і «**інактивація**». **Стерилізація** (від лат. «sterilis» - безплідний) припускає фізичне знищення всіх патогенних і непатогенних мікроорганізмів, включаючи їхні спори. **Дезінфекція** розуміється не як результат дії, а як технологія, що знижує число патогенних бактерій, вірусів, найпростіших і спор за рахунок їх незворотної і повної інактивації так, що їхня концентрація істотно знижується. Слово «**інактивація**» вимагає окремого пояснення, позначаючи пригнічення активності системи. У термінах радіобіолога В.І. Корогодіна і біолога М. Ічаса, інактивована біосистема втрачає здатність до цілеспрямованого поведіння в звичних для неї умовах. Тому сутність фотохімічної інактивації буде полягати в тому, що під дією поглиненого кванта світла система втрачає здатність до відтворення генетичної програми, для якої вона була створена.

Термін «**інактивація**» може бути використаний стосовно як до клітини в цілому, так і до окремих її підсистем. Наприклад, будемо говорити, що фермент пепсин інактивований, якщо він не виконує своєї функції розщеплення білків рослинного і тваринного походження, чи просто руйнується на частини, які уже не підлягають збиранню та відновленню. Про бактерії або клітини можна сказати, що вони інактивовані, якщо вони тим чи іншим чином втратили здатність до розмноження.

При опроміненні бактеріальних культур завжди утворюються різні мутантні типи: деякі з них можна вважати цілком інактивованими, тому що в них зникла здатність до розмноження, а стосовно мутантів інших типів можна вести мову тільки про інактивацію деяких клітинних підсистем, але не системи в цілому. В останньому випадку, якщо неушкодженим залишився апарат, що відновлює порушення, то через якийсь час, система може знову стати життєздатною і навіть придбати стійкість до випромінювання.

Найбільш ефективною інактивуючою дією володіє УФ- випромінювання з довжинами хвиль 200-295 нм, тому даний діапазон спектру сьогодні називають **бактерицидним** («бактеріо» + лат. «цидо» (убиваю)). Однак, у рамках бактерицидного діапазону чутливість вірусів і кліток різного походження до дії УФ- випромінювання розрізняється дуже сильно. Так, для інактивації 90%

фага φ X174 потрібна у три рази менша доза опромінення, ніж для бактерій *Escherichia coli*.

Щоб характеризувати специфічність відгуку тієї чи іншої культури на УФ-опромінення, використовується *коефіцієнт супротиву*

$$R = -Et \lg(e) / \lg(n / n_0) = -D / \ln(n / n_0), \quad (1)$$

де E – енергетична освітленість, Вт/см²; t – час експозиції, з; n_0 – початкове число і n – число мікроорганізмів, які вижили після опромінення, D – доза чи енергетична експозиція, Дж/см². Зміст коефіцієнта R – кількість бактерицидної енергії (енергетична експозиція), необхідної для знезаражування середовища, прозорої для бактерицидних променів, до ступеня рівної 0.368 (значить $R = D_{37}$), чи, іншими словами, це доза, необхідна для скорочення чисельності життєздатних мікроорганізмів у e разів. Визначивши в такий спосіб чутливість деякої конкретної культури, ми далі можемо використовувати її як еталонну, стверджуючи, що для іншої культури чи більше або менше. Наприклад, коефіцієнт супротиву для *Bact. coli communis* складає 2.53 мДж/см², а для *Bact. subtilus* $R = 6.18$ мДж/см², тобто в 2.4 рази вище.

Традиційно дані про чутливість і, відповідно, *резистентності* (від лат. «resisto» – пручаюся) мікроорганізму до випромінювання знаходять експериментально, опромінюючи різними дозами D розчини або підкладки з заданою концентрацією мікроорганізмів n_0 . Потім будують криву:

$$n_0 / n = F(E, t) = F(D) \quad (2)$$

По її ходу можна судити про резистентність культури до УФ-випромінювання і провести порівняння способів інактивації даної конкретної культури різними методами. Якщо число мікроорганізмів в експериментах міняється в широких межах, наприклад n_0 досягає 10^7 , а $n \sim 10$ то зручніше користатися логарифмічним представленням:

$$\log(n_0 / n) = F(D), \quad (3)$$

де $\log(n_0/n)$ називають *ступенем знезараження*, який показує на скільки порядків змінилася концентрація життєздатних мікроорганізмів після опромінення.

Отже, виразами (1)–(3) можна користатися для оцінки ступеня інактивації мікроорганізмів та біомолекул, а також для порівняння бактерицидної дії різних джерел випромінювання. Але інформації про те, за рахунок яких порушень у мікроорганізмі досягається його УФ-інактивація ми не одержуємо. Відповідь на це питання у фотобіології дається оптичними методами, які ґрунтуються на побудові *спектрів дії випромінювання*.

Перш ніж визначити спектр дії випромінювання скажемо декілька слів про хід фотобіологічних процесів взагалі. Кожен фотобіологічний процес може бути умовно розбитий на наступні етапи: 1) поглинання кванта світла молекулою; 2) внутрімолекулярний перерозподіл поглиненої енергії (т.зв. фотофізичні процеси); 3) міжмолекулярний обмін енергією; 4) первинний фотохімічний акт; 5) темнові реакції з утворенням стабільних фотопродуктів; 6) біохімічні реакції з фотопродуктами; 7) підсумкові продукти.

Кожний з цих етапів характеризується *квантовим виходом* ϕ даного процесу. Для процесу фотохімічної інактивації молекули ϕ є відношенням числа виведених з ладу (у зазначеному вище змісті слова) молекул до числа поглинутих квантів. Зрозуміло, структурне ушкодження молекули може відбутися як на етапі 4), так і на наступних етапах.

З теорії зіткнень відомо, що будь-яку мішень, до якої рухається потік часток Φ (у нашому випадку це потік квантів світла) можна охарактеризувати поняттям *ефективного перерізу зіткнення* s , що має розмірність $[cm^2]$, і такий що:

$$\Phi \cdot s = n \cdot v \cdot s = f, \quad (4)$$

де n – концентрація, cm^{-3} ; v – швидкість часток, що налітають на мішень, cm/s , f – частота зіткнень з мішенню.

За *законом Ламберта-Бугера-Бера* всяку молекулу теж можна представити як мішень з деяким ефективним перерізом s , при влученні на яку відбувається поглинання кванта світла. Користаючись поняттям квантового виходу і представленнями теорії зіткнень у фотохімії ввели поняття *поперечного перерізу фотохімічної реакції*

$$\sigma = \varphi \cdot s . \quad (5)$$

Зрозуміло, що оскільки найчастіше $\varphi < 1$, $\sigma < s$. Оба перерізи однаково залежать від довжини хвилі λ випромінювання, яке падає, а сама залежність $\sigma(\lambda)$ називається *спектром дії фотохімічної реакції*.

Процедура знаходження форми спектру дії полягає у визначенні значень σ на різних довжинах хвиль. Розглянемо найпростіший випадок визначення σ процесу фотоінактивації ферменту, який розведений в розчині до концентрації n . Зробимо кілька спрощень, так нехай довжина шляху світла l у кюветі – 1 см, а площа, яка опромінюється, 1 см^2 . Тоді зменшення густини активного ферменту dn з розчину за час dt запишеться наступним чином:

$$dn = -\varphi(I - I_0)dt , \quad (6)$$

де I і I_0 – інтенсивності променів світла, що падають і проходять через розчин, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, і тоді $(I - I_0)$ – поглинене за 1 с на 1 см^2 число квантів. Інтегруючи вираз (6) з урахуванням закону Бугера-Ламберта-Бера, і, з огляду на те, що для розбавлених розчинів $snl < 0.1$, можна одержати, що

$$\ln(n_0 / n) = I_0 \cdot t \cdot s \cdot \varphi = D \cdot \sigma , \quad (7)$$

де D – доза опромінення, σ – поперечний переріз інактивації ферменту.

Тепер, якщо побудувати графік залежності $\ln(n_0/n) = f(D)$, то тангенс кута нахилу отриманої прямої дасть нам величину σ .

Оскільки φ не залежить від λ , а $\sigma = \varphi \cdot s$, то спектр дії виділеної речовини $\sigma(\lambda)$ за формою відповідає спектру його поглинання $s(\lambda)$. Тому, вимірявши (у розбавлених розчинах) за кривими, які характеризують дози випромінювання, спектр дії, можна визначати спектр поглинання речовини, що бере участь у процесі, не проводячи при цьому ніяких спектрофотометричних вимірів. Нехай у такий спосіб отримано спектр дії фотоінактивації деякого ферменту. Порівнявши його форму з формою спектрів поглинання *хромофорів*, які містяться в білку, можна за збігом форми виділити той хромофор, що відповідає за фотоінактивацію ферменту. У такий спосіб з'являється можливість ідентифікації підсистем клітин і бактерій, які відповідають за інактивацію.

Прогрес у фотобіологічних дослідженнях дозволив визначити найбільш типові порушення в структурі біологічних молекул, які відповідальні за фотоінактивацію. Це насамперед порушення в ядерному матеріалі клітин, а потім у біологічно важливих молекулах, амінокислотах і ліпідних оболонках:

2. Механізми дезінфекції біоб'єктів УФ випромінюванням

УФ випромінювання з бактерицидного діапазону 205-315 нм завжди справляє бактерицидну дію, яке полягає в поглинанні УФ фотонів молекулами ДНК всередині клітини, розривом зв'язків в молекулі ДНК і утворенням нових зв'язків, в результаті чого мікроорганізм втрачає здатність до відтворення. Крива ефективності бактерицидної дії УФ випромінювання в залежності від довжини хвилі добре узгоджується з кривою поглинання УФ випромінювання молекулами ДНК. Максимум цієї кривої знаходиться в області 265 нм, тому випромінювання ртутних ламп низького тиску з довжиною хвилі 254 нм має високу бактерицидну ефективністю. Число тих, що вижили мікроорганізмів N , падає за законом експоненти з ростом отриманої енергії (бактерицидної дози D), $N = N_0 \exp(-kD)$, де N_0 - число початкових мікроорганізмів, k - константа, що характеризує ступінь чутливості даного виду мікроорганізму до дії УФ опромінення. Величина УФ дози, необхідної для десятикратного зменшення, залежить від виду мікроорганізму і для багатьох бактерій і вірусів лежить в області 2-20 мДж/см². Для більшості практичних застосувань величина бактерицидної дози D визначається не піковим значенням інтенсивності випромінювання, а інтегралом бактерицидної опромінення $E(\lambda, t)$ за часом дії t :

$$D = \iint E(\lambda, t) S(\lambda) d\lambda dt, \quad (8)$$

де λ - довжина хвилі, $S(\lambda)$ - відносна бактерицидна ефективність в залежності від довжини хвилі. На рис. 1 показано приклад визначення бактерицидної ефективності імпульсної ксенонової лампи $S_\lambda I_\lambda$, а також наведені відносна спектральна крива бактерицидного дії S_λ і розподіл енергії випромінювання по спектру імпульсної ксенонової лампи в діапазоні 200-300 нм I_λ .

3. Імпульсний перегрів мікроорганізмів.

Питання про відмінності впливу імпульсного випромінювання в порівнянні з неперервним досліджувався в різних країнах світу (США, Німеччині, Японії, Канаді). Перші дослідження процесу дезінфекції потужними імпульсними лампами були виконані в Японії, а імпульсна технологія була запатентована в 1984 році. У ранніх працях зроблено припущення, що при потужному імпульсному впливі в процесі дезінфекції бере участь не тільки УФ випромінювання, але і видиме світло. Однак через 15 років було доведено, що в процес знезараження імпульсним випромінюванням основним є внесок УФ фотонів.

До теперішнього часу встановлено, що імпульсне випромінювання має бактерицидну дію і механізм його впливу на мікроорганізми залежить від пікової щільності потужності УФ випромінювання, причому для кожного виду мікроорганізмів існує своє значення порогової пікової потужності. Згідно з сучасними даними, механізм дезінфекції імпульсним випромінюванням має дві складові: одна з них – загальновідомий вплив бактерицидного УФ випромінювання, інша – руйнування мікроорганізму в результаті його перегрівання при поглинанні всього УФ випромінювання.

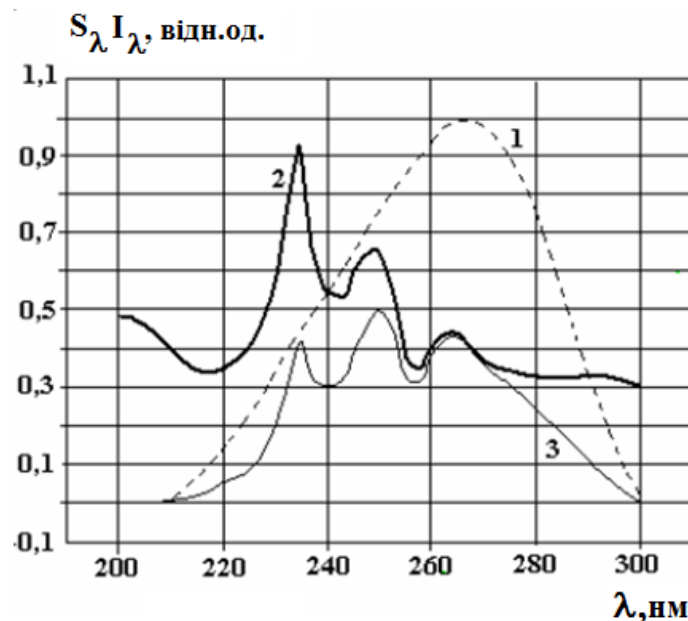


Рис. 1. Визначення бактерицидної ефективності імпульсної ксенонової лампи $S_{\lambda} I_{\lambda}$. 1 – відносна спектральна крива бактерицидної дії S_{λ} , 2 – розподіл енергії випромінювання по спектру імпульсної ксенонової лампи в діапазоні 200-300 нм I_{λ} , 3 – бактерицидна ефективність $S_{\lambda} I_{\lambda}$.

При піковій щільності потужності УФ випромінювання нижче порогової, знезараження визначається тільки УФ випромінюванням бактерицидного діапазону 205-315 нм, а ступінь знезараження залежить від інтегральної бактерицидної дози згідно формули (8).

При високій щільності імпульсного випромінювання, коли сумарна щільність потужності УФ випромінювання в спектральних діапазонах А, В, С (200-400 нм) вища за порогову, швидкість підведення променевої енергії перевищує швидкість скидання теплової енергії мікроорганізмом в навколишнє середовище, і відбувається перегрівання мікроорганізму, що і приводить до його дезінтеграції. Експериментально показано, що випромінювання у видимій області спектру не дає істотного внеску в нагрівання мікроорганізмів. Рівень необхідної щільності потужності залежить від термостійкості мікроорганізмів та їх навколишнього середовища. Для стабільної дезінтеграції необхідне нагрівання до температури більшої за 130°C, при якій відбуваються незворотні зміни, аж до закипання рідини всередині мікроорганізму і викиду її назовні. Приклад такого руйнування представлений на рис. 2 при опроміненні спор цвілі *Aspergillus Niger* двома імпульсами з піковою щільністю УФ випромінювання 33 кВт / см². Добре видно розірвана порожня оболонка цвілі. Згідно з розрахунками, для імпульсного нагрівання до таких температур бактерій *e-coli* необхідно отримувати пікову щільність потужності через опромінення оброблюваної поверхні в повітрі (10³ Вт / см²) і в воді (10⁴ Вт / см²) (рис. 3). Нагрівання починає позначатися вже при значеннях густини потужності 10² Вт / см² в повітрі і 10³ Вт / см² в воді, оскільки для багатьох мікроорганізмів нагрівання до температури 70°C є критичним. Перегрівання залежить від властивостей навколишнього середовища. Для води потужності випромінювання повинні бути вище, оскільки теплопередача від мікроорганізму в воді вище, ніж в повітрі.

Основний внесок в нагрівання мікроорганізмів дає УФ випромінювання, а не видиме чи інфрачервоне випромінювання. Це пов'язано з тим, що УФ випромінювання поглинається на меншій глибині, ніж видиме або інфрачервоне, а також з тим, що при розмірах мішені мікрон і менше на процеси розсіювання і поглинання фотонів впливає хвильова природа світла, довгохвильові фотони будуть більше розсіюватися і огинати мікрочастинок, ніж УФ фотони.

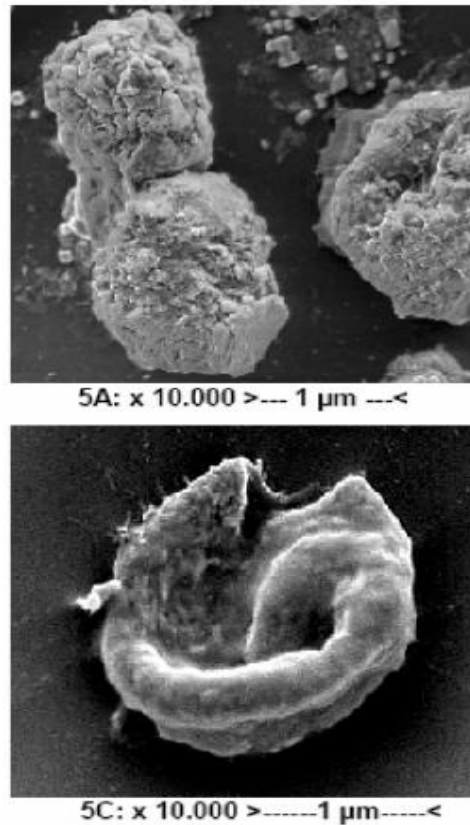


Рис. 2. Вплив імпульсного випромінювання на бактерію *Aspergillus Niger*. На світлинах вказано масштаб. 5A – вихідна бактерія. 5C – одиночна бактерія *Aspergillus Niger* після впливу двох імпульсів УФ-випромінювання з піковою потужністю 33 кВт/см^2 . Вершина бактерії розірвана перегрітою внутрішньоклітинною рідиною, яка вилетіла з бактерії назовні.

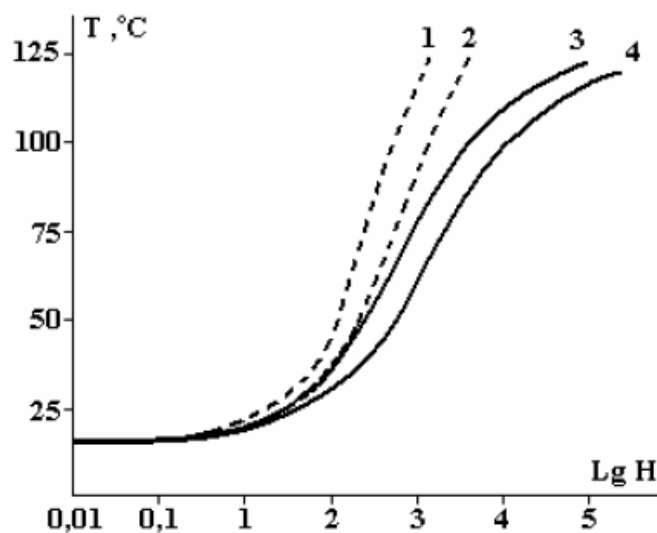


Рис. 3. Розраховані температури нагрівання для бактерії E-солі в залежності від пікової щільності потужності H (Вт/см^2) УФ випромінювання в повітрі (1, 2) і в воді (3,4) для імпульсів з тривалістю: 100 (1 і 3) і 1 мс (2 і 4).

Експериментально показано, що імпульсного перегріву і руйнування мікроорганізмів можна досягти і при використанні тільки м'якого УФ випромінювання з областей А і В (280-400 нм), якщо його інтенсивність вища порогової. Це дозволяє забезпечити дезінфекцію без застосування жорсткого бактерицидного УФ випромінювання з області С (200-280 нм).

4. Основні фізичні методи дезінфекції. Фільтрація

Найбільш раннім з фізичних методів є нагрівання, яке в даний час, в основному, використовується для дезінфекції та стерилізації медичних інструментів і обладнання спеціального призначення, наприклад, стерилізація космічних апаратів, що відправляються на інші планети. Обмеження методу пов'язані з термічною стійкістю оброблюваних зразків або з їх великими розмірами. Для цих же цілей застосовують і жорстке гамма-випромінювання, однак цей метод має ще більше обмежень. Для знезараження повітря і води на даний час використовують переважно відомі і випробувані методи: фільтрація, озонування та вплив ультрафіолетовим випромінюванням.

Чисте повітря – середовище, що не підтримує розмноження мікроорганізмів; це визначається відсутністю поживних речовин і недовгою вологою. Крім того, в повітрі більш виражено бактерицидну дію сонячних променів УФ-спектру. Життєздатність мікроорганізмів в повітрі забезпечують зважені частинки води, слизу, пилу і фрагментів ґрунту. В даний час загальноприйнятою є точка зору про те, що мікроорганізми в повітрі замкнених приміщень знаходяться в вигляді бактеріального аерозолі - колоїдної системи, що складається з газоподібного середовища (повітря), в якій знаходяться дрібні крапельки рідини або частки твердої речовини, з укладеним в них заразним матеріалом (віруси, мікроорганізми).

Бактеріальний аерозоль складається з трьох досить чітко розмежованих фаз, а саме: тверді частинки, крапельна фаза, що містить великі інфіковані краплі слини або слизу розміром більше 100 мкм, і крапельно-ядерна розміром меншим за 100 мкм. Основна кількість небезпечних мікроорганізмів надходить в повітря від людини, тварин і продуктів їх життєдіяльності. Патогенні мікроорганізми викидаються в повітря разом із середовищем, в якій вони знаходяться. Наприклад, при розмові виділяється до 800 часток на хвилину, при одноразовому чханні - в середньому 40000. Це справедливо і по відношенню до

патогенних мікроорганізмів, що потрапляють в повітря від хворих людей і інших бацилоносіїв.

При очищенні повітря в тій чи іншій мірі відбувається і його знезараження. Фізично видаляючи частинки з обсягу різними способами, наприклад, фільтруванням, або окислюючи хімічно шкідливі компоненти в обсязі і на поверхні, чи сорбуючи ті або інші домішки, ми завжди знижуємо і концентрацію мікроорганізмів в повітряній суміші. У цьому сенсі вентиляція є одним з методів очищення і знезараження повітря в приміщенні.

Знезараження повітря шляхом фільтрації дозволяє знизити концентрацію мікроорганізмів в приміщенні до прийняттого рівня. Це досить простий і ефективний метод для певних умов. Для видалення дрібних частинок пилу з повітря використовують два основні методи. Перший, це коли очищення здійснюється за допомогою розміщеного поперек потоку повітря волокнистого або пористого матеріалу (так звані механічні фільтри), і другий, коли захоплення частинок виробляється електричним полем з подальшим їх осадженням (електрофільтр). Наприклад, вискоефективний механічний фільтр (НЕРА-фільтр) призначений для уловлювання частинок з розмірами 2 мкм і менше. Фільтрувальне середовище такого фільтра виконана зі скляних волокон з діаметрами в діапазоні 0,1-10 мкм, причому відстань між волокнами, як правило, набагато більше розмірів частинок, що вловлюються.

Фільтр систем, наповнювачі та методи фільтрації безперервно вдосконалюються. Нові фільтри із застосуванням фільтрувальних полімерних волокон нанометрових розмірів здатні вловлювати пилові частинки і мікроорганізми з розмірами меншими за 1 мкм. Такі фільтри дорогі, мають невеликий ресурс, створюють великий опір повітряному потоку, однак дозволяють проводити тонку фільтрацію.

Електрофільтри широко використовуються для видалення пилу в технологічних процесах вже понад століття. В електрофільтрах заряджені мікрочастинки в електричному полі притягуються до електрода іншого знаку (осаджувальний електрод). Зарядка мікрочастинок може відбуватися як внаслідок тертя об повітря в електричному полі або за допомогою додаткового пристрою. Фільтри з електростатичним зарядом на самому фільтрі або на частинках мають низьку вартість, але і низьку ефективність. Двокаскадні електрофільтри містять каскад зарядки частинок, зазвичай за допомогою коронного розряду, і каскад осадження. Електроди в

каскаді осадження можуть бути у вигляді металевих пластин, розміщених паралельно потоку, причому електричне поле між пластинами направлено перпендикулярно потоку повітря. Заряджені частинки в електричному полі рухаються перпендикулярно повітряному потоку і осідають на пластинах. У міру накопичення пилу осаджувальні пластини слід чистити або струшувати з них пил.

В інших конструкціях каскад збору складається з декількох пористих електродів, на які подано напругу, між ними можуть бути розташовані пористі ізоляційні пластини, наприклад, зі спіненого поліуретану. Всі ці пластини розташовані поперек повітряного потоку і перекривають всі перетин. В цьому випадку захоплені мікрочастинки знаходяться в глибині пористих електродів або пористих діелектричних пластин, і, як правило, очищення таких пластин не передбачена, а виробляється їх заміна. Розташовані поперек потоку пористі пластини призводять до значного перепаду тиску, і як наслідок до збільшення потужності вентилятора.

5. Вплив ультрафіолетового випромінювання

Інактивація мікроорганізмів УФ-випромінюванням давно є загально визнаним фізичним методом з високою ефективністю. Для знезараження УФ-випромінюванням часто використовують відкриті опромінювачі, оскільки ефективність використання бактерицидного потоку ультрафіолетового випромінювання лампи в цьому випадку найбільш висока. В даний час для знезараження повітря і поверхонь спостерігається тенденція застосування все більш потужних УФ-опромінювачів, що забезпечують високі дози випромінювання за короткий час обробки. Поодинокі потужності таких систем становлять від сотень ватів до декількох кіловат.

Знезараження УФ-випромінюванням з використанням амальгамних і ртутних ламп низького тиску є екологічно безпечним, економічним і зручним в експлуатації методом, який поєднує в собі високу ефективність знезараження, відсутність шкідливого впливу на повітря, низькі експлуатаційні витрати, простоту експлуатації і компактність УФ-установок. Джерела УФ-випромінювання можна використовувати як для обробки повітря у всьому приміщенні, так і в закритих рециркуляторах. Обробка поверхонь УФ-випромінюванням також є ефективним способом, проте, на відміну від повітря, доза УФ-випромінювання може сильно залежати від виду і стану поверхні, оскільки мікроорганізми можуть бути захищені біологічними

складовими, наприклад, слизом, в результаті чого в більшості випадків необхідна доза енергії УФ-випромінювання може значно вирости.

Що стосується знезараження води, то за останні 20 років УФ-технологія досягла такого високого рівня, що практично завжди є основною. В даний час в усьому світі технологію хлорування питних і стічних вод міняють на технологію УФ-знезараження, а озонування в багатьох випадках є попередньою стадією перед етапом УФ-знезараження.

Останнім часом з'явилися пропозиції використовувати для знезараження імпульсні ксенонові лампи з піковою потужністю імпульсу випромінювання 5-10 МВт, в спектрі випромінювання яких міститься значна частка УФ-випромінювання. Оскільки пікова потужність імпульсу випромінювання ксенонової лампи може становити 3-10 МВт, то виникає природне запитання, чи є відмінності при бактерицидній обробці середовищ УФ-випромінюванням такої імпульсної лампи і звичайних ртутних ламп. Широкий спектр імпульсного розряду ставить також питання - чи впливає на процес знезараження імпульсне випромінювання видимого діапазону. До теперішнього часу встановлено, що імпульсне випромінювання має бактерицидну дію, і що механізм його дії на мікроорганізми залежить від пікової щільності потужності УФ-випромінювання, причому для кожного виду мікроорганізмів існує своє значення порогової пікової потужності.

Обробку імпульсним УФ-випромінюванням умовно можна розділити на два діапазони: 1) якщо опромінення набагато нижче порогового значення 1 кВт/см^2 , то це діапазон низького рівня опромінення, де працює тільки традиційний механізм руйнування молекул ДНК; 2) при опроміненні з густиною потужності вищою за $5-10 \text{ кВт/см}^2$, відбувається перегрів мікроорганізму і його термічне руйнування. Такі високі потужності опромінення можна створити імпульсними ксеноновими лампами на відстанях від оброблюваних поверхонь не більше за 10-50 см, тому воно вже застосовується для дезінфекції медичних препаратів, розчинів та інструментів, харчових продуктів, пакувальних матеріалів і різних поверхонь для харчової, медичної, парфумерної промисловості.

При зазначеному умовний розподіл, природно, є і проміжна область імпульсної опромінення. У цій області термічна деструкція не відбувається, однак, якщо потужність ще досить висока, то поглинання УФ-випромінювання зовнішніми мембранами протеїнових клітин в

підсумку може призводити до пошкодження біологічних мембран і порушення синтезу раз-особистих компонентів мембран і клітинної оболонки, а потім і до загибелі клітини. Крім руйнувань в ДНК і РНК, УФ-випромінювання також викликає фотохімічні реакції в білках, ферментах та інших молекулах всередині клітини. Поглинання білка має локальний максимум близько 270-280 нм, а при довжинах хвиль нижче 240 нм ефективний переріз поглинання білків зростає. Інші біологічні молекули з ненасиченими зв'язками можуть також бути сприйнятливими до УФ-впливу. Всі ці фактори сприяють підвищенню ефективності імпульсного УФ-випромінювання. Істотним недоліком застосування імпульсного випромінювання в цьому діапазоні імпульсної потужності є відсутність експериментальних даних, що дозволяють виявити механізми впливу і визначити критерії для їх реалізації, а також велика невизначеність ефективності впливу на мікроорганізми різних типів.

При імпульсній потужності в зоні знезараження нижче порогової, імпульсні джерела УФ-випромінювання можуть бути використані аналогічно звичайним бактерицидним лампам. В цьому випадку бактерицидна дія залежить від частки УФ-випромінювання бактерицидного діапазону з урахуванням бактерицидної ефективності.

Розглянемо порівняння ефективності знезараження установки з традиційними ртутними лампами низького тиску і обладнання з імпульсною ксеноновим лампою. В силу того, що споживана потужність і конструктивні особливості установок різні, вони тестувалися по заявленим паспортним параметрам: час опромінення і умови роботи. При однакових умовах була досліджена ефективність УФ-опромінювачів з імпульсною ксеноновим лампою і постійного УФ-С опромінення на відстані 122 см і часу впливу 10 хвилин. Досліджувалася інактивація бактерій *Clostridium difficile*, метицилін-стійких *Staphylococcus aureus* (MRSA), а також *Enterococcus* (VRE), нанесених на предметне скло, і оцінювався вплив концентрації патогенних мікроорганізмів, відстані від пристрою, додаткового органічного навантаження, а також ефективність знищення патогенів при захисті предметного скла від прямого джерела опромінення. Як виявилось, на предметних стеклах постійне УФ-С випромінювання дозволило досягти більшого зниження початкової кількості мікроорганізмів, ніж при використанні імпульсного випромінювання ксенонової лампи. Ефективність знезараження постійним УФ-С випромінюванням була вищою, ніж імпульсним випромінювачем: для

бактерії *Clostridium difficile* - в 3 рази, для MRSA - на порядок, для VRE - на 3 порядки. Аналіз цих результатів (в припущенні, що ККД генерації бактерицидного УФ-випромінювання ксенонової лампою становить 10-15%, що підтверджується численними дослідженнями і сертифікатами на ксенонові лампи, які випускаються світовими виробниками, а енергоспоживання установки з ртутною лампою орієнтовно вдвічі більше) призводить до висновку, що отримані відмінності в ефективності знезараження цілком пояснюються традиційним механізмом впливу УФ-випромінювання на ДНК.

Отже, в разі застосування імпульсного УФ-випромінювання для знезараження повітря і поверхонь в приміщеннях, за умов низьких рівнів опромінення на великих відстанях, у ксенонових ламп немає ніяких переваг у порівнянні з традиційними ртутними і амальгамного лампами низького тиску. Якщо ж за умовами експлуатації жорстко потрібно обладнання без ртуті, то імпульсне обладнання може забезпечити необхідну бактерицидну ефективність знезараження, проте його вартість висока при відносно низькому ресурсі. Остаточний вибір обладнання повинен визначатися конкретним завданням і економічною доцільністю.

Озонування

Озонування за своєю природою формально є хімічним методом, оскільки використовується сильний окислювач озон. Але через те, що озон є нестабільним з'єднанням, його необхідно синтезувати безпосередньо на об'єкті знезараження за допомогою електричного розряду. Тому такий метод також можна віднести до фізичних методів.

Озон є отруйною речовиною, тому озонування приміщень можливо тільки при відсутності людей, або такий метод застосовують в екстрених випадках, або при сильному зараженні повітря і поверхонь. На відміну від інших дезінфікуючих речовин, озон не утворює отруйних продуктів і швидко розкладається, тому при його застосуванні не потрібна додаткова обробка приміщення.

Застосування озонаторів для знезараження повітряного середовища і поверхонь дає непогані результати по мікробіології. Однак слід враховувати, що в цьому випадку необхідна концентрація озону багаторазово перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) в атмосферному повітрі ($0,03 \text{ мг/см}^3$). Це накладає додаткові обмеження на способи застосування такої обробки, до того ж наявність

надлишкового озону може привести до утворення в навколишньому середовищі формальдегідів.

Підсумовуючи вище сказане, одержимо, що на даний час для ефективного знезараження можна застосовувати ряд різних фізичних методів. Для знезараження води технологія УФ-опромінення поки є найбільш ефективною, безпечною і економічною.

Проблема знезараження повітря в місцях масового скупчення людей стає все більш актуальною, оскільки повітряно-крапельні інфекції можуть поширитися протягом декількох годин або діб в більшості розвинених країн пасажирами літаків і швидкісних поїздів. Внаслідок цієї загрози удосконалюються відомі методи знезараження повітря і з'являються нові. Найбільш ефективною є багатобар'єрних система очищення і знезараження повітря.

За останнє десятиліття значно підвищилася потужність і надійність бактерицидних амальгамних УФ-ламп низького тиску, тому метод знезараження повітря УФ-випромінюванням є надійним, простим і ефективним методом. Проблема забезпечення ефективного знезараження повітря приміщень за допомогою УФ випромінювання може бути вирішена двома шляхами:

- застосування припливно-витяжної вентиляції з бактерицидними УФ модулями в системі повітроводів, що забезпечують достатню і постійну подачу в приміщення очищеного і знезараженого повітря;
- обробка приміщення, до початку його функціонування, за допомогою відкритих УФ опромінювачів з подальшим використанням УФ рециркулятор достатньої продуктивності, які працюють в процесі всього часу перебування людей в приміщенні. Це забезпечить безперервний процес знезараження повітря.

Контрольні запитання

- 1. В чому полягають переваги знезараження повітря і води під діє УФ-випромінювання та озонуванням від знезараження хімічними дезінфекторами ?*
- 2. Охарактеризуйте терміни «дезінфекція», «стерилізація», «інактивація».*
- 3. Що характеризує коефіцієнт супротиву біологічних культур дії УФ-випромінювання ?*
- 4. Що називають ступенем знезараження біологічних культур?*
- 5. Охарактеризуйте терміни «спектр дії випромінювання»,*

«ефективний переріз зіткнення», «поперечний переріз фотохімічної реакції» та зв'язок між ними.

- 6. Яким є механізми дезинфекції біологічних об'єктів під дією неперервного та імпульсного УФ-випромінювання?*
- 7. В чому полягає сутність імпульсного перегрівання мікроорганізмів під дією інтенсивних потоків електромагнітного випромінювання ?*
- 8. Охарактеризуйте фільтрацію забрудненого повітря.*
- 9. В чому полягає сутність озонування води, повітря та забруднених поверхонь ?*

ТЕМА–3. УЛЬТРАФІОЛЕТОВІ ЛАМПИ І ОСВІТЛЮВАЧІ ДЛЯ ЗАСТОСУВАНЬ В БІОМЕДИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

Відомо, що ультрафіолетовий діапазон природнього сонячного світла, який знаходиться між довжинами хвиль 200-400 нм і складається з хвиль трьох основних діапазонів:

A (UVA) з довжиною хвилі 315-400 нм,

B (UVB) з довжиною хвилі 280-315 нм,

C (UVC) з довжиною хвилі 200-280 нм.

Світлові хвилі діапазону **C** викликають незворотні руйнування в клітинах живих організмів. Тому вони вважаються смертоносними. На щастя, озоновий шар планети практично повністю затримує ці хвилі.

1. Характеристики ультрафіолетових ламп на парах ртуті

Ультрафіолетова лампа – це штучне джерело ультрафіолетового випромінювання тобто електрична лампа, яка випромінює невидимі людському оку ультрафіолетові хвилі. За методом отримання ультрафіолетового випромінювання лампи можна розділити на два види: лампи низького тиску та лампи високого тиску. Їх назва визначає спосіб їх виготовлення і принцип їх роботи.

Основними чинниками, що визначають ефективність джерел УФ випромінювання, є: бактерицидна ефективність, бактерицидний потік лампи, ресурс роботи, падіння бактерицидного потоку до кінця терміну служби лампи, компактність і вартість блоку запуску та живлення, безпека і технологічність використання джерела бактерицидного випромінювання.

Застосування бактерицидних газорозрядних ламп, в яких основним випромінюють елементом є атом ртуті, обумовлено тим, що він має резонансний електронний перехід з довжиною хвилі випромінювання 253,7 нм, що близька до максимуму кривої бактерицидної чутливості. У ртутних і амальгамних лампах низького тиску ККД перетворення вкладеної в лампу електричної енергії у випромінювання на довжині хвилі 253,7 нм досягає 35-50%, що становить понад 90% всього УФ випромінювання. У цих джерелах тиск інертного газу становить 800-5000 Па, а тиск парів ртуті - 10-15 Па. Амальгамні лампи, завдяки триразово підвищеній погонній потужності УФ випромінювання в порівнянні з ртутними лампами низького тиску дозволяють ефективно вирішувати завдання

бактерицидної обробки повітря, води і поверхонь. Використання електронних компактних блоків живлення, які працюють на частоті 20-50 кГц, дозволило підвищити ККД системи лампа-блок живлення, збільшити термін служби лампи до 16000 годин і варіювати електричну потужність лампи в процесі її роботи. Високий бактерицидний ККД, зручність роботи з такими системами живлення, ресурс більший за 1000-16000 годин і відносна дешевизна призвели до широкого використання ртутних і амальгамних ламп низького тиску.

УФ-лампа низького тиску (закордонне назва "HD" (Hohe Drucken; рис.1) – електрична лампа ультрафіолетового діапазону, робота якої заснована на принципі тліючого розряду в газах*.

*Одним з основних типів газового розряду, що формується, як правило, при низькому тиску і малому струмі, є поєдовжній тліючий розряд. Головні чотири області розрядного простору, характерні для тліючого розряду, це: 1 – катодний темний простір; 2 – тліюче світіння; 3 – фарадеевий темний простір; 4 – позитивний стовп.



Рис.1. Вигляд ультрафіолетових ртутних ламп низького тиску, які серійно випускаються промисловістю.

Області 1-3 знаходяться поблизу катода і утворюють катодну частину розряду, в якій відбувається різке падіння потенціалу (катодного падіння), що пов'язана з великою концентрацією позитивних іонів на кордоні областей 1-2. В області 2 електрони, прискорені в області 1, спричинюють інтенсивну ударну іонізацію. Тліюче світіння плазми обумовлене рекомбінацією іонів і електронів в нейтральні атоми або молекули.

Лампа низького тиску являє собою подовжену скляну колбу, як правило, у вигляді циліндра, на кінцях якої знаходяться металеві або

пластмасові цоклі. Зовні вона нічим не відрізняється від звичайної люмінесцентної лампи денного світла. Лампа заповнена інертним газом і парами ртуті. Внутрішня поверхня ламп низького тиску покрита рівномірним шаром люмінофора. Охолодження таких ламп відбувається дуже швидко, і через 1-2 хвилини після виключення вони знову готові до роботи. У початковий момент (близько 30 годин) лампа працює з підвищеною до 7% віддачею потужності.

Спектр випромінювання ламп низького тиску знаходиться в області від 280 до 400 нм. Світіння одержується за рахунок тліючого розряду між двома електродами лампи. Діапазон споживаної потужності ламп низького тиску знаходиться в діапазоні 5-180 Вт.

Всередину лампи закачується інертний газ під невеликим тиском ($p = 50 - 150$ Па) і пари ртуті, які при кімнатній температурі можуть осідати дрібними крапельками ртуті в рідкому стані. Оскільки газ знаходиться під низьким тиском, то це і пояснює назву лампи.

Потужність ультрафіолетового випромінювання ламп становить, як правило, близько 20% від споживаної ними електричної потужності.

Основні частини лампи низького тиску: кварцова скляна трубка, металеві або цоклі з штирковими роз'ємами, молібденові струмопровідні нитки і шар люмінофора.

Фізика роботи лампи низького тиску. Для запуску лампи потрібен "імпульс запалювання". Він одержується шляхом створення на протилежних електродах імпульсної напруги пробою. Для цього використовується пристрій запуску – стартер. Стартери виробляються різних номіналів і призначені для використання тільки з тими лампами, для яких вони призначені.

Після пробою в лампі виникає тліючий розряд (для обмеження струму, що протікає в ланцюзі живлення лампи включені дроселі). При неправильно обраних параметрах ланцюга живлення (невідповідність напруги і сили струму рекомендованим номіналам), може статися вихід з ладу всієї системи з перегоранням лампи, стартерів і дроселів.

Після запалювання тліючого розряду температура всередині лампи дещо підвищується. Це приводить до того, що ртуть, яка перебуває при кімнатній температурі в рідкому стані, починає випаровуватися. При повному випаровуванні ртуті всередині колби лампи створюється оптимальна концентрація парів ртуті. Час випаровування ртуті може тривати до 3 хвилин. Тільки після цього лампа починає працювати з повною світловою віддачею.

Процес отримання ультрафіолетового випромінювання в лампі низького тиску. Електрони, що летять від одного електрода до іншого, на своєму шляху стикаються з атомами ртуті, і, віддаючи їм свою енергію, переводять електрон атома ртуті в збуджений стан. Оскільки час знаходження електрона в збудженому стані малий, то він повертається назад в основний стан з випромінюванням фотона світла короткої довжини хвилі. Одержаний фотон поглинається люмінофором, і вже атом люмінофора випромінює заявлене в характеристиках лампи ультрафіолетове випромінювання. Таким чином, в роботі лампи тліючого розряду істотну роль грає хімічний склад і кількість нанесеного люмінофора.

Лампи на парах ртуті з накачуванням дуговим розрядом при високому тиску парів ртуті ($p=103-105$ Па) мають більш низький ККД в області бактерицидного УФ випромінювання – 15%, а з урахуванням кривої бактеріальної ефективності це значення знижується до 10-11%. Практично всі бактерицидні ртутні лампи високого тиску, що серійно випускаються промисловістю, випромінюють УФ випромінювання з довжиною хвилі меншою 200 нм, що приводить до напрацювання високотоксичного озону. Ртутні лампи низького тиску виготовляють в основному з боросилікатного скла або спеціальних сортів кварцу, які не пропускають короткохвильове випромінювання і виключають напрацювання озону, що вигідно відрізняє їх від озonoутворюючих ламп.

УФ-лампа високого тиску (Закордонне назва "ND" (Nieder Drucken) – електрична лампа ультрафіолетового діапазону робота, якої заснована на принципі дугового розряду в газах *.

*При збільшенні розрядного струму звичайний тліючий розряд стає аномальним і починається стягування (контрагування) його позитивного стовпа. Стовп відривається від стінок посудини, в ньому починає відбуватися додатковий процес втрати заряджених частинок (рекомбінація в об'ємі). Передумовою цього є висока густина заряджених частинок. При подальшому підвищенні розрядного струму газ нагрівається настільки, що стає можливою його термічна іонізація. Зіткнення між атомами або молекулами в цьому випадку настільки сильні, що відбувається відрив електронів від атома. Такий розряд називається дуговим. Із зростанням струму електропровідність стовпа плазми підвищується, вольт-амперна характеристика дугового розряду має падаючий характер. Слід зазначити, що хоча дуговий розряд може «горіти» в широкому діапазоні тисків газу та інших умов, але в

більшості випадків він спостерігається при тиску порядку атмосферного.

У розрядну колбу лами високого тиску закачані інертний газ і ртуть під великим тиском. Тут використовується метод отримання ультрафіолетового випромінювання за допомогою дугового розряду. При дуговому розряді відбувається сильне нагрівання лампи, тому час на її охолодження більший, ніж у ламп низького тиску (від 3 до 5 хвилин).

Лампа випромінює потужне ультрафіолетове випромінювання як в діапазоні А, так і в діапазоні В і у шкідливому для всього живого, діапазоні С. Використання таких ламп з зіпсованими або розбитими фільтрами категорично забороняється через можливе завдання шкоди для здоров'я персоналу. Для отримання потрібної спектральної густини випромінювання до складу газу, що наповнює лампу, вводяться спеціальні добавки (пари ртуті, заліза, галію і т.д.). Потужність ультрафіолетового випромінювання таких ламп може становити від 90 -1500 W.

Цей тип ламп має високу світлову віддачу. Сучасні лампи можуть проводитися із загальною споживаною електричною потужністю до 10000 Вт. Спектр випромінювання розташований в області від 100 нм до 380 нм.

Конструкція лампи складається з: скляного корпусу, електродів, керамічних цоколів і молібденової майданчика.

Фізика роботи ламп високого тиску. Для запуску лампи потрібно "імпульс запалювання". Він з'являється шляхом створення на протилежних електродах імпульсної напруги пробою. Для цього використовується пристрій запуску – помножувач напруги.

Після пробою в лампі виникає дуговий розряд (для обмеження струму, що протікає в ланцюзі живлення лампи включені дроселі). При неправильно обраних параметрах живильного ланцюга може статися вихід з ладу всієї системи.

Після виникнення дугового розряду температура всередині лампи підвищується. Це приводить до того, що ртуть, яка перебуває при кімнатній температурі в рідкому стані, починає випаровуватися. При повному випаровуванні ртуті всередині колби лампи створюється оптимальна концентрація її парів. Температура всередині колби піднімається ще вище, і додаткові присадки металів, що знаходяться в ній, переходять в газоподібну форму. Даний процес називається *фазою розбігу лампи*.

Процес отримання ультрафіолетового випромінювання в лампі. Електрони, які летять від одного до іншого електрода, на своєму шляху стикаються з атомами ртуті і, віддаючи їм свою енергію, переводять електрон атома ртуті на збуджений енергетичний рівень. Так як час знаходження електрона в збудженому стані невеликий (близько 10 нс), то він повертається назад в основний стан з випромінюванням фотона світла. Таким чином, в лампі створюється ультрафіолетове випромінювання в діапазоні від 100 до 380 нм.

За рахунок додавання в газову суміш різних присадок виробники можуть змінювати спектральну щільність вихідного випромінювання. Проходячи через скло колби, випромінювання лампи проходить первинну фільтрацію і має в своєму спектральному складі тільки ультрафіолетове випромінювання діапазону А і В. Причому співвідношення потужності випромінювання діапазону А до В становить приблизно 4: 1. Без застосування спеціальних додаткових фільтрів використовувати це випромінювання неприпустимо.

Як правило, більшість ламп низького тиску випускаються з терміном служби 600-800 годин. Термін служби лампи визначається інтервалом часу від початку експлуатації до досягнення лампою 30 відсоткової втрати потужності ультрафіолетового випромінювання.

Зміна ламп повинна бути проведена при значеннях її параметрів на 30% менших від тих, які зазначені в заводській специфікації. При правильній експлуатації лампи це значення досягається через 500-800 годин роботи лампи. Ці цифри позначають термін служби ламп, і обов'язково повинні вказуватися виробником ламп.

Основні поняття і характеристики ультрафіолетових ламп.
Потужність ультрафіолетової лампи. Саме про цю потужності йдеться, коли говорять про потужність лампи. Потужність лампи – електрична потужність, що витрачається на отримання в лампі заданого рівня ультрафіолетового випромінювання. Це визначення зустрічається в технічних характеристиках лампи, коли заходить мова про загальну споживану потужність. Також це визначення застосовується як обов'язковий елемент в маркуванні ультрафіолетових ламп. Одиниця виміру – Ватт (Вт.).

Рідше можна зустріти поняття «Потужність ультрафіолетового випромінювання лампи». Це, власне і є сумарна потужність випромінювання у всьому діапазоні ультрафіолетового випромінювання (UVA + UVB + UVC). Одиниця виміру також Ватт

(Вт.). Потужність ультрафіолетового випромінювання для сучасних ламп підсумовується з двох складових:

- спектральна щільність ультрафіолетового випромінювання – потужність ультрафіолетового випромінювання лампи в інтервалі довжини хвилі одиничної ширини;

- потік ультрафіолетового випромінювання – кількість енергії ультрафіолетового випромінювання, падаюче на одиницю поверхні. Одиниця виміру – Вт/см².

Термін експлуатації (служби) ультрафіолетових ламп. Термін експлуатації лампи – інтервал часу від моменту початку експлуатації лампи до моменту досягнення лампою 30 відсоткової втрати потужності ультрафіолетового випромінювання. Слід враховувати, що в початковий момент (до 30 перших годин роботи), лампа працює з підвищеною – іноді до 15% - світловою віддачею. Застарілі моделі ламп мали стандартний термін експлуатації 500 годину. Сучасні розробки і технології дозволили виробляти якісніші лампи з терміном експлуатації до 800 і більше годин.

Коефіцієнт UVB / UVA. Коефіцієнт випромінювання діапазону В- виражене у відсотках відношення потужності ультрафіолетового випромінювання діапазону В до загальної потужності всього ультрафіолетового випромінювання. Оскільки в сучасних ультрафіолетових лампах С-випромінювання повністю відсутнє, то, коли мова йде про ультрафіолетові лампи, під коефіцієнтів випромінювання діапазону В слід розуміти виражене у відсотках відношення потужності ультрафіолетового випромінювання В до потужності ультрафіолетового випромінювання всієї лампи. Одиниця виміру - відсотки (%). Наприклад, якщо коефіцієнт лампи UVB / UVA, % дорівнює 2,3, то кількість ультрафіолетових променів діапазону В від загальної кількості ультрафіолетових променів, випромінюваних лампою становить 2,3%. Решта 97,7% припадають на ультрафіолетові промені діапазону А і т.д.

Доза ультрафіолетового випромінювання. Доза ультрафіолетового випромінювання – кількість енергії ультрафіолетового випромінювання, що падає на одиницю поверхні за одиницю часу. Одиниця виміру – Вт·с/см². Саме цю величину і вимірюють компактні переносні вимірювачі, які використовуються для вимірів встановлених ламп. Коли доза ультрафіолетового випромінювання знижується на 30% від заводської, слід говорити про закінчення терміну служби лампи.

2. Імпульсні газорозрядні ксенонові лампи

Основними перевагами імпульсних газорозрядних ксенонових ламп є велика пікова потужність в імпульсі, яка досягає 5-50 МВт при тривалості імпульсу 1-200 мкс і безртутне робоче середовище. Спочатку ксенонові лампи були розроблені для накачування твердотільних лазерів, а потім стали застосовуватися і для знезараження води, повітря та різних поверхонь. Спектральний склад випромінювання залежить від густини розрядного струму (рис.2) і схеми включення лампи. На діапазон довжин хвиль від 200 до 300 нм припадає 25-30% усього випромінювання в діапазоні 100-1100 нм і 40% на весь УФ діапазон. Відповідно, їх бактерицидна ефективність складає 10-13% від сумарного випромінювання лампи. Ці результати узгоджуються з даними для ксенонових ламп типу ІФП-7/120 і ІФП-8000. З урахуванням втрат на пропускання колби лампи і теплових втрат бактерицидна ефективність складе ~ 10% від вкладеної в лампу електричної енергії. Широкий спектр випромінювання імпульсних ксенонових ламп скоріше недолік, ніж перевага, оскільки його короткохвильова частина може призводити до небажаного утворення озону, до побічних хімічних реакцій і напрацювання шкідливих для людини з'єднань. Для зменшення інтенсивності випромінювання в короткохвильовій області спектра зменшують густину струму в лампі, пікова потужність випромінювання при цьому теж зменшується. Також використовують додаткові захисні плівки або спеціальні сорти кварцу. Але це значно збільшує вартість ламп і зменшує ресурс через поглинання УФ випромінювання кварцової колбою.

Термін служби імпульсних ксенонових ламп визначається числом спалахів, які може забезпечити лампа. Чим вище енергія імпульсу, тим менше число спрацьовувань лампи, яке варіюється від 10^3 до 10^8 імпульсів. Середня потужність лампи регулюється зміною частоти проходження імпульсів. При частоті спалахів 30 Гц і ресурсі 10^8 імпульсів отримуємо час безперервної роботи лампи менше 1000 годин. При практичному застосуванні імпульсних ламп падіння УФ випромінювання до кінця терміну служби складає 25-50%.

Для запалювання імпульсних ксенонових ламп використовують дві основні електричні схеми, в яких в якості накопичувача енергії служать імпульсні конденсатори. В одній схемі імпульсна лампа постійно підключена до конденсатора і до лампи постійно подається робоча висока напруга 1-5 кВ. Для отримання розряду на лампу від

спеціальної схеми подається високовольтний імпульс амплітудою 10-30 кВ, який ініціює електричний пробій. В іншій схемі між накопичувальним конденсатором і лампою знаходиться високовольтний ключ, наприклад іскровий розрядник або тиратрон. Використання комутатора збільшує вартість імпульсного джерела живлення і зменшує його ресурс.

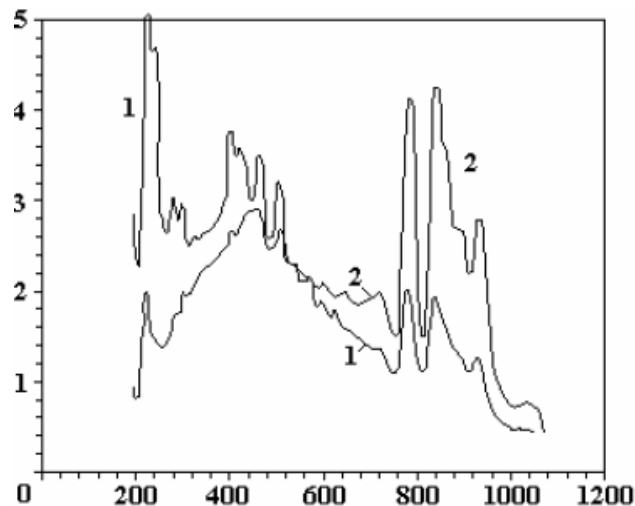


Рис.2 Спектр випромінювання імпульсної ксенонової лампи при густині струму 6,5 (1) і 1 кА/см² (2).

Таким чином, імпульсні джерела УФ випромінювання характеризуються високою (до 50 МВт) піковою потужністю, бактерицидною ефективністю УФ випромінювання близькою до 10%, терміном служби близьким до 1 000 год і громіздким високовольтним джерелом живлення. Лампи з високим питомим навантаженням, такі як ртутні лампи високого тиску і імпульсні ксенонові лампи, вимагають інтенсивного тепловідведення, що робить конструкцію обладнання на їх основі більш складною порівняно до обладнання з ртутними або амальгамними лампами низького тиску.

Таблиця 1. Параметри ртутних і імпульсних ксенонових ламп для бактерицидної обробки.

Параметри	Ртутна лампа низького тиску	Ртутна лампа високого тиску	Амальгамна лампа	Імпульсна ксенонова лампа
Кількість металевої ртуті в лампі	3-10	100-300 і більше	0,00003 в парах	Немає

Продовження табл. 1

ККД бактерицидного випромінювання (з урахуванням кривої бактерологічної ефективності), %	30-40	8-11	30-40	8-10
Ресурс лампи, тис. годин	12-16	3-5	12-16	1 (при частоті 30 Гц)
Ресурс джерела живлення,	50	50	50	1-5
Маса джерела живлення, кг	0,2	5-10	0,5	5-30
Вартість джерела живлен-	5-10	200-400	50-100	5000-10000
Гарантоване знезараження повітря в приміщеннях або потоків води і повітря	Так	Так	Так	Частота повторення імпульсів повинна бути досить високою. При низькій частоті імпульсів деякі обсяги не отримують необхідну дозу УФ-випромінювання.
Можливість використання механізму стерилізації	Немає	Немає	Немає	Дозволяє стерилізувати мікроорганізми, які стійкі до УФ випромінювання, стерилізувати розчини і предмети всередині упаковок
Напрацювання озону та інших побічних речовин	Немає	Є	Немає	Є
Простота експлуатації	+	+	+	- Потрібен висококваліфікований персонал

Продовження табл. 1

Безпека експлуатації	+	- Напрацьовується озон	+	- Висока напруга (5-15 кВ) Напрацьовується озон
Експлуатаційні витрати	Низькі	Низькі	Низькі	Високі
Наявність нормативної бази	Є	Є	Є	Немає

3. Ультрафіолетові бактерицидні опромінювачі

Для використання ультрафіолетового бактерицидного випромінювання на практиці з метою знезараження повітря застосовуються різного типу бактерицидні опромінювачі.

Ультрафіолетовий бактерицидний опромінювач це електротехнічний пристрій, який містить бактерицидну лампу, відбивач, пускорегулюючу апаратуру, конденсатори для підвищення коефіцієнта потужності мережі та придушення радіоперешкод, лічильник часу роботи бактерицидних ламп, а також допоміжні елементи кріплення лампи і пристосування для його установки. Основне призначення опромінювача – забезпечити зниження мікробного зараження повітряного середовища шляхом впливу на мікроорганізми ультрафіолетовим випромінюванням.

Опромінювачі діляться на дві групи: *відкриті* і *закриті*. У відкритих опромінювачів прямий бактерицидний потік від ламп і відбивача (або без нього) охоплює широку зону в просторі аж до тілесного кута 4 радіан. Вони призначені для знезараження приміщень тільки у відсутності людей. Закриті опромінювачі призначені для знезараження приміщень як в присутності, так і у відсутності людей.

Закритий опромінювач-рециркулятор знезаражує дією ультрафіолетового бактерицидного випромінювання не весь об'єм приміщення, а тільки його невелику частину, укладену в камеру, в якій встановлені бактерицидні лампи і вентилятор. Знезараження повітря здійснюється в процесі його прокачування через вентиляційні отвори камери. Цей процес триває безперервно і може забезпечити багаторазовий рециркуляційний обмін повітря і його знезараження в

приміщенні в присутності людей. Конструкція камери повністю виключає вихід випромінювання в простір.

На рис.3-5 наведені світлини деяких сучасних бактерицидних опромінювачів.

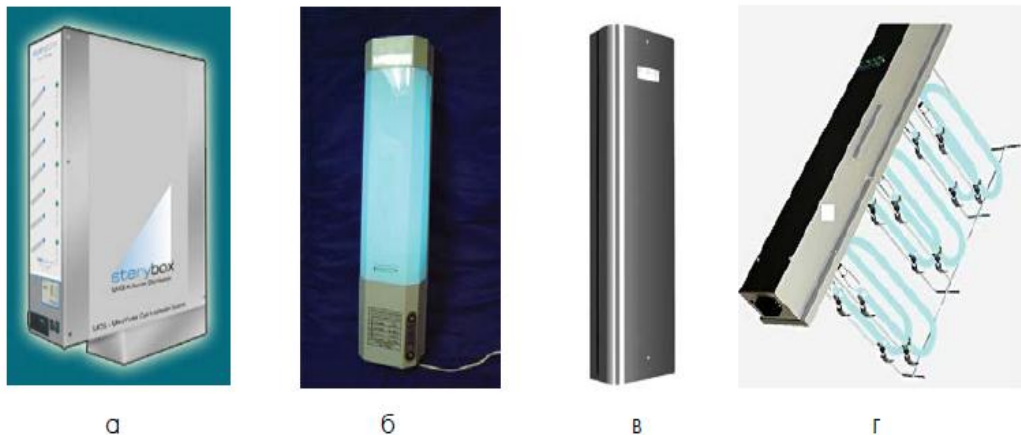


Рис.3. Приклади закритих УФ-опромінювачів (рециркуляторів):

а) Sterybox Tissimedica (США). Продуктивність 20-50 м³/год – п'ять ртутних ламп по 25 Вт;

б) Ферропласт (Росія). Продуктивність 90 м³/год – дві ртутні лампи по 30 Вт;

в) АЕРО-ЛІТ-200НВО «ЛІТ» (Росія); продуктивність 200 м³/год – одна амальгамна лампа 170 Вт;

г) бактерицидні осередки, НВО «ЛІТ» (Росія). призначені для вбудовування в систему вентиляції для знезараження потоків повітря продуктивністю до 3000 м³/год (три амальгамні лампи).

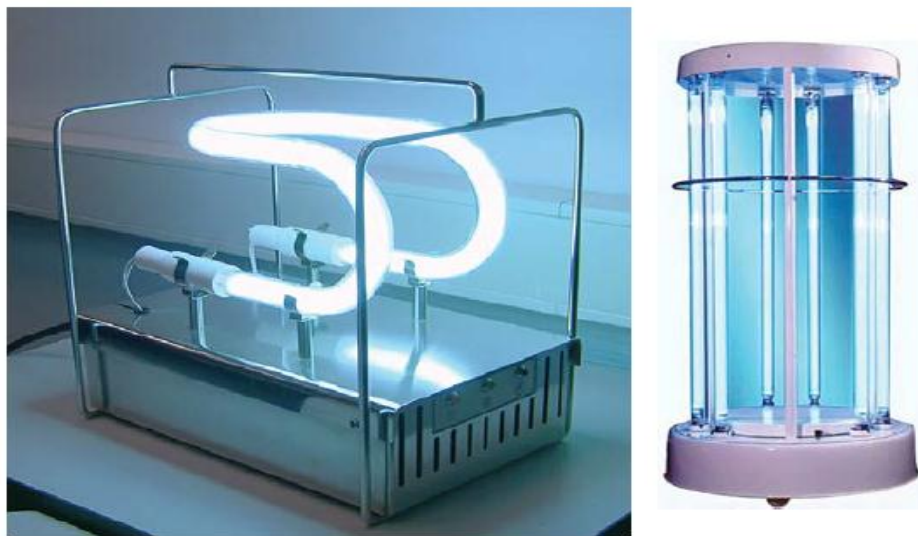


Рис.4. Приклади реалізації відкритих бактерицидних УФ-опромінювачів.



Рис.5. Приклад комбінованого пристрою (рециркулятора), що об'єднує УФ-рециркулятор з комбінованим фільтром.

4. Ексімерні (ексиплексних) газорозрядні лампи та лампи на радикалах гідроксилу

Першими прототипами ексиламп були системи на основі наносекундного бар'єрного розряду та мікророзряду змінного струму через діелектричну плівку, які були реалізовані в Проблемній науково-дослідній лабораторії фізичної електроніки при кафедрі квантової електроніки Ужгородського університету, Вони були розроблені досліджені ще в 1978 році.

Ексилампи є підкласом розрядних ламп, випромінюючих за рахунок розпаду ексімерних молекул [ексімерів – від англ. excited dimer (excimer) – збуджений димер, якщо мова йде про молекулу, що складається з однакових атомів, наприклад Ar_2^*] або ексиплексних молекул [ексиплексів – від англ. excited complex (exciplex) – збуджений комплекс, якщо мова йде про гетероядерні молекули, наприклад XeF^*]. Особливістю цих молекул є їх стійкість в електронно-збудженому стані і відсутність міцного зв'язку (нестійкість) в основному. Час життя такої молекули в збудженому стані обмежений і складає для різних ексиплексних молекул від 10^{-9} до 10^{-7} с. Спонтанний розпад молекули на окремі атоми супроводжується випромінюванням характерного для даного комплексу кванта світла.

Ексилампи випромінюють в УФ і ВУФ областях спектра. Як правило, до 80% від загального світлового потоку зосереджена у вузькій смузі, що має ширину не більше декількох нанометрів, що і відрізняє ексилампи від інших газорозрядних джерел випромінювання. Вибором робочої молекули і тиску робочої суміші можна забезпечити переважне опромінення в заданому діапазоні довжин хвиль. Нижче наведені довжини хвиль, на яких випромінювання ексимерних і ексиплексних молекул максимально:

На рис.6. і 7 представлені характерні спектри ексиламп і лампи на радикалах ОН, які накачувались ємнісним розрядом на різних газових сумішах. Робочі параметри ексиламп ємнісного розряду, використані в експериментах, наведені нижче:

	XeCl- ексилампа	KrCl- ексилампа	XeBr- ексилампа
Довжина хвилі λ ($B \rightarrow X$ перехід), нм	308	222	283
Півширина смуги випромінювання $B \rightarrow X$, нм	7	5	5
Густина потужності УФ випромінювання, мВт/см ²	До 10	До 20	До 10

Ексимери		Ексиплекси	
Молекула	λ , нм	Молекула	λ , нм
Ar ₂ *	129	ArF*	193
Kr ₂ *	147	ArCl	175
Xe ₂	172	ArBr*	165
F ₂ *	158	KrF*	248
Cl ₂ *	258	KrCl*	222
Br ₂ *	290	KrBr*	207
I ₂ *	343	KrI*	190
		XeF*	351
		XeCl*	308
		XeBr*	282
		XeI*	253

Перевагами ексиламп є: велика енергія фотона (3,5-10 еВ), вузька смуга випромінювання, відносно висока питома потужність випромінювання, можливість масштабування і вибору довільної геометрії поверхні, що випромінює, відсутність ртуті в колбі, відносно слабкий розігрів колби ексиламп, швидкий вихід (за кілька секунд) на робочий режим.

Конструкція ексилампи з накачуванням наносекундним бар'єрним розрядом та спектри випромінювання такого випромінювача наведені на рис.7 і 8.

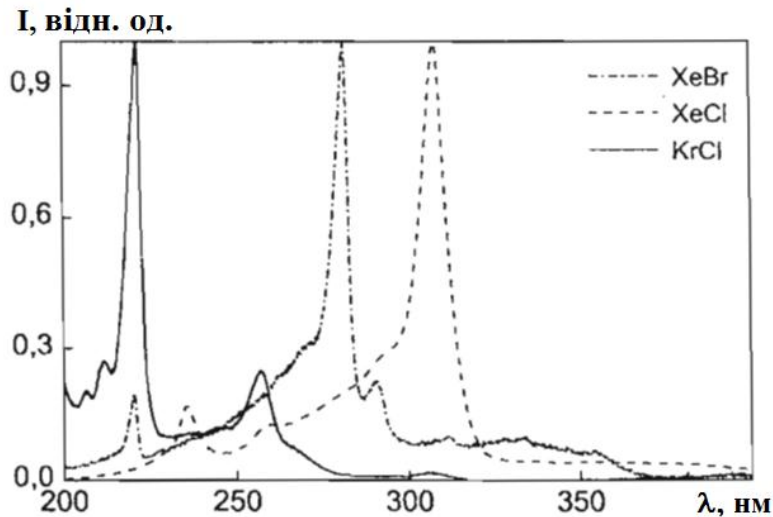


Рис.6. Спектри випромінювання ексиламп ємнісного розряду на різних робочих молекулах.

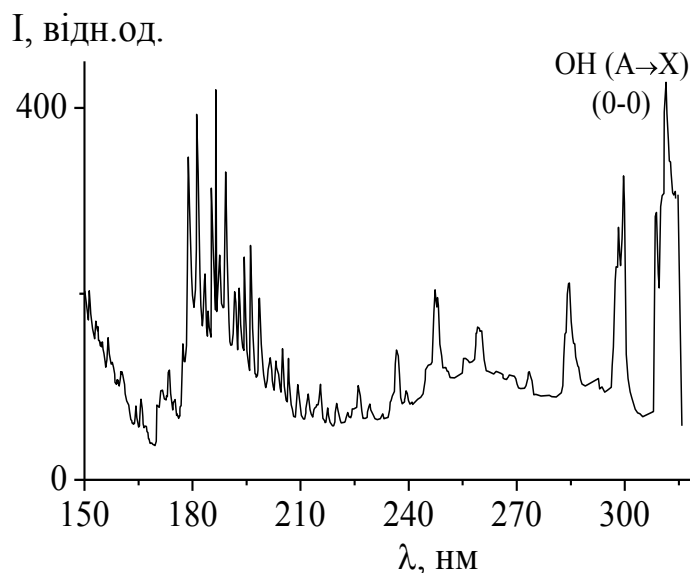


Рис.7. Спектр випромінювання імпульсно-періодичної УФ-ВУФ лампи на газовій суміші: $p(\text{Ar})/p(\text{H}_2\text{O}) = 1.0 / 0,13$ кПа.

Використання ексиламп розширює можливості селективного впливу на фотохімічні і фотофізичні системи, де традиційно використовувалися ртутні лампи або ексимерні лазери. Імпульсні ексимерні лазери, дозволяють транспортувати випромінювання з мінімальними втратами в потрібну область фотохімічного реактора і так само, як і ексилампи, селективно збуджувати деякі електронні стани досліджуваних сполук.

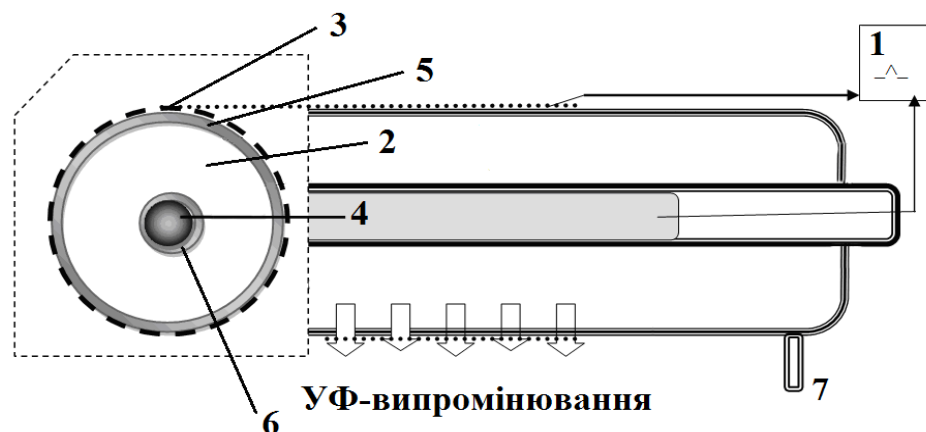


Рис.8. Конструкція лампи з наносекундним бар'єрним розрядом: 1 – генератор імпульсів високої напруги; 2 – розрядний проміжок; 3– зовнішній електрод у вигляді спіралі з нікелевого дроту; 4 – внутрішній електрод у вигляді суцільного циліндру з алюмінію; 5 і 6 – дві коаксіальні кварцові трубки марки КУ-1; 7 – патрубок для напуску робочої газової суміші.

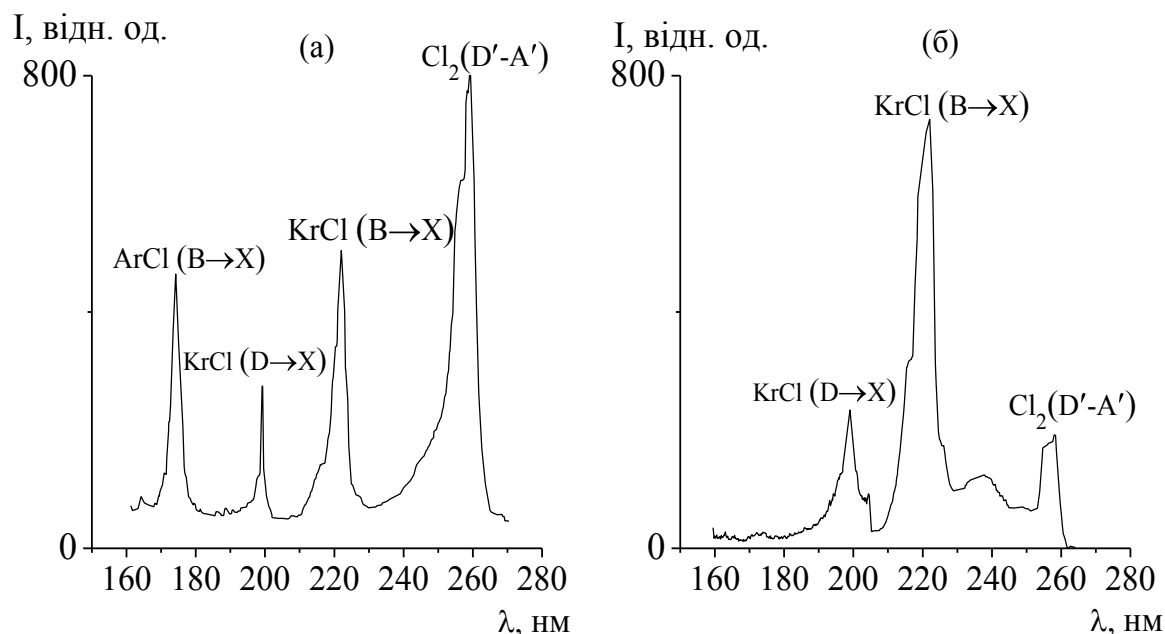


Рис.9. Спектри випромінювання лампи наносекундного бар'єрного розряду в сумішах Ar-Kr-CCl₄: 1.33 - 6.6 - 0.13 кПа (а) і 6.6-6.6-0.13 кПа (б) при частоті $f = 80$ Гц.

Однак лазери мають і недоліки, до яких відноситься їх складність, що веде до великих експлуатаційних витрат і вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Таким чином, за сукупністю своїх властивостей ексилампи є потенційно перспективною системою, яка могла б бути використана для вирішення різних завдань аналітичної хімії, фотобіології і фотомедицини.

Контрольні запитання

1. *Охарактеризуйте будову, принцип роботи і вихідні характеристики ртутних ламп низького тиску.*
2. *Якими є характеристики і механізм випромінювання ртутних ламп високого тиску?*
3. *Якими характеристиками і параметрами УФ-газорозрядних ламп оперують в світлотехніці?*
4. *Наведіть принцип дії і вихідні характеристики імпульсних ксенонових ламп. В чому полягають їх переваги та недоліки в порівнянні з ртутними лампами?*
5. *Охарактеризуйте вихідні характеристики і області застосування ультрафіолетових бактерицидних випромінювачів.*
6. *В чому полягає принцип роботи і якими є вихідні характеристики ексиплексних газорозрядних ламп?*
7. *Охарактеризуйте УФ-лампи на радикалах ОН з накачуванням наносекундним ємнісним розрядом.*

ТЕМА–4. ОСНОВИ СВІТЛОКУЛЬТУРИ РОСЛИН ЗАКРИТОГО ГРУНТУ

Однією з особливостей інтенсивного розвитку науки в ХХ столітті стала поява багатьох комплексних наукових дисциплін. Саме такою науковою дисципліною є і світлокультура рослин, яка синтезує в собі досягнення різних розділів фізики (електрика, оптика, фотометрія і ін.), технічних наук (світлотехніка, автоматика і ін.) біологічних наук (фізіологія рослин, рослинництво, селекція рослин і ін.), а також і інших галузей знань.

Предметом дослідження світлокультури, як наукової дисципліни, є рослинні організми або їх спільноти - фітоценози, вирощені при штучному освітленні, а **метою** світлокультури є розробка методів вирощування рослин за допомогою штучного опромінення для отримання наукових знань про рослини і сільськогосподарської продукції.

Для реалізації своєї мети світлокультура спирається на теоретичні основи різних природничо-наукових дисциплін фізичного і біологічного профілів і на досвід практичного вирощування рослин.

Вирощування рослин із застосуванням світлокультури можливо як при досвітці рослин штучним світлом, яка використовується в якості додатку до недостатнього фону природного світла, так і повністю на основі штучного світла.

У сучасній світлокультурі рослин більшість параметрів навколишнього середовища (мінеральне живлення, газовий склад атмосфери, температура, водний режим і т. д) виводяться на рівні, які не лімітують життєві процеси у рослин. Як правило, основним фактором управління життєдіяльністю рослин в умовах світлокультури є світловий чинник. Промениста енергія, що отримується за допомогою штучних джерел світла, - одна з найбільш витратних статей на вирощування рослин в умовах світлокультури. Тому ефективне використання світлової енергії має для економіки світлокультури принципово важливе значення. У той же час інтенсивність і спектральний склад світла, його періодичність є потужним фактором керування різними сторонами життєдіяльності рослин. В першу чергу тут важливо відзначити проблеми підвищення продуктивності вирощування рослин.

Світлові, як основного чиннику управління життєдіяльністю рослин, в світлокультурі приділяється першорядне значення.

Останній навчальний посібник по світлокультурі рослин для вузів (Леман, 1976) вийшло понад 20 років тому і, природно, вже не відображає в достатній мірі сучасний стан питання. Крім того, навчальна і монографічна література яка вийшла по світлокультурі є, як правило, хоча і вельми детальна, але в ній висвітлення тих чи інших питань світлокультури рослин, є досить однобічним. Традиційно глибоко і детально в цій літературі висвітлюються переважно фізіологічні основи світлокультури рослин.

Питання технічного забезпечення світлокультури рослин, що мають важливе значення для ефективного використання променевої енергії при культивуванні рослин, в літературі представлені недостатньо. Тому у студентів, які вивчають цю дисципліну, біологів, які працюють зі штучним кліматом, і у багатьох фахівців тепличних господарств, де використовується світлокультура, немає комплексного системного уявлення про взаємозв'язки біологічних особливостей різних видів рослин і біотехнологічних процесів з параметрами оптимальних світлових режимів і світлотехнічної апаратурою, здатної їх забезпечити. Як наслідок цього, можна зустріти фізіологічно необґрунтовані норми на встановлену електричну потужність для розміщення в теплицях ламп з різними світлотехнічними характеристиками, що призводить до недобору врожаю в умовах світлокультури. Інженерні служби нерідко слабо орієнтуються у виборі оптимальних для тих чи інших умов світлокультури джерел світла,

1. Історія розвитку світлокультури рослин закритого ґрунту

Перші відмічені в літературі спроби вирощування рослин з використанням штучного світла відносяться до другої половини ХІХ сторіччя. Як джерела світла спочатку використовували газові лампи, газові пальники, вугільні дуги і малопотужні лампи розжарювання. Світлові потоки, що одержувались від таких джерел, були низькими і не забезпечували повноцінний ріст і розвиток рослин; тому мова могла йти про використання штучного світла лише як невеликого додатку до природного світла. Це були не систематичні досліді, які не виходили за рамки лабораторних експериментів вчених і окремих ентузіастів-дослідників. Проте, на цьому початковому етапі зародження світлокультури був зроблений важливий висновок: штучне світло не є шкідливим для рослин, більш того, при його додаванні до слабкого

природного світла рослини виглядають краще, їх забарвлення стає більш зеленим, а листя крупнішим. Зрозуміло, ці ефекти штучного світла виявлялися лише тоді, коли природне освітлення було слабе, наприклад, в зимовий період. Цей етап розвитку світлокультури займає проміжок - часу 1865-1922 рр.; його межі визначаються першою згадкою в літературі про використання штучного світла для освітлення рослин (1865) і проведенням успішних дослідів з вирощування рослин повністю на штучному світлі в 1922 році.

Другий етап має приблизні межі 1922-1940 рр.; його відмінною рисою є доказ можливості вирощування рослин повністю на штучному світлі «від насіння до насіння». Вперше експериментально показати це вдалося в 1922 р американському досліднику Гарві. Це стало можливим завдяки появі потужних ламп розжарювання, які здатні давати світлові потоки, достатні для вирощування рослин повністю на штучному світлі. Таким чином, з'явилася наукова основа для практичного використання світлокультури рослин. У той же час виник ряд питань, які необхідно було вирішити до широкого застосування світлокультури в народному господарстві.

Штучне світло все ширше стали застосовувати для вирощування рослин. Правда, через досить низьких в той період часу експлуатаційних якостей потужних ламп розжарювання штучне світло в основному використовували як додаток до природного світла в теплицях. Вирощування рослин на повному штучному світлі проводили, як правило, в наукових цілях.

Тим не менше, використання штучного світла в якості підсвітки дозволило істотно скоротити терміни вигонки розсади і поліпшити її якість, в більш ранні терміни розпочати отримання овочевої продукції в теплицях, організувати вигонку деяких квіткових культур взимку. Штучне світло селекціонери стали використовувати для прискорення селекції рослин

Таким чином, на другому етапі розвитку світлокультури були закладені основи її практичного використання.

Третій етап почався з 1940 року і триває по даний час. Початок його пов'язують з появою нового типу джерел світла - газорозрядних ламп. На відміну від ламп розжарювання, газорозрядні лампи, при такому ж споживанні електроенергії, мали більший діапазон потужностей, давали в 2-3 рази більшу кількість світла і мали можливість варіювання його спектрального складу.

Стало можливим ввести в світлокультуру, при необхідності, практично будь-які види рослин, незалежно від ступеня їх світлолюбивості. Широко стали використовуватися режими «повної світлокультури», коли рослини вирощуються повністю на штучному світлі. Це дозволило «просунути» світлокультуру в північні регіони, де в період тривалих полярних ночей стало можливим вирощувати в теплицях овочеву продукцію і квіти повністю на штучному світлі. Таким чином, головною особливістю третього етапу є вихід світлокультури на промислову основу. У зв'язку з цим з'явився термін «промислова світлокультура рослин».

Ще одним важливим напрямком у розвитку світлокультури з'явилася селекція рослин, а також їх прискорене розмноження в зимовий період. За рахунок цілорічного вирощування рослин в умовах світлокультури, з'явилася можливість отримувати кілька поколінь рослин в рік, що було неможливо в польових умовах. Це дозволило інтенсифікувати процес селекції рослин на певні ознаки в кілька разів і тим самим скоротити виведення сортів рослин з 10-15 років при використанні традиційних польових умов до 5-7 років, якщо застосовуються умови світлокультури.

Розвиток світлокультури йшов швидкими темпами в СРСР в 50-80 роках 20-го сторіччя, коли вартість електроенергії для побуту була невисока. При різкому підвищенні вартості електроенергії з початку 90-х рр. масовий розвиток промислової світлокультури, що базувався на вирощуванні овочевих рослин, стала для багатьох підприємств і тепличних комплексів економічно не вигідною. Виправданим залишилось вирощування рослинної продукції в умовах повної світлокультури на даний час є лише в північних регіонах за умови висококваліфікованого використання сучасних технологій.

У середніх широтах економічно виправдано в даний час використання в теплицях штучного світла як додатку до природного при вирощуванні рослинної продукції.

Зі сказаного, однак, не випливає, що світлокультура втратила свою актуальність. На початку 90-х років нашого століття акценти в розвитку світлокультури стали змінюватися. Одне з нових застосувань світлокультури пов'язано із загальним погіршенням екологічної ситуації на планеті. У зв'язку з цим світлокультуру стали розглядати як один з можливих методів отримання гарантовано екологічно чистих продуктів харчування. Таке харчування призначене для регіонів з неблагополучною екологічною обстановкою. Розроблена інтенсивна

безвідходна технологія вирощування зернових, овочевих, вічно зелених, ягідних, квіткових, лікарських та технічних культур, що дозволяє використовувати її в промисловому і селекційному процесі. Обсяги виробництва даної продукції досить обмежені.

З початку 70-х років успішно розробляються проблеми космічного рослинництва, коли рослини необхідно вирощувати в умовах повної світлокультури. Розробки основ космічного рослинництва стосовно, зокрема, до майбутніх стаціонарним космічним станціям на Місяці і, можливо, на Марсі проводяться в штучних системах життєзабезпечення, де рослини є постачальниками рослинної їжі, води і регенераторами атмосфери, забезпечуючи «космонавтів» киснем і поглинаючи вуглекислоту, а також ряд шкідливих газоподібних домішок.

Таким чином, в даний час точки прикладання світлокультури, як методу вирощування рослин, є дуже різноманітними. Як надалі будуть розставлені акценти в розвитку цих напрямків, покаже час. Ясно одне - актуальність світлокультури в майбутньому, в тому чи іншому прояві, збережеться.

2. Діапазони природного оптичного випромінювання і його дія на рослини

Основним джерелом природного оптичного випромінювання, прийняттого для життєдіяльності рослин, є Сонце. Оптичне випромінювання Сонця знаходиться в дуже широкому інтервалі довжин хвиль. Будемо використовувати для вимірювання довжини хвилі (λ) нанометра (нм), що становлять 10^{-9} м. Тоді хвильовий діапазон сонячної енергії, що досягає поверхні Землі, можна уявити схематично (рис.1).

Вплив випромінювання різних ділянок спектру на рослинний організм визначається енергією, яку має елементарний носій цієї енергії - квант. Енергія кванта випромінювання E залежить від його довжини хвилі λ і визначається за формулою:

$$E = ch / \lambda , \quad (1)$$

де c - швидкість світла у вакуумі, h - постійна Планка.

Часто енергію кванта записують, використовуючи замість довжини хвилі частоту випромінювання ν , які пов'язані один з одним співвідношенням:

$$\lambda = c / \nu. \quad (2)$$

З рис.1 і формули (1) випливає, що енергія кванта випромінювання максимальна у космічних променів і мінімальна у радіохвиль. Що стосується рослин, то енергія квантів космічних променів, γ -випромінювання, рентгенівського випромінювання і короткохвильової частини ультрафіолетового (УФ) випромінювання настільки велика, що розриває хімічні зв'язки в молекулярних рослинних структурах і тому діє на рослини руйнівним чином. У сонячної радіації, що досягає поверхні Землі, ці види випромінювання майже повністю відсутні, оскільки вони поглинаються в верхніх шарах атмосфери.

Довгохвильове («м'яке») УФ-випромінювання і видиме випромінювання добре поглинаються рослинами. Енергія квантів цих ділянок спектру недостатня для руйнування хімічних зв'язків, проте здатна забезпечити ряд внутрішніх перебудов у атомів і молекул рослин, що викликає хімічні реакції, що лежать в основі життєвоважливих процесів - фотосинтезу, дихання, росту, фотоперіодизму і ін.

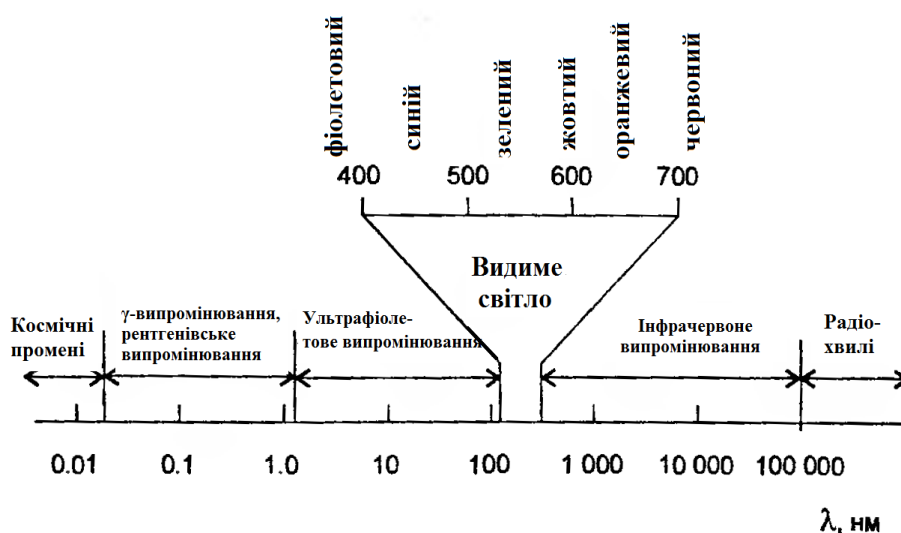


Рис.1. Спектральний діапазон оптичного випромінювання (логарифмічний масштаб).

Енергія квантів здебільшого інфрачервоного (з $\lambda > 4000$ нм) настільки слабка, що не здатна ініціювати хід зазначених вище хімічних реакцій. Правда, деякі області інфрачервоної радіації добре поглинаються водою, яка міститься в рослинах, і, таким чином, можуть підвищувати температуру рослин, що викликає, в свою чергу, ряд фізіологічних реакцій як позитивного, так і негативного характеру. Тому прийнято вважати, що інфрачервона радіація може давати на рослину не прямий, а опосередкований вплив.

Сонячну радіацію, що доходить до поверхні Землі, прийнято розділяти на два великих діапазону: 300-4000 нм і понад 4000 нм. Перший діапазон містить близько 99% енергії сонячної радіації, яка падає на поверхню Землі. Випромінювання, що знаходиться в цьому діапазоні, отримало назву «короткохвильова радіація». Другий діапазон випромінювання, з довжинами хвиль $\lambda > 4000$ нм, називається діапазоном «теплової довгохвильової радіації». З точки зору дії випромінювання різного спектрального складу на рослини такий розподіл оптичного випромінювання не можна назвати вдалим, оскільки воно не відображає особливості його фізіологічного впливу. Ці особливості пов'язані, в першу чергу, з урахуванням двох типів впливу променистих потоків на рослинний організм: субстратного і регуляторного.

Субстратна роль світла заснована на використанні енергії світла в процесі фотосинтезу на утворення хімічних зв'язків, тобто на синтез біомаси рослин. Регуляторна роль світла пов'язана з запуском тих чи інших механізмів, які «відкривають» або «закривають» можливості протікання різних фізіологічних процесів, наприклад, спрямованість біохімічних синтезів (вуглеводна або білкова), відкриття або закриття продихів, рух органів рослин під дією світла (фототропізм), початок зацвітання рослин і ін.

Енергетичні витрати на забезпечення регуляторних процесів набагато нижчі, ніж на субстратні потреби, щоб забезпечити рослин енергією для побудови органічної біомаси. Відмінності в цих витратах можуть досягати 100-1000 разів і більше.

За сучасними уявленнями, діапазон оптичного випромінювання, що має у рослин основне субстратно-регуляторне значення, має приблизні межі 280-750 нм. У середині цих кордонів виділені спектральні діапазони, що мають наступне фізіологічне значення:

- 280-320 нм – надає, як правило, поганий впливає на ріст і розвиток рослин. Однак для деяких рослин (наприклад, Solanaceae)

потрібна невелика кількість ($= 3 \text{ Вт/м}^2$) випромінювання цього спектрального діапазону для нормального розвитку;

- 320-400 нм – грає регуляторну роль в розвитку рослин, тому доцільною є присутність цього випромінювання в невеликих кількостях (кілька відсотків) в загальному променистому потоці;

- 400-500 нм («синій») – володіє як субстратним, так і регуляторним впливом, повинен входити до складу спектру випромінювання фотосинтетичної активної радіації для вирощування рослин;

- 500-600 нм («зелений») – не є абсолютно необхідним для забезпечення фотосинтезу рослин, але, завдяки своїй високій проникаючій здатності, корисний для забезпечення фотосинтезу оптично щільних листя і густих посівів рослин;

- 600-700 нм («червоний») – має яскраво виражений субстратний і регуляторний вплив. Повинен входити до складу загального випромінювання для забезпечення високого фотосинтезу. Але монохроматичне червоне світло може призводити до аномального росту і розвитку деяких частин рослин, а в ряді випадків і до загибелі деяких видів рослин;

- 700-750 нм («дальній червоний») – має яскраво виражену регуляторну дію. У невеликих кількостях (кілька відсотків) повинен входити до складу загального випромінювання.

Спектральний діапазон 400-700 нм, що є основним для забезпечення процесу фотосинтезу, отримав назву фотосинтетична активна радіація (ФАР).

Очевидно, що всі зазначені спектральні діапазони входять до складу сонячного випромінювання, яке доходить до земної поверхні, в допустимих для життєдіяльності рослин поєднаннях. У той же час в умовах штучного опромінення рослин, коли природне світло відсутнє, забезпечення оптимальної присутності вищевказаних спектральних діапазонів в випромінюванні джерел світла є, як правило, досить проблематичним. У зв'язку з цим надзвичайно важливого значення набуває знання спектральних і енергетичних характеристик променистого потоку ламп при їх виборі як джерела випромінювання для світлокультури рослин. Крім цього, необхідно знання видових особливостей рослин, їх оптичних властивостей, а також структурних особливостей посівів рослин - фітоценозів, де формується реальний урожай.

3. Роль інтенсивності світла в світлокультурі рослин

Швидкість фотосинтезу, а отже і накопичення біомаси рослин, залежать від кількості енергії, що трансформується в біохімічний зв'язок. Оскільки трансформація енергії світла в енергію хімічних зв'язків при фотосинтезі є наслідком поглинання квантів світла, то можна вважати, що чим більше квантів містить променистий потік, тим вище може бути фотосинтез рослин.

Кількість квантів світла в променистих потоках одного і того ж спектрального складу має лінійний зв'язок з інтенсивністю випромінювання, яка характеризує потужність променевого потоку. Якщо променисті потоки мають різний спектральний склад, то потік випромінювання з меншою кількістю квантів може мати велику інтенсивність, ніж потік випромінювання, де квантів більше, але в енергетичному відношенні вони більш «дрібні». Так, наприклад, кванти синього світла, згідно з формулою (1), в енергетичному відношенні більш «великі», ніж кванти червоного світла. Тому при рівній кількості квантів інтенсивність синього світла буде вище, ніж червоного. Паралельно з терміном «інтенсивність» часто використовується термін «опромінення». У світлокультурі ці два терміни зазвичай використовують як синоніми.

Між інтенсивністю світла і видимим фотосинтезом (далі по тексту просто «фотосинтезом») існує залежність, яка часто зображується графічно у вигляді світлової кривої фотосинтезу (рис.2). Бачимо, що зв'язок між фотосинтезом і інтенсивністю світла може сильно відрізнитися в залежності від величини останньої. Розрізняють декілька ділянок кривої, що характеризує таку залежність.

Розглянемо найбільш важливі ділянки цієї кривої.

При низькій інтенсивності світла сумарної енергії квантів світла недостатньо, щоб процес фотосинтезу забезпечив енергетичні потреби життєдіяльності рослин. У цих умовах основна енергія для підтримки життєдіяльності рослин черпається за рахунок розпаду раніше синтезованих речовин. Цей процес називається «диханням рослини».

Умовно прийнято вважати, що оскільки при диханні енергія для рослин витрачається шляхом руйнування (деструкції) частини синтезованих раніше за рахунок фотосинтезу з'єднань, а при фотосинтезі енергія накопичується в процесі синтезу органічних сполук, то ці процеси для балансу енергії мають протилежні знаки - позитивний для фотосинтезу і негативний для дихання.

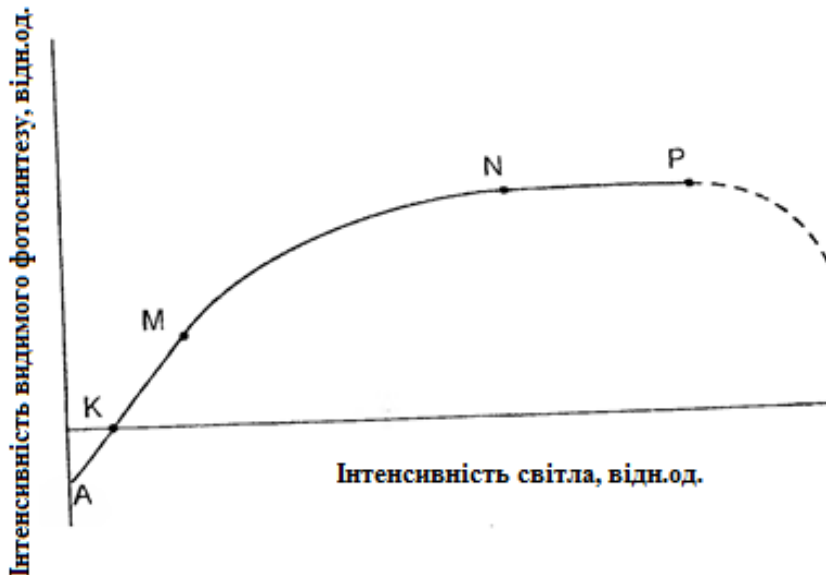


Рис. 2. Типова світлова крива видимого фотосинтезу.

У зв'язку з цим іноді вживають термін «негативний фотосинтез», коли мова йде про виділення енергії при диханні. Цей «негативний фотосинтез» відповідає на рис.2. ділянці кривої АК і діапазону інтенсивності світла від 0 до деякого значення К. Точка К часто називається світловою компенсаційною точкою фотосинтезу. Особливість цієї точки пов'язана з тим, що процеси фотосинтезу врівноважуються дихальними процесами.

З подальшим зростанням кількості квантів світла в потоці випромінювання інтенсивність світла зростає, збільшується фотосинтез, а отже, і накопичення біомаси рослин. Основна енергія, що витрачається на забезпечення життєдіяльності рослин, надходить уже за рахунок процесу фотосинтезу, іншими словами, видимий фотосинтез стає позитивним. Спочатку цей процес має лінійну залежність. Вона зберігається до тих пір, поки збільшення квантів світла в променистому потоці супроводжується таким же збільшенням використання їх енергії на побудову біомаси рослиною. Відповідний цій ділянці світлової кривої фотосинтезу позначений на рис.2. як відрізок КМ.

Однак резерви засвоєння рослиною енергії на фотосинтез за рахунок збільшення кількості спожитих квантів світла не безмежні. Ці резерви поступово вичерпуються, що характеризується ділянкою нелінійної залежності фотосинтезу рослин від інтенсивності світла (рис. 2., відрізок MN).

Коли засвоєння енергії додаткових квантів світла на фотосинтез припиняється, настає стадія світлового насичення. На рис.2. їй відповідає відрізок NP, званий «плато насичення». Тут зростання інтенсивності світла не змінює величини фотосинтезу.

Якщо продовжувати збільшувати інтенсивність світла, то, починаючи з її певного значення, надмірна кількість квантів світла приводить до шкідливого ефекту на фотосинтетичний апарат рослин, в результаті чого їх фотосинтез знижується. Ця ділянка світлової кривої фотосинтезу часто називають ділянкою «світлового інгібування фотосинтезу». На рис.2. він показаний пунктиром.

В умовах світлокультури інтенсивність світла є одним з найбільш доступних в практичному плані способів світлового управління величиною і якістю врожаю рослин. Однак навіть при сприятливому спектральному складі світла правильний вибір його інтенсивності може зіграти вирішальну роль в кількості і якості одержуваної рослинної продукції. Справа в тому, що інтенсивність світла грає в життєдіяльності рослин двояку роль. З одного боку, зміна інтенсивності світла грає субстратну роль, збільшуючи або зменшуючи світлове живлення рослин. З іншого боку, в процесі зміни інтенсивності світла змінюється якісна спрямованість багатьох фізіологічних процесів: зростання, біохімічних синтезів, закладки репродуктивних органів і ін. Відомо, що при використанні в світлокультурі низьких рівнів опромінення часто формуються витягнуті рослини, у коренеплідних форм, наприклад редиски, коренеплоди утворюються погано, рослини формують квітконосні стебла, а у таких плодоносних рослин, як томати і огірок, багато квітів опадають, що утворюються плоди невеликі, їх смакові якості низькі. У той же час використання досить високих рівнів опромінення дозволяє не тільки збільшити урожай, але і отримувати великі плоди високої якості на тлі значного зниження термінів вегетації рослин.

За ступенем важливості після фотосинтезу для життєдіяльності рослин часто відзначають ростові процеси. Під ростовими процесами розуміють збільшення лінійних розмірів рослин, швидкість накопичення біомаси. Тому скоординувати оптимальним чином фотосинтез і ріст - одна з головних умов отримання хорошого врожаю. У зв'язку з цим інтенсивність світла грає ключову роль в забезпеченні такої координації.

На рис.3. показані принципів відмінності в залежності швидкості фотосинтезу і швидкості росту площі листя рослин від

величини інтенсивності світла. Як правило, світлове насичення ростових процесів настає швидше, ніж процесів фотосинтезу.

Таким чином, використання досить високого опромінення в умовах світлокультури може в ряді випадків виявитися корисним. Однак подібний підхід не є єдиним для всіх видів рослин, які вирощують в умовах світлокультури. Наприклад, для зелених культур, у яких в їжу може вживатися вся надземна біомаса, використання високих опромінення дасть тільки негативний ефект, оскільки зростання листової поверхні сповільниться, листя в значній мірі втратять необхідні для вживання в їжу якості (з'являться жорсткі жовтуваті листя замість ніжно зелених і соковитих листя при знижених опромінення).

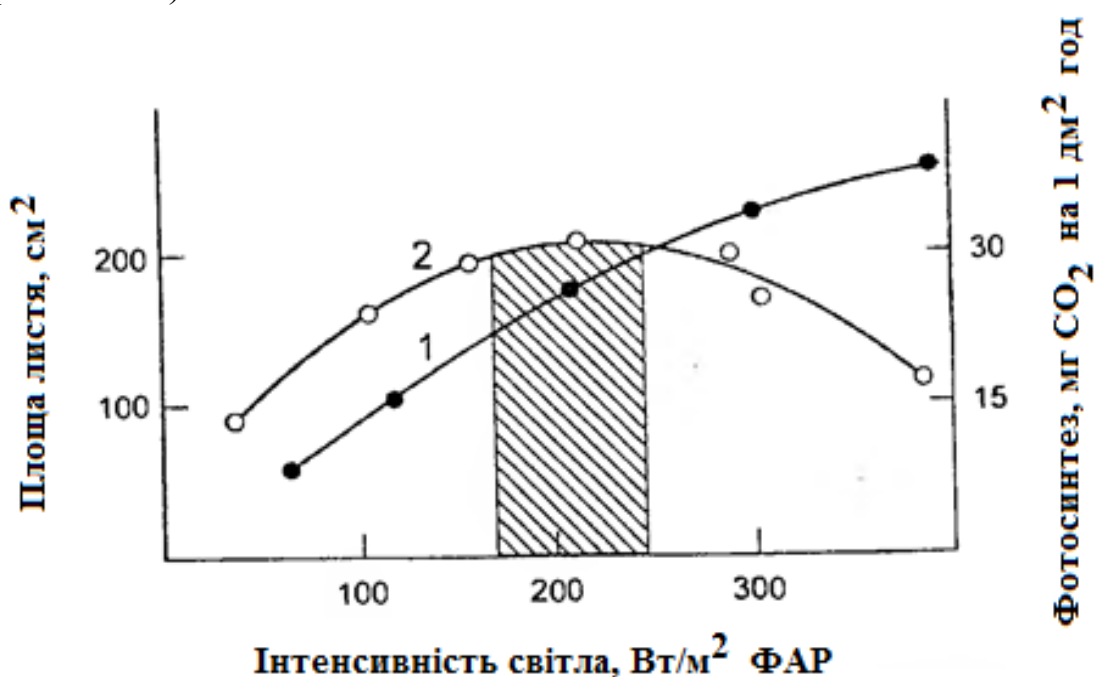


Рис.3. Світлові криві фотосинтезу (1) і зростання площі листя (2) рослин редису.

Важливим моментом в правильному виборі інтенсивності штучного світла є облік природної складової сонячного світла. Ця ситуація повинна враховуватися в теплицях середньої і південної географічних широт країни. З цією метою територія країни умовно розбита на 8 світлових зон, в залежності від середньої величини інтенсивності природної радіації (рис.4.). З урахуванням такої класифікації формулюються рекомендації по установці джерел світла певної потужності і їх розміщення в теплиці в залежності від світлової зони, де вони знаходяться.

Величина інтенсивності опромінення рослин в теплиці складається з двох складових: природного та штучного. У теплицях, розташованих в південних регіонах країни, внесок природної складової буде вище, ніж для теплиць, розташованих в середній смузі, а тим більше в її північних регіонах. Тому виникла необхідність систематизації даних про співвідношення природного та штучного складових при опроміненні рослин в теплицях. Така інформація важлива, перш за все, з огляду на дефіцит електроенергії та високу вартість джерел штучного світла і освітлювальної техніки. Крім того, неправильно підібрані світлові режими опромінення можуть призвести до недобору врожаю рослин при нестачі штучного світла або до необґрунтованого подорожчання собівартості рослинної продукції при його надлишку. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано зонування території країни за сумами ФАР за місяці з найменшою опромінення, тобто за грудень і січень.

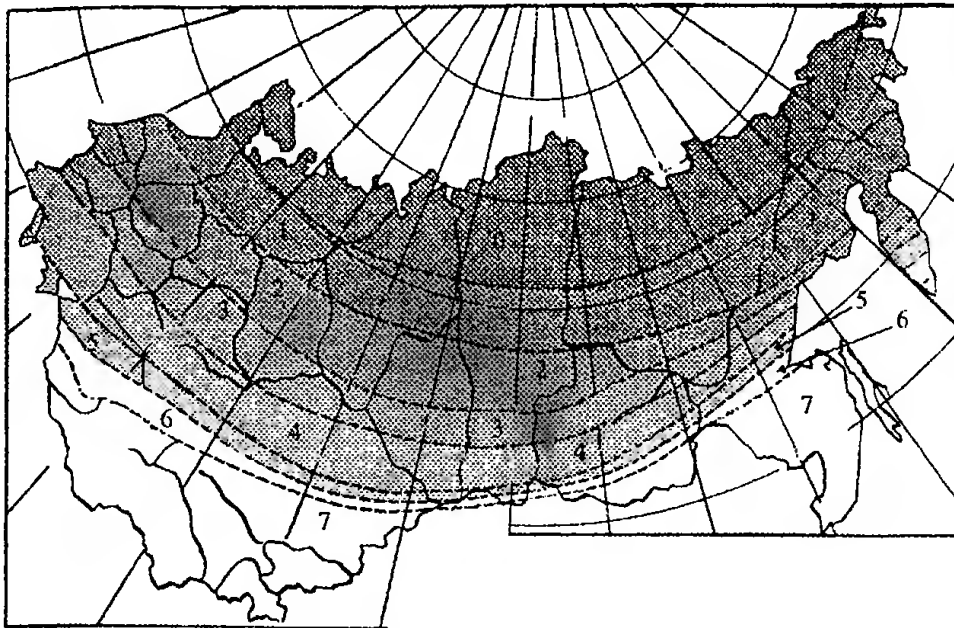


Рис.4. Схема умовного поділу території колишнього СРСР на світлові зони.

Вся територія країни була умовно розділена на 8 світлових зон: від 0 до VII (рис.4.). На підставі такого зонування можна було визначити, чи потрібно досвічування розсади або рослин, вирощуваних в теплиці в зимовий період, що знаходиться в даній світловій зоні. Для проведення такого аналізу були запропоновані мінімальні нормовані

рівні (природної і штучної) світлової енергії, яка діє на розсаду і дорослі рослини. У той же час з'ясувалося, що недостатньо знати тільки нормовані рівні сонячної енергії. Необхідно знати також мінімально допустимі рівні опромінення ФАР і тривалість опромінення рослин. Наприклад, якщо рівень опромінення для вирощування розсади задовольняє заданому значенню, але тривалість його добового впливу на рослини недостатня, то розсада формується ослабленою. Така ситуація особливо характерна для південних регіонів країни (VII світлова зона). У зв'язку з цим було запропоновано враховувати як контрольні значення інтенсивності опромінення рослин, так і контрольні значення тривалості фотоперіоду. Фактично було запропоновано враховувати контрольні значення множників, внесок яких складає кількість енергії, яка приходить до рослин в області ФАР, тобто дози опромінення рослин. Під дозою опромінення рослин в даному випадку розуміють добуток величини інтенсивності ФАР на тривалість її впливу. Таким чином, значення дози (B) представляється як

$$D = I \cdot t , \quad (3)$$

де I- інтенсивність ФАР, t-час її впливу на рослину.

Оскільки в тепличному рослинництві інтенсивність ФАР часто вимірюють в Вт/м², а час опромінення рослин протягом фотоперіоду - в годинах, то розмірність дози в даному випадку буде Вт·год/м².

Слід мати на увазі, що однакові дози ще не означають рівні світлові умови для вирощування рослин. У кількісному відношенні доза опромінення рослин, відповідна їх високій продуктивності при правильно обраних інтенсивності і тривалості опромінення, може бути отримана і іншим шляхом. Так, однакові дози опромінення рослин можна, наприклад, отримати при низьких рівнях опромінення, відповідних слабкому фотосинтезу і тривалого фотоперіоду або, навпаки, при високих опроміненнях і дуже короткому фотоперіоді. Зрозуміло, що у всіх цих випадках однакові дози опромінення рослин відповідають абсолютно різним величинам їх продуктивності. Тому вибір інтенсивності світла і тривалості фотоперіоду повинні знаходитися в певних діапазонах. Згідно розробкам Державного науково-дослідного і проектного інституту по створенню об'єктів зберігання, переробки плодоовочевої продукції, теплиць і споруд штучного клімату оптимальне нормоване опромінення в теплиці при

вирощуванні розсади дорівнює 40 Вт/м^2 ФАР з фотоперіодом 14 годин, а для вирощування рослин на продукцію - 100 Вт/м^2 ФАР з фотоперіодом 16 годин. В цьому випадку оптимальне добова кількість опромінення (доза) для розсади складе $560 \text{ Вт}\cdot\text{год} / \text{м}^2$, а для вирощування рослин на продукцію - $1600 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$ ФАР. Допускаються відхилення від цих оптимальних значень для розсади до $400\text{-}250 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$ ФАР при коливаннях тривалості опромінення розсади в 0-III світлових зонах не менше 12-16 годин на добу і не менше 12 годин в IV-VI світлових зонах, а для овочевих культур в період плодоношення до $900 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$ ФАР при коливанні тривалості фотоперіоду в діапазоні 12-16 годин.

З огляду на це Державним науково-дослідним і проектним інститутом по створенню об'єктів зберігання, переробки плодоовочевої продукції, теплиць і споруд штучного клімату запропоновано удосконалений підхід в поділі території країни на різні світлові зони з урахуванням, як інтенсивності, так і тривалості опромінення рослин для будь-якого місяця на рік (табл.1). На підставі даних цієї таблиці може бути отримана інформація по вибору режиму опромінення (спільне опромінення або тільки природне світло) для теплиць, розташованих на різній географічній широті.

За даними цієї таблиці видно, на якій географічній широті в певну пору року можливо виробництво розсади або овочів тільки на природному світлі або необхідно додаткове штучне опромінення. Дані табл.1 можуть бути використані і для типового проектування теплиць, з урахуванням розміщення в них опромінювальних пристроїв із заданими світлотехнічними характеристиками.

Примітки: розрахунки виконані виходячи з нормативних показників Державного науково-дослідного і проектного інституту по створенню об'єктів зберігання, переробки плодоовочевої продукції, теплиць і споруд штучного клімату. Для добової кількості приходить ФАР для розсади - $400 \text{ Вт}\cdot\text{год/ м}^2$, для дорослої культури - $900 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$; зона вирощування розсади при природному опроміненні показана суцільною лінією, а дорослої культури - штрихованою.

Таким чином, немає однозначного підходу у виборі інтенсивності світла для вирощування рослин в умовах світлокультури. Вибір залежить від виду рослин, цілей їх вирощування, а також від ряду інших факторів, серед яких велику роль грають оптичні властивості рослин.

Таблиця 1.

Зонування території країни за географічною широтою (через 4) за критерієм вибору або природного режиму опромінення (Е), або спільного режиму опромінення (С), для розсади (дані чисельника) і дорослого культури (дані знаменника)

Широта ° с.ш.	Зони	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
82-78	1	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
78-74	2	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
74-70	3	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
70-66	4	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
66-62	5	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
62-58	6	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
58-54	7	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
54-50	8	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
50-46	9	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$
46-42	10	$\frac{C}{C}$	$\frac{E}{C}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$	$\frac{C}{C}$

Контрольні запитання

1. Які основні етапи розвитку світлокультури Ви знаєте? Охарактеризуйте основні риси кожного етапу.
2. Як змінилися акценти в розвитку світлокультури в даний час в порівнянні з попереднім періодом?
3. Якими є роль окремих піддіапазонів спектру оптичного випромінювання, що мають для рослин основне субстратно-регуляторне значення?
4. Охарактеризуйте роль інтенсивності світла в світлокультури.
5. Чим, на Ваш погляд, відрізняється застосування світлокультури в північних регіонах країни від її використання в середній смузі?
6. У чому Ви бачите перспективи світлокультури в XXI столітті?

ТЕМА–5. ВСТУП ДО КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ І ТЕХНІКИ ЛАЗЕРІВ

Квантова електроніка, як новий напрямок у фізиці, виникла на межі електроніки, оптики, квантової фізики та ряду інших фізичних дисциплін і без неї уже неможливо представити собі розвиток сучасного суспільства.

Квантова електроніка – це область фізики, яка вивчає методи підсилення і генерації електромагнітного випромінювання шляхом використання індукованого випромінювання в термодинамічно нерівноважних квантових системах; властивості таких підсилювачів і генераторів та їх застосування.

Слід відмітити, що термін «*лазер*» виник ще у 1959 р. до моменту запуску першого лазера і був запропонований Гулдом Р.К. Цей термін є аббревіатурою англійського виразу «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», яка означає *підсилення світла в результаті вимушеного випромінювання квантів*.

Розглянемо ряд фізичних термінів з курсу оптики, знання яких є принципово важливим для вивчення квантової електроніки і які широко використовуються в ній.

Квантовий перехід – стрибкоподібний (миттєвий) перехід квантової системи з одного енергетичного рівня на інший.

Час життя на енергетичному рівні – середня тривалість перебування атома, іона чи молекули в стані з деякою визначеною енергією.

Когерентність – це узгоджене протікання в часі декількох коливальних або хвильових процесів. Коливання називають *монохроматичними* (чи гармонійними) якщо воно описується виразом $x = A \cos(\omega t + \varphi)$, причому амплітуда (A), частота (ω) і фаза (φ) повинні бути сталими.

Часова когерентність хвиль – характеризує постійність (чи заданий закон зміни) в часі їх основних характеристик (амплітуди, частоти і фази).

Час когерентності – найбільший часовий інтервал, на протязі якого зберігається постійність (чи деякий закономірний зв'язок) характеристик коливання або хвилі.

Просторова когерентність – термін, який характеризує сталість або зміну за відомим законом основних характеристик хвилі в просторі.

Довжина когерентності – віддаль «а» в напрямку поширення хвилі, на якому характеристики хвилі або зберігаються постійними або змінюються за відомим законом. Довжина когерентності «а» і час когерентності «т» пов'язані між собою співвідношенням: $a = c \tau$.

Монохроматичність – це ступінь близькості коливань до ідеальних, що описуються виразом $x = A \cos(\omega t + \varphi)$, де A , ω , φ – сталі. Реальні коливання і хвилі не є монохроматичними, але їх можливо представити у вигляді суми ідеальних монохроматичних коливань чи хвиль. Чим більша монохроматичність, тим у меншому інтервалі частот групуються частоти монохроматичних складових.

Спонтанне і вимушене випромінювання. Квантові переходи можуть відбуватися *самовільно* (спонтанно) і *вимушено*. При спонтанному випромінюванні фотона воно не залежить від зовнішньої дії на квантову систему. Вимушений же перехід відбувається під дією зовнішнього випромінювання частотою ν (де $h\nu = E_i - E_k$). Суттєво, що поряд з поглинанням квантів світла (перехід $E_k - E_i$), можливим є також вимушене випромінювання фотонів (процес, зворотний до поглинання). На відміну від спонтанного випромінювання, при якому поляризація і напрям руху фотонів можуть бути довільними, при вимушеному випромінюванні фотон має ту ж поляризацію і напрям руху, що і вимушуючий фотон. Частота вимушеного випромінювання теж точно дорівнює частоті вимушуючого випромінювання.

1. Становлення квантової електроніки і техніки лазерів

Днем народження лазера вважається 16 травня 1960 р., оскільки ця дата зафіксована в робочому журналі Меймана Т.Н. – американського фізика, якого і вважають винахідником лазера. Цей результат був опублікований ним в серпні у статті «Stimulated Optical Radiation in Ruby [Maiman T.H. Nature.1960. V.187. P.493]. Мейман Т.Н. одержив і пояснив ефект звуження спектральної лінії випромінювання кристалу синтетичного рубіну та збільшення на декілька порядків інтенсивності випромінювання, яке при цьому спостерігалось. Розроблений Мейманом Т.Н. пристрій містив всі три необхідні та достатні складові для одержання лазерної генерації оптичного когерентного випромінювання: активне середовище (середовище з інверсною населеністю енергетичних рівнів), систему

оптичного накачування та відкритий оптичний резонатор, який забезпечував додатній зворотний зв'язок і перетворював підсилювач оптичного випромінювання в генератор.

В СРСР перший лазер на кристалі рубіну був запущений в Державному оптичному інституті (ДОІ) ім. Вавілова С.І. Міністерства оборонної промисловості (науково дослідна група під керівництвом Хазова Л.Д.) і Фізичному інституті ім Лебедева П.Н. (група під керівництвом Галаніна М.Д.).

Постановці і розвитку робіт з квантової електроніки в Ленінграді сприяв значний науковий заділ в дослідженнях з спектроскопії та люмінесценції, в тому числі і кристалів, в області фізичної оптики та імпульсних джерел світла і школи в області оптотехніки, технології, конструювання і активних середовищ лазерів. Тому перший в СРСР лазер (на кристалі рубіну) і був запущений в ДОІ ім. Вавілова С.І. 2 червня 1961 р.. В цих експериментах Хазова Л.Д. і Белоусової І.М. було виявлено, що при збільшенні енергії лампи накачки з 550 Дж до 2200 Дж спостерігався чіткий перехід від люмінесценції до генерації оптичного випромінювання у вигляді променя світла з малою розбіжністю.

Слід відмітити, що лазер виник не на пустому місці, оскільки перший камінь в його створення був закладений ще в доповіді Планка М. 14 грудня 1900 р., присвяченій квантовій теорії світла і в якій була приведена знаменита формула:

$$E = h \cdot \nu , \quad (1)$$

(де: E – енергія кванта світла, h - стала Планка, ν – частота світла), яка лежить в основі всієї квантової фізики.

В подальшому квантова теорія світла одержала розвиток в праці Ейнштейна А. з фотоефекту (1905 р.). В своїй праці, яка була опублікована в 1916 р., Ейнштейн А. на основі загальних термодинамічних міркувань вивів формулу Планка для розподілу випромінювання абсолютно чорного тіла за частотами, в якій вперше ввів поняття вимушеного (або індукованого) випромінювання збуджених атомів під впливом зовнішнього електромагнітного поля, яке стало фундаментом всієї квантової електроніки. Ймовірність вимушеного випромінювання пропорційне густині випромінювання, що падає на квантову систему (атом, іон, молекулу тощо). При цьому, частота випромінювання квантової частинки рівна частоті падаючого

випромінювання (кванта світла); просторові направленості, поляризація падаючого і випроміненого квантів є тотожними. Ця властивість вимушеного випромінювання дозволяє підсилювати світло, якщо його пропускати через шар квантових частинок, які знаходяться переважно в збудженому стані. Ейнштейном А. були введені коефіцієнти спонтанного (A_{ik}) і вимушеного (B_{ik}) випромінювання та вимушеного поглинання (B_{ki}), які пов'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$g_i B_{ik} = g_k B_{ki}, \quad A_{ik} = (8\pi\nu^2 / c^3) h\nu B_{ik}, \quad (2)$$

В 1920-х роках були спроби експериментального виявлення вимушеного випромінювання в оптичному діапазоні спектру. Для оптичних переходів атомів чи молекул верхні рівні в більшості випадків практично не заселені і роль вимушеного випромінювання є незначною. Тому для виявлення вимушеного випромінювання необхідно перевести квантову систему в інвертований стан, коли заселеність верхнього рівня переважає заселеність нижнього. При цьому може спостерігатися підсилення світла.

В середині 1920-х років англійським фізиком Діраком П. були розроблені детальні теоретичні представлення про процеси випромінювання і поглинання світла, що дозволило строго обґрунтувати існування вимушеного випромінювання.

В 1928 р. Ладебург А. і Конферман Е. дослідили від'ємну дисперсію світла в газовому розряді у неоні. На основі цих досліджень вони припустили, що реалізація інверсного стану можлива за допомогою резонансного збудження атомів, що пізніше і було реалізовано в перших газорозрядних лазерах.

В 1939 р. аналогічний висновок зробив і Фабрикант В.А., досліджуючи вже не дисперсію, а аномальне поглинання світла. Він у своїй дисертації з дослідження механізму випромінювання газового розряду наводить результати експериментів, що свідчать про існування від'ємної абсорбції і можливості збільшення інтенсивності випромінювання в напрямку пучка світла, яке падає на це середовище.

Але інверсна населеність є лише необхідною, а не достатньою умовою одержання лазерної генерації. Оскільки оптикам, на відміну від радіоспектроскопістів, було незвичним саме поняття додатного зворотного зв'язку, тому спочатку були розроблені мазери, а не лазери.

Першим кроком з створення приладів квантової електроніки стали мазери (квантові генератори мікрохвильового діапазону), ідею про принципову можливість створення якого, висунули Басов Н.Г. і Прохоров А.М. в 1954 р. [ЖЭТФ. 1954. Т.27. С.431]. Перший же мазер був створений американськими вченими Гордоном Дж., Цайгером Х., Таунсом И. [Phys. Rev. 1954. V.95. P.285].

Затримці в поширенні принципів квантової електроніки з мікрохвильового в оптичний діапазон сприяла також відсутність чіткого розуміння в середині 1950-х років того, що вимушене випромінювання є когерентним. Це пов'язано з низькою когерентністю оптичного випромінювання, оскільки випромінювачі (атоми чи молекули) це квантові системи, які сильно взаємодіють між собою, і від них неможливо одержати на помітних проміжках часу монохроматичний сигнал, що відповідає тривалості цього проміжку. Тобто, лазерне випромінювання, внаслідок малої довжини хвилі, відрізняється від мікрохвильового більш яскраво вираженою роллю когерентності.

Після створення мазера основними завадами при переході в оптичний діапазон стало різке збільшення імовірності спонтанних переходів, що приводить до труднощів в досягненні інверсії та неможливості реалізації відомими методами додатного зворотного зв'язку.

В 1955 році Бломберген Н., Басов Н.Г. і Прохоров А.М. запропонували метод створення інверсії не шляхом селекції збуджених і незбуджених молекул в молекулярному пучку шляхом дії на молекули зовнішнього електромагнітного випромінювання на резонансній частоті. Цей метод, який одержав назву «метод трьох рівнів», виявився універсальним незалежно від енергії кванта влюбій багаторівневій системі.

В цей же час була подолана і проблема створення оптичного резонатора. Проблема полягала в тому, що об'ємні резонатори, які використовувались в мазерах, не могли використовуватися в оптичному діапазоні, оскільки розміри об'ємного резонатора повинні бути співмірними з довжиною хвилі генерації. Оскільки, остання в оптичному діапазоні менша за 1 мкм, то застосування об'ємного резонатора в цьому випадку втрачало зміст. В 1958 р. американці Шавлов А.Л., Таунс Ч.Х. і Прохоров О.М. запропонували використати як резонатор пару плоских паралельних дзеркал, які назвали відкритим резонатором. При цьому довжина хвилі випромінювання була значно

меншою розмірів резонатора та були встановлені умови його самозбудження і вираз для добротності.

Створення відкритого оптичного резонатора завершило побудову фундаменту квантової електроніки і відкрило шлях до створення Мейманом першого лазера в 1960 р. Після цього Джаваном А., Беннетом У.Р., Херістоном Д.Р. був запущений перший газорозрядний лазер на He-Ne суміші низького тиску [US Patent 3,149,290 (application date: December 28, 1960, patent date: September 15, 1964)].

В подальшому протягом одного року повідомлення про одержання нових генераційних переходів слідували десятками. Ці початкові дослідження часто були лише демонстраційними, при яких досліджували властивості самого лазерного випромінювання. Проте для реалізації унікальних властивостей лазерів на практиці та їх широкого застосування лише фундаментальних досліджень було недостатньо. На часі став розвиток зовсім нових технологій, яких досі в світі не існувало.

Зокрема, важливо було почати роботи з пошуку нових матеріалів для активних середовищ у всіх можливих агрегатних станах – твердому, рідкому, газоподібному і плазмовому, які мають відповідні для генерації схеми рівнів і швидкості релаксації засеності енергетичних рівнів. При цьому необхідно було розробити методи одержання цих матеріалів при високих вимогах до їх чистоти і структурної однорідності. Сюди ж належить і розробка прецизійних методів полірування оптичних деталей з високим класом точності при витримці строгої паралельності поверхонь; створення нових джерел накачки, нових методів напилення дзеркал тощо.

Нобелівська премія з фізики за «фундаментальні роботи в області квантової електроніки, які привели до створення випромінювачів на мазерно-лазерному принципі» була присуджена в 1964 р. американському фізику Чарльзу Таунсу та радянським фізикам Миколі Геннадієвичу Басову і Олександрю Михайловичу Прохорову.

Хоча до складу лауреатів цієї премії і не ввійшли вчені, які першими створили реально діючі лазери (Мейман Т.Н., Джаван А., Беннет У.Р.), персональний вибір лауреатів Нобелівської премії з фізики за 1964 р. був абсолютно обґрунтованим і правильним.

Серед лазерів особливе місце належить напівпровідниковим лазерам, оскільки вони складають на даний час біля 90 % всіх комерційних лазерів.

Ще в 1959 р. Басов М.Г., Вул Б.М., Попов Ю.М. вперше запропонували використати в лазерах напівпровідники як активне середовище з оптичною чи електричною накачкою. В статті [Басов М.Г., Крохин О.Н., Попов Ю.М. ЖЭТФ. 1961. Т.40. С.1879] вперше був запропонований метод інжекції носіїв струму через р – n перехід, який виявився дуже перспективним і привів до створення лазерних діодів для широкого практичного використання.

Проте перший напівпровідниковий лазер був запущений американським вченим Холлом Р.Н. [Hall et al. Phys.Rev.Lett. 1962. V.9. P.366.], а в праці радянських фізиків [Наследов Д.Н. и др. ФТТ. 1962. Т.4. С.1062] спостерігалось лише звуження лінії люмінесценції за рахунок вимушеного випромінювання (генерація була відсутня, оскільки в експериментах не використовувався резонатор).

В 1970 р. групою під керівництвом Алферова Ж. І. був створений перший напівпровідниковий лазер на основі гетероструктури в системі AlGaAs-GaAs, який випромінював в неперервному режимі при кімнатній температурі [Алферова Ж. І., Казарінов Р.Ф. Авторське свідоцтво. №181737, пріорітет від 30.03.1963 р.]. За фундаментальні праці в області інформаційних і комунікаційних технологій Алферову Ж. І., Кремеру Г., Кілбі Д. була присуджена Нобелівська премія з фізики за 2000 р. з формулюванням відносно Алферова Ж. І., Кремер Г. «за розвиток напівпровідникових гетероструктур, що застосовуються в швидкісній оптоелектроніці».

2. Основні типи активних середовищ лазерів

На даний час лазерна генерація одержана в лабораторних умовах на спектральних лініях різних матеріалів, які є активним середовищем. Проте більшість з них представляє лише академічний інтерес, оскільки вони вимагають особливих умов для своєї роботи або є малопотужними, малоефективними чи випромінюють в спектральних діапазонах, де відсутні вікна прозорості в атмосфері. Виходячи з цього, класифікацію лазерів роблять в першу чергу для лазерів, які знайшли широке застосування в різних областях, або такі, що випускаються на продаж різними фірмами.

Лазери поділяються за типами в залежності від їхнього робочого середовища. Велика різноманітність властивостей активних речовин вимагає різних способів накачування і приводить до великої кількості різних механізмів генерації, що значно утруднює введення досить загальної простої класифікації лазерів. Тому лазери можливо

класифікувати за наступними ознаками: за агрегатним станом активного середовища (газові, твердотільні, напівпровідникові), методам накачування (газорозрядні, газодинамічні, хімічні тощо), часовому режиму генерації (неперервні, імпульсні, імпульсно-періодичні), частотному режиму генерації (одно- багатомодові, одночастотні), рівню вихідної потужності чи енергії в імпульсі, експлуатаційним характеристикам (ККД, масогабаритні параметри).

Газові лазери збуджуються переважно газовими розрядами різного типу (неперервним, імпульсним, самостійним, несамостійним). Для одержання високої потужності генерації використовують **газодинамічне накачування**. При **хімічному** збудженні інверсія створюється в результаті хімічних реакцій, що продукують збуджені атоми, молекули чи хімічні радикали. **Оптичне накачування** газових лазерів може бути ефективним лише коли джерело оптичного випромінювання досить монохроматичне (наприклад, лазерне випромінювання).

В залежності від складу і властивостей газові лазери поділяються на лазери на нейтральних атомах, іонах чи молекулах (стійких чи нестійких в основному стані).

Активним середовищем **твердотільних лазерів** є кристалічні або аморфні тіла, у матриці яких рівномірно розподілені іони домішок (перехідних металів, актиноїдів чи рідкоземельних елементів). Накачування цих лазерів здійснюється оптичним методом. До твердотільних лазерів відносяться також лазери на центрах забарвлення.

Рідинні лазери. Активним середовищем рідинних лазерів є різні розчини органічних барвників та деякі металорганічні і неорганічні рідини, які активовані іонами рідкоземельних елементів. Ці лазери поєднують властивості твердотільних і газових лазерів і мають перевагу в можливості плавного перестроювання довжини хвилі ЛВ. Накачування рідинних лазерів здійснюється оптичним методом з використанням потужних ламп і лазерів видимого та УФ діапазону спектру.

Напівпровідникові лазери. Інверсія заселеності в цих лазерах виникає на переходах між станами в електронних енергетичних зонах напівпровідникового кристалу. Основним способом накачування напівпровідникових лазерів є інжекція струму через р-п перехід або гетероперехід, а додатковими електричний пробій, електронний пучок і оптичне накачування.

Незважаючи на таку різноманітність лазерів, в них завжди можливо виділити три необхідні елементи: активне середовище, систему накачки і систему додатного зворотного зв'язку.

На даний час розвиток техніки лазерів та їх комплексів дозволяє виготовляти цілі системи лазерів для застосування в медицині (хірургія, урологія, офтальмологія), біології та хімії. Так, лазери медичного призначення характеризуються наступними параметрами:

- діапазон довжин хвиль 0.1 – 10 мкм;
- діапазон густини енергії генерації ($1 - 10^{-3}$) Дж см⁻²;
- діапазон густини потужності генерації (18 порядків): ($10^{-3} - 10^{15}$) Вт см⁻²;
- тривалість генерації (16 порядків): від неперервного режиму (≈ 10 с) до фемптосекундних імпульсів.

За останні 10-20 років значного розвитку зазнали волоконні лазери, які були запропоновані американським фізиком Снітцером Е. ще в 1961 р. [Snitzer E. Phys.Rev.Lett. 1961. V.7. P.444]. Але практичне застосування вони одержали лише після 1974 р., коли неефективна лампова накачка була витіснена накачкою лазерними діодами. На даний час провідні позиції з розробки і виготовлення волоконних лазерів займає міжнародна корпорація «IPG Photons», яка випускає серії волоконних лазерів з діодним накачуванням потужністю до 50 кВт. Волоконні лазери досить компактні та відрізняються великою надійністю в роботі і простотою в обслуговуванні.

За рахунок використання діодного накачування одержали нове життя і твердотільні лазери, які стали більш ефективними і надійними. Ці успіхи квантової електроніки були б неможливими без розвитку нових технологій створення напівпровідників та світловодів.

Лідером у створенні потужних твердотільних лазерів є США. В Ліверморській лабораторії створено твердотільні лазери з активними елементами великого діаметру з нового матеріалу – оптичної кераміки, яка має склад, аналогічний складу кристалу ітрій-алюмінієвого гранату з неодимом. Фірма «Нортроп-Грумман» виготовила демонстраційний макет транспортабельної лазерної системи з потужністю генерації, яка більша за 105 кВт, а якість променя краща трьох дифракційних границь.

Розвиток техніки потужних лазерних систем дозволив виділитись лазерному термоядерному синтезу в окремий напрямок квантової електроніки. Поштовхом до цих досліджень стало створення лазерів з модульованою добротністю резонатора в наносекундному діапазоні

часів [Mc. Clung F.J., Hellwart R.W. J.Appl.Phys. 1962. V.33. P.828.]. За допомогою таких лазерів стало можливим проводити швидке нагрівання потужним когерентним випромінюванням невеликої мішені на основі важких ізотопів водню. Ця ідея, яка була висунута Басовим М.Г. і Крохіним О.М. у 1963 р., поклала початок досліджень з інерційного термоядерного синтезу. Найбільш потужний лазер (США) дозволяє одержувати енергію в імпульсі генерації (УФ-область спектру, III – гармоніка неодимового лазера) до 1.8 МДж при тривалості імпульсу генерації на рівні декількох наносекунд. Така енергія в імпульсі генерації вже наближається до порогу запалювання керованої термоядерної реакції синтезу

3. Види лазерного впливу в медицині і типи хірургічних лазерів

Схема видів лазерного впливу при різних енергіях світлового потоку представлена на рис.1.

Хірургічні лазерні системи забезпечують: ефективну контактну і безконтактну деструкцію біотканини; сухе операційне поле; мінімальне пошкодження навколишніх тканин; ефективний гемо- та аеростаз; купірування лімфатичних проток; високу стерильність і абластичність; сумісність з ендоскопічними і лапароскопічними інструментами.

Це дає можливість ефективно використовувати хірургічні лазери для виконання найрізноманітніших оперативних втручань в урології, гінекології, оториноларингології, ортопедії та нейрохірургії. За своїми фізичними властивостями найкращим вибором для хірурга є гольмієвий лазер.

Гольмієвий лазер. Довжина хвилі випромінювання гольмієвого лазера становить 2,09 мкм. Лазерне випромінювання проникає в м'які біотканини на глибину близько 0,4 мм. Це означає, що вплив на прилеглі тканини буде незначним і не слід побоюватися небажаних великих супутніх опіків і сильного некрозу навколо лазерної рани. Кварцове скло прозоре на довжині хвилі випромінювання гольмієвого лазера, що дає можливість використовувати тонке гнучке кварцове оптичне волокно для доставки випромінювання гольмієвого лазера до об'єкта впливу. Режим роботи гольмієвого лазера імпульсний, тривалість імпульсу становить 300-600 мкс.

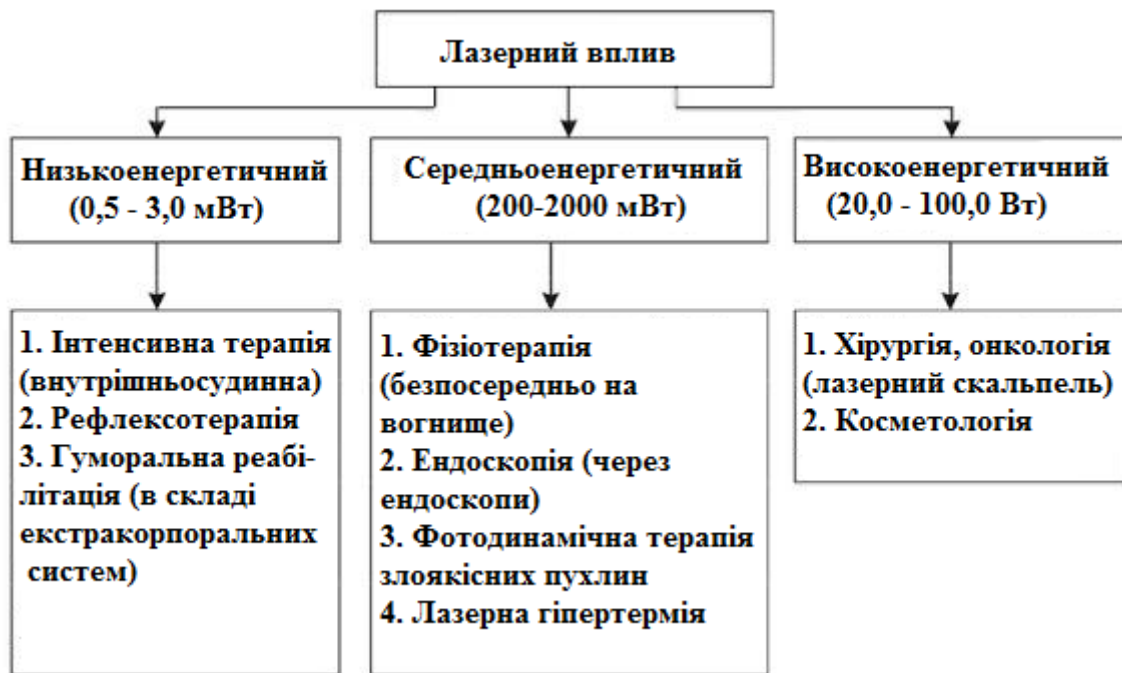


Рис.1. Види лазерного впливу в залежності від енергії світлового потоку

Частота повторення імпульсів може змінюватися в діапазоні від 1 до 20 Гц. Енергія імпульсу - до 3 Дж при середній потужності вихідного випромінювання 20-30 Вт.

Імпульсний режим значно зменшує час нагрівання біотканини і, отже, опікову реакцію організму. При цьому, пікова потужність випромінювання в 5-10 кВт дає можливість швидко випаровувати тканину практично без фази повільного нагрівання. У фізиці такий процес називається адіабатичним, який відбувається без теплообміну з оточуючими тілами. Яскраво виражені властивості гольмієвого лазера випаровувати рідини дозволяють використовувати його для випаровування новоутворень різної локалізації. Продуктивність залежить від частоти повторення і енергії імпульсу лазерного випромінювання.

CO₂-лазер. Лазер на вуглекислому газі - перший хірургічний лазер, який активно використовується починаючи з 1970-х років по теперішній час. Високе поглинання в воді і органічних сполуках (типова глибина проникнення - 0,1 мм) сприяє використанню CO₂-лазера для широкого спектру хірургічних втручань, в тому числі в гінекології, оториноларингології, загальної хірургії, дерматології, шкірно-пластичної та косметичної хірургії.

Поверхневий вплив випромінювання лазера дозволяє сікти біотканини без глибокого опіку. Це також робить випромінювання CO₂-лазера досить безпечним для очей, оскільки воно не проходить крізь рогівку і кришталик ока. Звичайно, потужний спрямований промінь може пошкодити рогівку, але для захисту досить мати звичайні скляні або пластикові окуляри. Недолік довжини світлової хвилі в 10 мкм пов'язаний з труднощами виготовлення відповідного оптичного волокна з хорошим пропусканням. Тому до сих пір найкращим рішенням цієї проблеми є дзеркальний шарнірний маніпулятор, хоча це досить дорогий оптичний пристрій, складний в юстируванні і чутливий до ударів та вібрації.

Іншим недоліком CO₂-лазера є його неперервний режим роботи. У хірургії для ефективного різання необхідно швидко випарувати біотканину без нагрівання навколишніх тканин, для чого потрібна висока пікова потужність, тобто імпульсний режим випромінювання. Сьогодні в CO₂-лазерах для цих цілей застосовують так званий «суперімпульсний» режим, при якому лазерне випромінювання має вигляд пачки коротких, але в 2-3 рази більш потужних, імпульсів у порівнянні із середньою потужністю безперервного лазера.

Неодимовий лазер. Це найпоширеніший тип твердотілого лазера для використання в медицині. Його активне середовище - кристал алюмоітрієвого гранату, активованого іонами неодиму Nd:YAG, - дозволяє отримати потужне випромінювання в ближньому ІЧ-діапазоні (на довжині хвилі 1,06 мкм) практично в будь-якому режимі роботи з високим ККД і можливістю волоконного виводу випромінювання. Глибина проникнення такого випромінювання в біологічні тканини дорівнює 6-8 мм і досить сильно залежить від її типу. Це означає, що для досягнення такого ж ріжучого ефекту, як у CO₂-лазера, для неодимового лазера потрібно в кілька разів вища потужність випромінювання. По-друге, відбувається значне пошкодження оточуючих лазерну рану тканин, що негативно позначається на післяопераційному її загоєнні, викликаючи різні ускладнення, типові для опікової реакції (рубцювання, стеноз).

Бажана сфера хірургічного застосування неодимового лазера – об'ємна і глибока коагуляція в урології і гінекології, онкологічні пухлини, внутрішні кровотечі як у відкритих, так і в ендоскопічних операціях. Випромінювання неодимового лазера невидимо і небезпечно для очей навіть в малих дозах розсіяного випромінювання. Використання в ньому спеціального нелінійного кристалу КТР (калій-

титан-фосфат) дозволяє подвоювати частоту випромінюваного світла. Одержуваний таким чином КТР-лазер, що випромінює у видимій зеленій області спектра (на довжині хвилі 532 нм), має здатність ефективно коагулювати тканини, які насичені кров'ю і використовується в судинній і косметичній хірургії.

Контрольні запитання

- 1. Коли, ким і на якому активному середовищі був розроблений перший лазер ?*
- 2. Хто і коли запустив перші лазери в СРСР та якими є три необхідні елементи цих лазерів ?*
- 3. Які відкриття в фізиці послужили основою створення лазерів?*
- 4. Коли і хто розробив перші лазери ?*
- 5. Охарактеризуйте основні проблеми, пов'язані з переходом від квантових приладів сантиметрового і дециметрового діапазону в оптичний ?*
- 6. Кому і коли була присуджена Нобелівська премія за розробку основ квантової електроніки ?*
- 7. За якими признаками поділяються лазери на типи?*
- 8. Де розроблено найбільш потужний лазер для термоядерного синтезу та яка енергія в імпульсі цього лазера ?*
- 9. Що служить основою сучасних терагерцових лазерів та якими є основні методи їх створення ?*
- 10. Які види лазерного впливу на організм людини визнаєте?*
- 11. Дайте характеристику гольмієвого, CO₂ і неодимового лазерів з точки зору їх застосування в медицині.*

ТЕМА–6. ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ ЛЮДИНИ

1. Виникнення навчальної дисципліни «Екологія людини»

За визначенням одного з сучасних провідних екологів Ю. Одума, «Екологія - це міждисциплінарна область знання, наука про будову багаторівневих систем в природі, суспільстві, їх взаємозв'язку». Понад дві тисячі років тому великий лікар стародавності Гіппократ описав вплив клімату, води, рельєфу і пір року на здоров'я жителів різних місцевостей. В його працях також містяться докази того, що чинники зовнішнього середовища і спосіб життя роблять визначальний вплив на формування тілесних та душевних властивостей людини.

Завдяки взаємодії фахівців природних, соціальних, економічних і медико-біологічних наук почала формуватися система взаємопов'язаних понять, що визначається як екологія людини. Її становлення викликано постійно зростаючим впливом людини на природу, збільшенням числа захворювань, пов'язаних з несприятливими умовами середовища проживання, активним освоєнням територій з екстремальними умовами життя і виходом людини в космос.

Сьогодні завдання аналізу впливу різних компонентів біосфери на поведінку і стан здоров'я людини є, як ніколи, актуальною.

Таким чином, *екологія людини* - це комплексний науковий та науково-практичний напрямок досліджень взаємодії народонаселення (популяцій) з навколишнім соціальним і природним середовищем. Вона вивчає соціальні і природні закономірності взаємодії людини і людства з навколишнім космо-планетарним середовищем, проблеми розвитку народонаселення, збереження його здоров'я і працездатності, вдосконалення фізичних і психічних можливостей людини.

Екологія людини повинна займатися як впливом середовища на людину, так і впливом людини на навколишнє середовище. Одне з принципових відмінностей екології людини від екології інших живих істот полягає в тому, що деяке відокремлення людини від прямого впливу середовища йде паралельно з прискоренням впровадження людини в природні процеси.

Еколог Н. Ф. Реймерс дав таке визначення: «Соціально-економічна екологія людини - це наукова область, що досліджує загальні структурно-просторові, функціональні і тимчасові закони взаємини біосфери планети і антропосистеми, а також інтегральні закономірності внутрішньої біосоціальної організації людського

суспільства». Тобто все зводиться до тієї ж класичної формули «організм і середовище», відмінність лише в тому, що «організмом» служить все людство в цілому, а середовищем - всі природні і соціальні процеси.

Комплексне вивчення людини як наукова дисципліна і екологія людини, по суті, одна наука. Оскільки людина – міра всіх речей, він повинен зайняти центральне місце при вирішенні найважливіших проблем життя на Землі.

У найзагальнішому вигляді можна сказати, що екологія людини – це наука, що вивчає взаємодію людини як біо-соціальної істоти зі складним багатокомпонентним навколишнім світом, який постійно ускладнюється.

2. Проблеми охорони здоров'я людини

Головними завданнями вчених-екологів є створення теорії екології людини, розробка методів адаптації до різних виробничих і природно-кліматичних умов з метою отримання максимальних народногосподарських результатів при мінімальному використанні природних ресурсів.

Перерахуємо базові першорядні теоретичні проблеми, що стоять перед екологією людини:

- 1) дослідження еволюції механізмів адаптації на індивідуальному, груповому, організаційному і популяційному рівнях;
- 2) виявлення специфічних і неспецифічних реакцій на вплив середовища;
- 3) вивчення еволюційно-генетичної типології і особливостей адаптаційних механізмів - створення екологічних портретів різних груп населення;
- 4) дослідження ролі чинника часу у формуванні адекватних реакцій;
- 5) вивчення впливу космічних, земних і соціальних факторів і їх ритмів на стан здоров'я людини або на виникнення порушень його адаптаційних механізмів.

Особливо важливо виявити регіональну норму здоров'я в різних кліматично-географічних зонах: Крайній Півночі, високогір'ями, а також в екологічно неблагополучних промислових і сільськогосподарських регіонах. Для цього потрібно мати достовірні статистичні показники структури здоров'я і основних життєво важливих систем – нервово-психічної, респіраторної, серцево-

судинної, а також відомості про смертність, захворюваність і тривалість життя.

В результаті забруднення довкілля збільшилася кількість серцево-судинних і психічних захворювань, соціальних проблем і травм різного походження. Порушення в генетичній інформації людини, що підривають спадкове здоров'я населення, об'єднуються під назвою «генетичного вантажу». Питання «генетичного вантажу» поки що висвітлені недостатньо. Його роль обмежується поданнями про наявність в геномі хромосомних і генних мутацій, в основному домінантних, з явним летальним результатом. Мало вивчені генетичні пошкодження, а також ті масові захворювання людей, генетичне походження яких не викликає сумнівів: атеросклероз, гіпертонія, цукровий діабет, ендокринні порушення, виразкова хвороба, дегенеративні ураження центральної і периферичної нервової системи, психічні хвороби тощо.

Для вирішення гострих питань потрібні докорінні соціально-економічні перетворення. Так, відомо, що зусилля працівників охорони здоров'я орієнтовані переважно на діагностику і лікування захворювань, тоді як здоров'я населення - це похідне численних впливів на організм людини, включаючи природно-кліматичні, виробничі, соціальні, побутові впливи, а також рівень трудової активності і творчого потенціалу. З екологічної точки зору, поняття здоров'я відображає наявність повного урівноваження пристосування організму до умов навколишнього середовища.

Сучасна медицина має справу переважно з негативними наслідками науково-технічного прогресу. Вона отримує в якості пацієнтів людей, які не змогли адаптуватися до умов навколишнього середовища. Вирішуючи з різним ступенем ефективності завдання відновлення здоров'я, медицина не може стати ланкою зворотного зв'язку в системі «людина-середовище»: занадто велике запізнення сигналу неблагополуччя - він подається не до, а після виходу системи з ладу. Статистичні зведення констатують лише зростання захворюваності населення. Заважає і відсутність чітких критеріїв здоров'я, недостатня організаційно-методична підготовленість наших лікарняно профілактичних установ (ЛПУ), немає ефективних засобів оцінки рівнів здоров'я та визначення адаптаційних можливостей організму. Одне з рішень цієї важливої проблеми - використання методів профілактичного обстеження в розпізнаванні функціональних станів організму в зоні прикордонної між нормою і патологією, і

введення класифікації таких станів на основі сучасних уявлень теорії адаптації. Застосування цих методів в практиці масових обстежень населення показало їх ефективність у визначенні рівня здоров'я не тільки окремих індивідуумів, а й груп населення, трудових колективів.

У зв'язку з вищевикладеним, для вирішення найважливіших проблем екології людини доцільно використовувати моніторинг навколишнього середовища, дослідження впливів екологічних умов на здоров'я і соціально-трудова потенціал людей.

Показники рівня здоров'я виробничих колективів значно краще характеризують трудові ресурси, ніж показники захворюваності. Тому завдання з керування трудовими ресурсами, їх заощадження і поповнення є, по суті, екологічною проблемою, оскільки її вирішення можливе лише шляхом зміни умов навколишнього середовища. При вирішенні глобальних екологічних проблем повинна застосовуватися багатовимірна система оцінки: медико-біологічна, соціальна, економічна і моральна.

3. Вплив природних та екологічних чинників на екологію людини

Завдання дослідження природного середовища і ресурсів Землі за допомогою космічних апаратів досить численні і різноманітні. Дослідження Землі з космосу набувають все більш екологічного характеру. Численні пілотовані польоти довели, що при створенні необхідних умов життєдіяльності людина може жити і працювати на космічних літальних апаратах. Однак при цьому космонавти відчувають сильний вплив чинників, пов'язаних з динамікою польоту і тривалим перебуванням в штучних умовах.

Найбільш істотно впливають на людину в польоті невагомість, космічна радіація, штучне середовище проживання, нервово-емоційне напруження, а також особливості праці та побуту. У міру накопичення досвіду медичного та медико-технічного забезпечення космічних польотів стало очевидним, що людина може пристосуватися до незвичайних умов існування, а його основні функціональні системи в змозі забезпечувати збереження достатнього рівня працездатності. Незважаючи на те, що реакції організму космонавтів відрізнялися вираженою індивідуальністю, вдалося виявити найбільш типові: вестибулярні розлади, зниження почуття спраги і апетиту, помірне

зниження фізичної працездатності, стомлюваність і зміна параметрів функціонування космонавтів.

На рис.1. представлена класифікаційна схема факторів космічного польоту. Було виявлено, що зрушення у функціональній діяльності космонавтів відбувалися не тільки в польоті, але і після повернення на Землю, причому вони були тим значніше, чим довше тривав політ. Процес адаптації протікає поступово, в кілька стадій, що відрізняються переважним залученням тих чи інших функціональних систем організму і рівнем його гомеостатичної стабільності.



Рис.1. Класифікаційна схема факторів космічного польоту

На рис.2. представлена схема впливу факторів космічного польоту на організм людини. Серед цих факторів провідну роль відіграє невагомість, специфічний вплив якої практично неможливо моделювати в земних умовах.

Ефекти невагомості обумовлені в основному двома причинами: зняттям гідростатичного тиску крові і зняттям гравітаційного навантаження на опорно-руховий апарат космонавта.

У комплекс виникаючих при цьому змін велике значення має зниження інтенсивності довільної рухової активності в умовах нульової гравітації.

Типовим проявом дії невагомості є ефект перерозподілу циркулюючої крові. Космонавти чітко відчувають посилений приплив

крові до верхньої частини тіла, відзначають одутлість особи, гіперемія склер очей, відчуття тяжкості в голові. З організму виводяться рідина, а потім і різні електроліти (натрій, хлор, калій тощо).

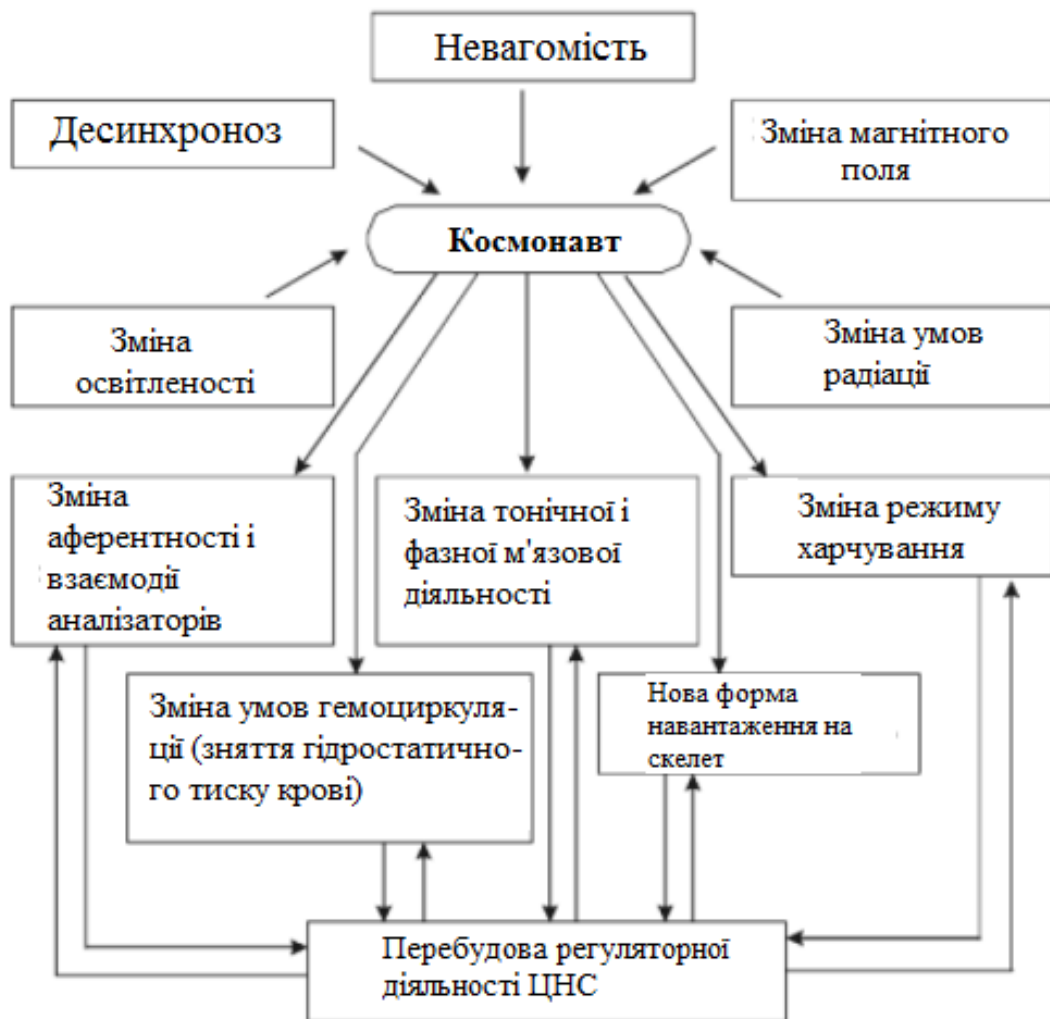


Рис.2. Схема впливу факторів космічного польоту на організм людини

Їх втрата обумовлена прагненням організму зберегти осмотичний рівновагу. Те, що відбувається в результаті цього зменшення маси від циркулюючої крові створює більш сприятливі умови для кровообігу в області грудної клітини і голови, але одночасно служить сигналом для зміни водно-сольового обміну.

Поряд зі зменшенням фізичного навантаження зміна гемодинаміки в невагомості призводить до погіршення регуляції діяльності серця, зрушень в обміні речовин міокарда.

Відсутність ваги на борту космічного корабля створює умови зниженого навантаження на м'язовий апарат людини, в результаті чого розвивається функціональна атрофія м'язів. Найбільшою мірою це

стосується так званих антигравітаційних м'язів, які відповідальні за організацію пози і в умовах дії сили земного тяжіння протидіють їй при виконанні будь-якого руху.

Знижена навантаження на м'язову систему навіть при короткочасному перебуванні в невагомості призводить до зниження біоелектричної активності м'язів шиї, спини, стегна, а при більш тривалій невагомості - до зменшення їх обсягу, особливо м'язів нижніх кінцівок. Ці зміни служать як би пусковим механізмом для перебудови обміну речовин у м'язовій тканині: знижується споживання кисню в результаті зменшення інтенсивності процесів енергоутворення, знижується синтез білка, швидкість включення в нього амінокислот, посилюється виведення з організму продуктів обміну, які свідчать про розпад м'язових білків.

Збільшення тривалості космічних польотів підвищує актуальність проблеми демінералізації кісткової тканини, зміни її механічних властивостей. Однак в даний час ще не знайдені ефективні способи впливу на обмін кальцію, що запобігають виникненню його негативного балансу в організмі під час космічного польоту. Тому втрата кальцію організмом розглядається як одна з причин обмеження тривалості польотів людини.

В умовах невагомості і при її імітації виникають різноманітні зрушення в системі крові: зміни червоних і білих формених елементів, збільшення реакції осідання еритроцитів, зміни системи згортання крові та ін. Однак найбільшу увагу фахівців привертає феномен зменшення маси еритроцитів. Практика космічних польотів показала, що зменшення маси еритроцитів може досягати і навіть кілька перевищувати 20% в початковій фазі польоту і після його завершення.

Розробляючи проблему фізіологічної адаптації до штучного середовища існування космічних літальних апаратів і до певних природних умов, важливо не тільки застосовувати індивідуальні критерії відбору людей, а й мати схему біогеохімічного районування місця адаптації та району, звідки прибула людина. Все це дозволить встановити екопортрет кожної людини і знайти науково обґрунтовані засоби цілеспрямованого управління процесом адаптації.

При вивченні фізіологічних механізмів адаптації дуже важливо враховувати і фактор часу. По суті, біологічна картина складніше фізичної в основному за способом, яким в неї включається час.

Контрольні запитання

1. *Що вивчає навчальна дисципліна «екологія людини»?*
2. *Які першочергові проблеми стоять перед екологією людини?*
3. *Що необхідно знати для визначення норми здоров'я в різних кліматичних, географічних і екологічно неблагополучних промислових та сільськогосподарських регіонах нашої країни?*
4. *Які інструменти використовуються для вирішення проблем екології людини?*
5. *Яка система оцінки повинна застосовуватися при вирішенні глобальних екологічних проблем?*
6. *Які фактори космічного польоту роблять свій вплив на організм космонавта?*
7. *Які проблеми фізіологічного стану космонавтів з'являються в зв'язку зі збільшенням тривалості космічних польотів?*
8. *Назвіть причини, що обмежують тривалість польотів людини в космос?*
9. *Що необхідно мати на увазі при вирішенні проблеми фізіологічної адаптації космонавта до штучної середовищі існування?*

ТЕМА–7. ОСНОВИ ВИМІРЮВАННЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ОБ’ЄКТІВ БМІ

На даний час аналітична техніка, що використовується в біомедичній інженерії, є основною отримання об’єктивної інформації про стан і функціонування організму людини.

Робота функціональних систем людини забезпечується складними фізичними процесами і хімічними реакціями, що протікають в живих клітинах при надходженні в організм із зовнішнього середовища їжі, води і кисню. А сам стан внутрішнього середовища людини характеризується великою кількістю медико-біологічних показників, значення яких визначаються при аналізах біологічних рідин, виділень і тканин організму.

Сучасна тенденція розвитку аналітичних досліджень в медико-біологічній практиці характеризується розширенням спектру засобів біомедичної вимірювальної техніки - за рахунок використання автоматизації засобів аналізу на базі мікропроцесорів і персональних комп'ютерів.

Зарубіжні та вітчизняні фірми і підприємства випускають велику кількість засобів біомедичної аналітичної техніки: від найпростіших вимірювальних приладів до найскладніших вимірювальних установок, що здатні автоматично виконувати різні аналітичні процедури, обробляти отриману вимірювальну інформацію за допомогою мікропроцесорів і комп'ютерів і представляти результати аналізів в найбільш наочною для сприйняття формі.

1. Фізико–хімічні вимірювання з використанням біомедичної аналітичної техніки та основні показники біоматеріалів

Засоби аналітичної техніки для проведення фізико-хімічних вимірювань, складають найбільший кластер вимірювальної техніки. Вони широко застосовуються для контролю технологічних процесів в таких важливих галузях промисловості, як хімічна, нафтопереробна, нафтохімічна, газова, металургійна, харчова та ін., в сільському господарстві, а також в системах контролю навколишнього середовища.

Особливе місце ці пристрої займають в медико-біологічних дослідженнях. Так, від 30 до 70% об'єктивної інформації про функціонування різних систем організму людини забезпечується лабораторними аналізами, при яких шляхом фізико-хімічних вимірювань визначаються значення різних медико-біологічних показників людини. Це дозволяє діагностувати різні захворювання, виявляти тенденції їх розвитку і контролювати хід оздоровчих процесів.

Оснащення медичних лабораторій новими засобами аналітичної техніки є результатом тривалого відбору вимірювальних приладів і установок, що використовуються в різних галузях науки і техніки та їх адаптації для вирішення завдань БМІ.

Сукупність засобів фізико-хімічних вимірювань, адаптованих для визначень медико-біологічних показників, і засобів вимірювання, спеціально створених для визначення цих показників, можливо об'єднати поняттям біомедична аналітична техніка.

На даний час засобами біомедичної аналітичної техніки можливо встановити кілька тисяч компонентів біологічних середовищ, які представляють інтерес для виявлення тих чи інших патологій людини.

Цим фактом визначається інтерес приладобудівних фірм і організацій до вдосконалення засобів біомедичної аналітичної техніки. Зусилля вчених та інженерів в цій області спрямовані на створення нових методів і засобів аналізу, а також вдосконалення існуючих засобів аналітичної техніки (збільшення їх швидкодії, чутливості, точності і надійності).

При медико-біологічних дослідженнях застосовуються різні біоматеріали: біологічні рідини, різні тканини організму, продукти виділень, мікроорганізми, які існують у внутрішньому середовищі організму людини, а також газу.

Для аналізів використовують по можливості мінімальну кількість біоматеріалу, яке називається **пробою**. Ця проба може перебувати в твердому, рідкому і газоподібному станах. Визначення медико-біологічних показників є складним аналітичним завданням, що обумовлено властивостями біоматеріалу (мала концентрація проби, і її багатоконпонентність, гетерогенність тощо). З позиції фізико-хімічних досліджень виділяються наступні медико-біологічні показники: фізико-хімічні властивості, відносні показники, концентрація, рахункова концентрація і склад.

Фізична властивість середовища, яке аналізується, - це фізична величина, а хімічна властивість - це здатність даного середовища брати участь в хімічних реакціях. Ці дві властивості зазвичай об'єднуються поняттям фізико-хімічна властивість. До фізико-хімічними властивостями відносяться такі властивості, як щільність, в'язкість, коефіцієнт заломлення і ін..

На відміну від фізико-хімічної властивості умовна характеристика являє собою медико-біологічний показник, значення якого залежить від вимірювальної апаратури. Тому принципи і засоби вимірювань відносних показників зазвичай стандартизуються. До таких умовним характеристик відносяться швидкість осідання еритроцитів, характеристики згортання крові тощо.

Оскільки біоматеріали – це переважно різні суміші, то їх поділяють на *бінарні, багатокomпонентні і псевдобінарні*. *Бінарна суміш* - це суміш, що складається з двох компонентів. *Багатокomпонентна суміш* – це суміш, що складається з трьох або більше компонентів. *Псевдобінарна суміш* -це багатокomпонентна суміш, яка при певних умовах за окремим фізико-хімічним властивості може розглядатися як бінарна. Компоненти, що становлять суміш, підрозділяються на такі, які визначаються і які є невизначеними. *Обумовлений компонент* - це компонент суміші, що підлягає кількісному визначенню. *Невизначений компонент* – це компонент суміші, який не підлягає кількісному визначенню.

Концентрацію компонентів в сумішах в залежності від зручності і вимог задачі визначають в різних одиницях. У загальному випадку використовують масову C_m і об'ємну C концентрації, які визначаються відповідно як відношення маси або обсягу даного (і-го) компонента до маси або обсягу всієї суміші. Концентрацію виражають в частках або відсотках (відповідно, у відсотках масових (% мас.) і відсотках об'ємних (% об'єм.)). Зв'язок між перерахованими концентраціями описується виразом:

$$C_{mi} = C_i \frac{\rho_i}{\rho}, \quad (1)$$

де C_{mi} і C_i - масова і об'ємна концентрації і-го компонента; ρ_i і ρ - густина і-го компонента і аналізованої середовища. Масову

концентрацію вимірюють також в одиницях $\left[\frac{\text{од.маси}}{\text{од.об'єму}} \right]$, наприклад, кг/м^3 , мг/м^3 і т. д.

Для вираження малих об'ємних концентрацій на рівні тисячних, мільйонних або мільярдних часток, використовують відповідно позначення pm, ppm і ppb: pm (лат. Pro mille - на тисячу), ppm (англ. Parts per million - частина на мільйон), ppb (англ. parts per billion - частина на мільярд):

$$1 \text{ pm} = 10^3 = 10^{-1}\% \text{ об.}; \quad (2)$$

$$1 \text{ ppm} = 10^6 = 10^{-4}\% \text{ об.}; \quad (3)$$

$$1 \text{ ppb} = 10^9 = 10^{-7}\% \text{ об.} \quad (4).$$

Для розчинів часто вживають такі вирази вмісту розчиненого речовини.

Молярна концентрація являє собою відношення кількості речовини до об'єму розчину. При цьому розчин, що містить в 1 л 1 моль розчиненої речовини $\left[\frac{\text{моль}}{\text{л}} \right]$, Називають молярним (М) або *моляльна концентрація* являє собою відношення кількості розчиненої речовини до маси розчинника $\left[\frac{\text{моль}}{\text{кг}} \right]$. При цьому, розчин, що містить в 1 кг 1 моль розчиненої речовини, називають моляльним (m).

Еквівалентна концентрація являє собою відношення числа еквівалентів розчиненої речовини до об'єму розчину. При цьому, розчин, який містить в 1 л 1 г-екв розчиненої речовини, називають нормальним (н).

2. Класифікація методів аналізу і засобів аналітичної техніки

В основі медико-біологічних аналітичних досліджень лежить хімічний аналіз. Тобто, сукупність операцій, метою яких є визначення, з яких молекул, атомів, іонів, клітин складається проба аналізованого середовища (якісний аналіз, ідентифікація), або визначення концентрації цих компонентів (кількісний аналіз). На даний час поняття хімічного аналізу використовується в більш широкому сенсі, а саме хімічний аналіз включає також визначення фізико-хімічних властивостей і відносних показників аналізованого середовища.

Для реалізації хімічного аналізу використовують різні методи аналізу. Поняття метод аналізу можна визначити як сукупність хімічних або фізичних впливів на пробу аналізованого середовища і

вимірювань величини (або величин), які визначають результати цих впливів. В окремих випадках метод аналізу може передбачати тільки вимірювання фізичної величини.

З позиції фізико-хімічних вимірювань всі методи хімічного аналізу можна розділити на дві групи: фізичні та фізико-хімічні.

Фізичні методи аналізу засновані на вимірюванні фізичних величин, властивих аналізованому середовищу, наприклад, щільності, в'язкості, коефіцієнта заломлення, оптичної щільності.

Фізико-хімічні методи аналізу засновані на хімічних перетвореннях аналізованого середовища і вимірюванні фізичних величин, що характеризують ефекти, якими супроводжуються ці перетворення, наприклад, забарвлення розчину, об'єму осаду, обсягу аналізованого середовища.

У свою чергу, фізико-хімічні методи аналізу можна розділити на хімічні і біохімічні.

У перших для хімічних перетворень використовуються різні хімічні реагенти, а в других - матеріали біологічної природи.

Залежно від попереднього впливу на аналізоване середовище розрізняють: методи аналізу без попереднього перетворення аналізованої середовища і методи аналізу з попереднім перетворенням аналізованого середовища. При реалізації останніх використовуються фізичні та хімічні методи перетворення аналізованого середовища. Фізичними називають перетворення, при яких змінюються фізичні властивості або стан аналізованого середовища, а склад залишається незмінним (наприклад, зміна агрегатного стану середовища, розбавлення цього середовища). Хімічними називають перетворення, при яких змінюється склад аналізованого середовища.

Методи аналізу складу аналізованих середовищ поділяють на селективні та інтегральні.

Селективними називають методи аналізу складу, що базуються на використанні фізичного явища або хімічної реакції, які вибірково (однозначно) залежать від концентрації в суміші аналізованого компонента або групи компонентів одного класу.

Інтегральними (невибірковими) називають методи аналізу складу, що базуються на відмінності фізико-хімічних властивостей компонентів аналізованого середовища.

Сучасний аналіз медико-біологічних показників людини і контроль біотехнологічних процесів багато в чому базуються на

використанні спеціальних технічних засобів, які називаються аналізаторами.

Аналізатор- вимірювальний прилад, вимірювальна установка або вимірювальна система, призначені для визначення складу або властивостей аналізованих середовищ.

Автоматичний аналізатор - аналізатор, в якому всі операції здійснюються автоматично.

Напівавтоматичний аналізатор - аналізатор, в якому автоматично здійснюється більша частина операцій.

Індикатор (визначник) – це аналізатор, що виробляє інформацію про якісний склад аналізованого середовища (наприклад, про наявність чи відсутність будь-якого компонента).

Для класифікації сучасних аналізаторів використовується ряд класифікаційних ознак. Найбільш важливі з цих ознак представлені в класифікації, наведеної на рис.1.

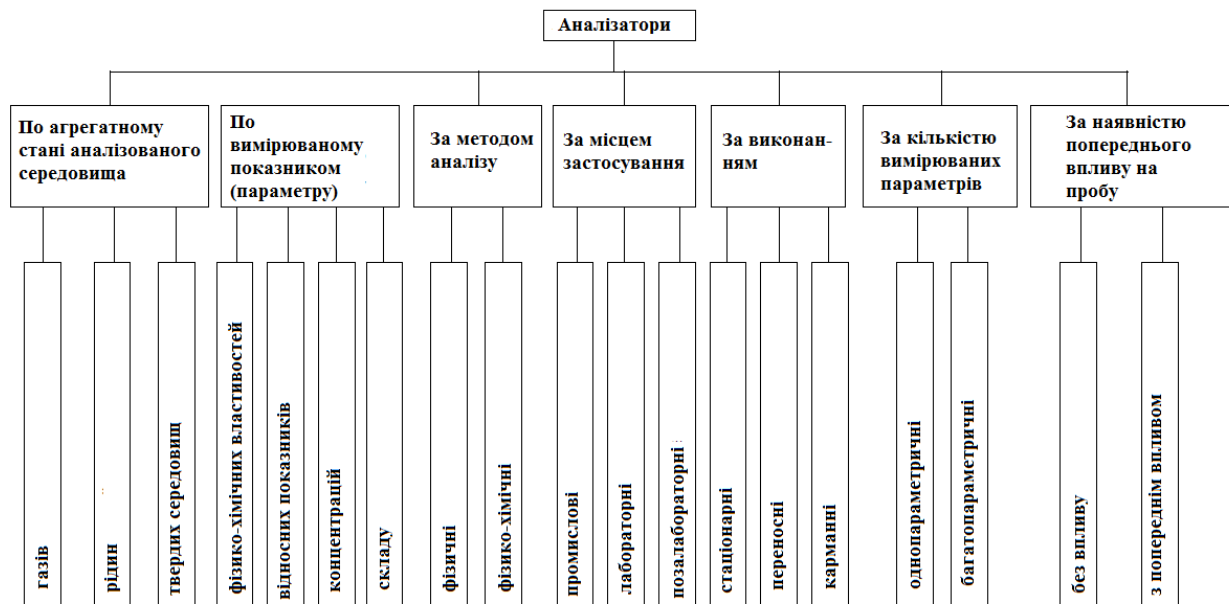


Рис.1. Класифікація аналізаторів.

Крім того, аналізатори класифікуються за принципом дії, тобто по явищу (сукупності явищ), яке використовується для одержання вимірювальної інформації.

3. Структурні схеми біомедичних аналізуючих пристроїв

На даний час відсутня загальноприйнята термінологія для біомедичної аналітичної техніки. У той же час «аналізатор» являє собою засіб вимірювань. Цим обумовлена доцільність використання

при розгляді структурних схем біомедичних аналізаторів термінів і визначень, які відповідають рекомендаціям з міждержавної стандартизації в галузі метрології та вимірювальної техніки.

На рис.2 наведена структурна схема основного вимірювального пристрою всіх аналізаторів - датчика фізико-хімічних властивостей або концентрації. Він містить первинний вимірювальний перетворювач, чутливий елемент, який знаходиться в контакті з аналізованим середовищем і сприймає вплив вимірюваної величини X цього середовища. Цей перетворювач перетворює вимірювану величину в деяку іншу величину (вимірювальний сигнал), яка сприймається проміжним (передавальним) вимірювальним перетворювачем, а цей перетворювач, в свою чергу, перетворює сигнал первинного вимірювального перетворювача в вимірювальний сигнал Y , зручний для обробки, зберігання, подальшого перетворення, індикації і передачі.

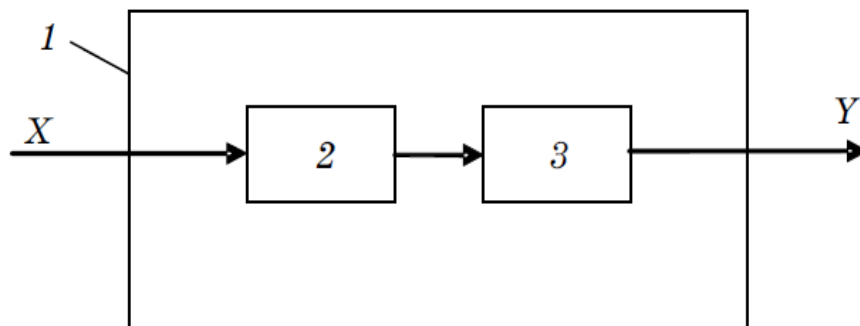


Рис.2. Структурна схема датчика фізико-хімічної властивості або концентрації (аналітичного датчика): 1 - аналітичний датчик (сенсорний пристрій); 2 - первинний вимірювальний перетворювач (сенсор); 3 - проміжний вимірювальний перетворювач.

У зарубіжній літературі датчик фізико-хімічної властивості або концентрації, первинний вимірювальний перетворювач і проміжний вимірювальний перетворювач зазвичай називають відповідно сенсорним пристроєм, сенсором (розпізнає елементом) і трансд'юсером (англ. Transducer - перетворювач, передавач). У деяких датчиках фізико-хімічних властивостей або концентрації вимірювальний сигнал Y може вироблятися безпосередньо первинним вимірювальним перетворювачем.

На рис.3. представлені структурні схеми різних аналітичних вимірювальних приладів. Загальним для даних приладів є наявність в їх складі первинного та проміжного вимірювальних перетворювачів і

пристрою обробки і відображення інформації, який представляє результати вимірів Z в формі, зручній для сприйняття людини.

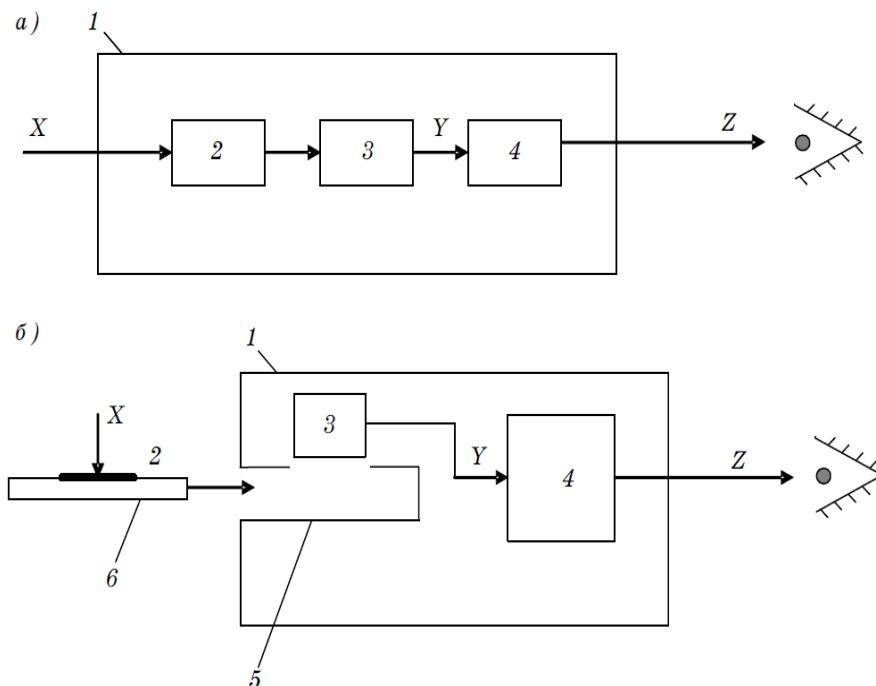


Рис.3. Структурні схеми аналітичних вимірювальних приладів:

1 - аналітичний вимірювальний прилад, 2 - первинний вимірювальний перетворювач, 3 - проміжний вимірювальний перетворювач, 4 - пристрій обробки і відображення інформації, 5 – приймальний відсік приладу, 6 - пориста смужка з реакційним шаром.

У приладі (рис.3, а) рідке середовище, яке аналізується, подається до чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача у вигляді проби, а газоподібне середовище аналізується, як правило, - в вигляді потоку газу. Робота первинного і проміжного вимірювальних перетворювачів, що входять до складу вимірювальних приладів, нічим не відрізняється від їх роботи, яка описаної вище, а вихідний сигнал Y надходить в пристрій обробки і відображення інформації, яка зазвичай включає аналого-цифровий перетворювач, мікропроцесор і цифровий відліковий пристрій.

Структурна схема вимірювального приладу (рис.3) характерна для переносних аналізаторів. Тут пробу аналізованого рідинного середовища наносять на спеціальну пористу смужку, яка містить в сухому вигляді реагент, здатний вступати в селективну хімічну реакцію з визначальним компонентом аналізованого середовища. Тобто, ця смужка є первинним вимірювальним перетворювачем. Після завершення реакції забарвлення смужки змінюється. Смужка

вводиться в приймальний відсік приладу, де за допомогою проміжного вимірювального перетворювача, вимірюється ступінь зміни забарвлення смужки і виробляється сигнал Y , що передає інформацію про значення вимірюваного параметра, який надходить в пристрій обробки і відображення інформації.

Аналітичні вимірювальні установки являють собою розташовану в одному місці сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань та допоміжних пристроїв, які забезпечує отримання вимірювальної інформації про декілька вимірюваних величинах одного або декількох аналізованих середовищ, тобто, вони є багатопараметричними аналізаторами.

Узагальнена структурна схема аналітичної вимірювальної установки показана на рис.4. У вимірювальних установках з накопичувача аналізованих середовищ (зразків) за допомогою автоматичного пристрою відбору та введення проб, останні направляються в пристрій попереднього впливу, в якому здійснюються хімічні або фізичні дії на ці проби.

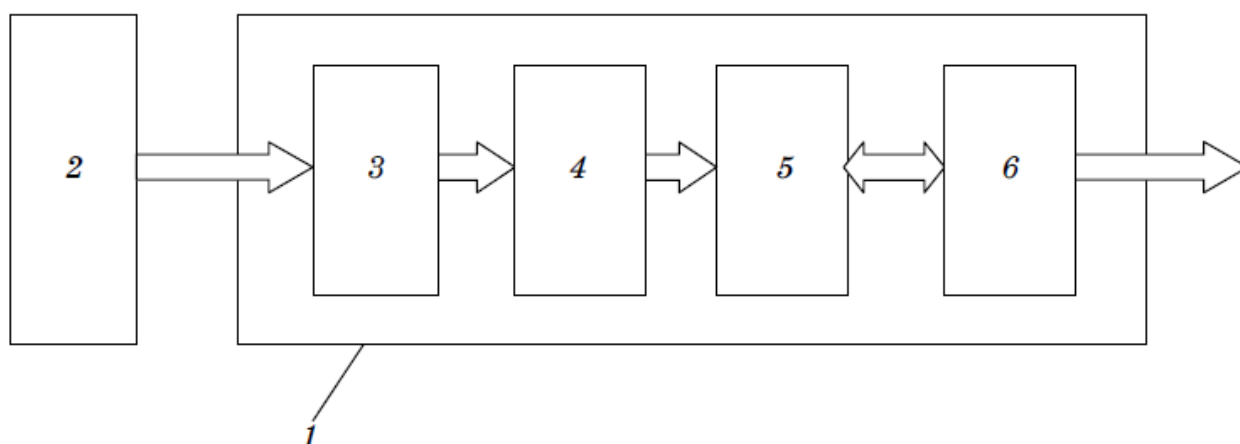


Рис.4. Структурна схема аналітичної вимірювальної установки:

1 - аналітичне пристрій вимірювальної установки; 2 - накопичувач зразків аналізованих середовищ; 3 - автоматичний пристрій відбору та введення проб аналізованих середовищ; 4 - пристрій попереднього впливу на пробу; 5 - блок первинних вимірювальних перетворювачів; 6 - блок обробки і відображення інформації.

Ці дії або забезпечують саму можливість отримання вимірювальної інформації, або оптимізують умови вимірювань. Субстанції, які одержуються після впливу на проби аналізованого середовища (середовищ), надходять у блок первинних вимірювальних перетворювачів, в якому вимірюються фізичні або фізико-хімічні

властивості чи концентрації компонентів даних субстанцій. Сигнали з блоку первинних вимірювальних перетворювачів надсилаються в пристрій обробки і відображення інформації, в якому за результатами обробки сигналів формується інформація про вимірювальні медико-біологічні показники аналізованого середовища. Пристрій обробки і відображення інформації є або спеціалізованим мікропроцесорним пристроєм, або персональним комп'ютером, що підтримує аналого-цифровим перетворювачем.

Аналітичні вимірювальні системи являють собою сукупність засобів вимірювальної техніки, комп'ютерів і допоміжних пристроїв, які розміщені в різних точках відносно об'єкта вимірювань, що призначена для отримання інформації про одну або кількох вимірюваних величин одного чи декількох аналізованих середовищ і вироблення вимірювальних сигналів в різних цілях.

На рис.5.,а показана структурна схема найпростішої аналітичної вимірювальної системи.

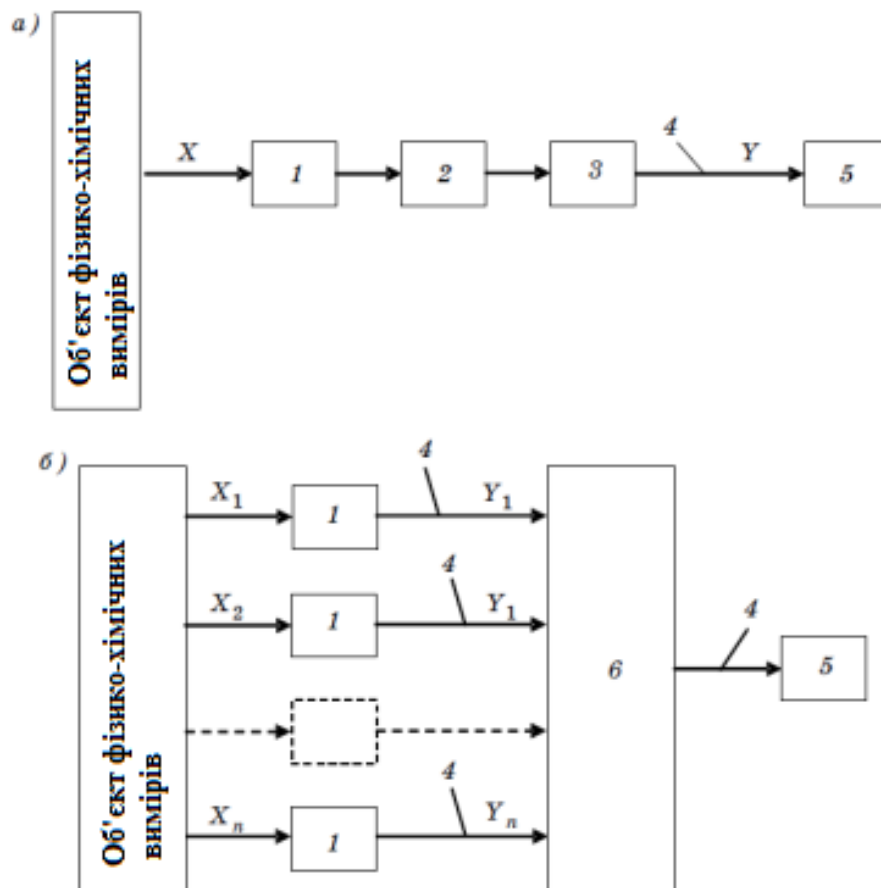


Рис.5. Структурні схеми аналітичних вимірювальних систем:

1 - датчик; 2 - проміжний вимірювальний перетворювач; 3 - вимірювальний перетворювач; 4 - канал зв'язку; 5 - приймач інформації; 6 – комутатор.

Ця система включає до свого складу датчик, що знаходиться в контакті з об'єктом вимірювань, і приймач інформації, який розташовується у видаленні від об'єкта вимірювань. Перераховані вимірювальні пристрої з'єднані між собою відповідними каналами зв'язку. Таким чином, характерною рисою вимірювальних систем є те, що датчик і приймач інформації просторово розділені.

Конструкція каналів зв'язку може бути досить різноманітною: від найпростішої, наприклад у вигляді двох провідників, до складної апаратури радіоканалу, що містить радіопередавач і радіоприймач.

Залежно від типу вимірюваної величини, принципу дії датчика, відстані, на яку потрібно передати інформацію. До складу вимірювальної системи можуть бути додатково включені проміжний і вимірювальні перетворювачі.

Приймач інформації – це спеціалізоване мікропроцесорний пристрій або комп'ютер, які забезпечують представлення результатів вимірювань в формі, зручній для сприйняття людиною.

На рис.5.б показана структурна схема аналітичної вимірювальної системи, яка на відміну від системи (рис. 5.а) дозволяє отримувати вимірювальну інформацію про декілька вимірюваних величинах.

У цій системі датчики окремих вимірюваних величин X_1, X_2, \dots, X_N , по черзі за допомогою комутатора підключаються до приймача інформації. У наведеній на рис.5.б системі показані для простоти тільки датчики. У загальному випадку в неї можуть включатися проміжні і вимірювальні перетворювачі. Сигнали Y_1, Y_2, \dots, Y_N , які надходять з каналів зв'язку в комутатор, повинні бути однакові за своєю природою і діапазону вимірювань. Це необхідно для їх сприйняття одним і тим же приймачем інформації.

Аналітичні вимірювальні системи використовуються для визначення медико-біологічних показників при розміщенні біологічних об'єктів на літаках, в космічних кораблях, барокамерах тощо, а також при постійному контролі й управлінні технологічними апаратами в біохімічній і фармацевтичній промисловості.

4. Фізичні основи роботи фотоабсорбційних аналізаторів

Робота всіх оптичних аналізаторів базується на вимірюванні потоків електромагнітних випромінювання.

Електромагнітні випромінювання (хвилі) являють собою змінне електромагнітне поле, яке розповсюджується в просторі з кінцевою швидкістю. Основними характеристиками електромагнітного

випромінювання є частота f і довжина хвилі λ , пов'язані між собою співвідношенням

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (5)$$

де c – швидкість поширення електромагнітного випромінювання (в вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Властивості електромагнітного випромінювання сильно розрізняються залежно від довжини хвилі. Для отримання вимірювальної інформації в лабораторних медико-біологічних дослідженнях надзвичайно важливе значення мають випромінювання оптичного діапазону, до якого прийнято відносити невидиме ультрафіолетове (УФ), інфрачервоне (ІЧ) і видиме (ВД) випромінювання. Об'єднання УФ-, ІЧ-і ВД-випромінювання в загальний оптичний діапазон визначається спільністю методів їх одержання і вимірювання. Тому оптичним аналізатором називають спектральний аналізатор, який використовує для аналізу випромінювання оптичної області спектру.

Оптичні методи аналізу в даний час є найбільш великою групою аналітичних методів, що широко використовуються в медико-біологічних дослідженнях. В основі цих методів лежать фізичні явища, такі як поглинання, розсіювання, відбивання, поляризація і заломлення потоків електромагнітного випромінювання. При цьому, використовується монохроматичні, поліхроматичні, немонахроматичні і когерентні електромагнітні випромінювання. В оптичному аналізі електромагнітні випромінювання прийнято характеризувати енергетичними чи фотометричними величинами, такими як потік випромінювання Φ , сила випромінювання (інтенсивність потоку) I , енергія випромінювання Q тощо.

Оптичні методи аналізу на даний час реалізуються різноманітними високочутливими і точними автоматичними і напівавтоматичними аналізаторами найважливіших медико-біологічних показників.

Принцип дії фотоабсорбційних (лат. Absorption - поглинання) аналізаторів заснований на явищі поглинання гомогенним середовищем, що аналізується, електромагнітного випромінювання (світла), яке залежить від концентрації обумовленого компонента в

цьому середовищі. Аналізатори, які використовують даний принцип дії, прийнято розділяти на фотометри, фотоколориметри (фотометри для забарвлених середовищ) і спектрофотометри.

Відомо, що потік електромагнітного монохроматичного випромінювання Φ_0 з довжиною хвилі λ при проходженні через прозорий скляний або пластмасовий посуд, який називають кюветою, що заповнена гомогенним середовищем, послаблюється до значення Φ . Причому це ослаблення пов'язано як з поглинанням цього потоку аналізованої середовищем, так і з потоком відбитим від стінок посудини (рис.6.).

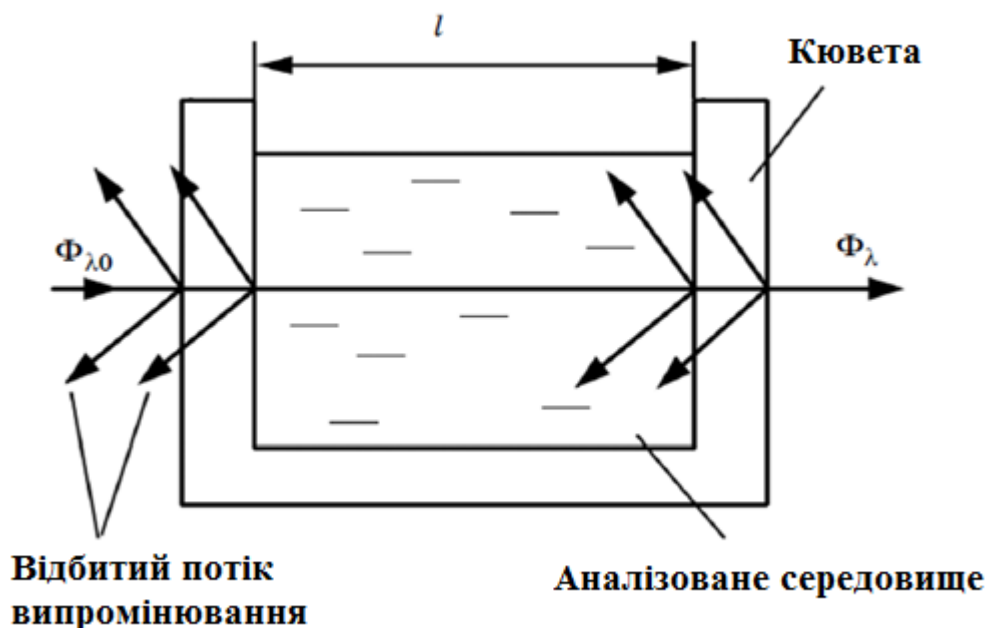


Рис.6. Схема поширення потоку електромагнітного випромінювання в кюветі.

Ослаблення потоку випромінювання без урахування відбивання в разі, якщо стінки кювети паралельні один одному, а потік спрямований перпендикулярно до поверхні стінок, описується законом Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-k}, \quad (6)$$

або

$$\Phi = \Phi_0 10^{-al}, \quad (7)$$

$k = 2,3026 a$, де a і k - показник і натуральний показник поглинання; l - товщина поглинаючого шару аналізованого середовища.

Вирази (6) і (7) з урахуванням відбивання світла від стінок кювети можна записати у вигляді:

$$\Phi = A\Phi_0 e^{-kl}; \quad \Phi = A\Phi_0 10^{-al}, \quad (7)$$

де A – коректуючий коефіцієнт, що враховує відбивання електромагнітного випромінювання від стінок кювети, який приблизно рівний 0,9. Зазвичай при аналізі роботи фотоабсорбційних аналізаторів використовується вираз (7). Для випадку, коли обрана довжина хвилі, на якій має місце вибіркове поглинання випромінювання, є визначальним компонентом аналізованого середовища, цей вираз записується у вигляді

$$\Phi = \Phi_0 10^{-lkC}, \quad (8)$$

де: $a = kC$, k - постійна, що залежить від природи компонента, який визначається, і довжини хвилі λ випромінювання; C - концентрація що компонента в аналізованій середовищі.

При аналізі рідинних середовищ, коли концентрація C виражається молярною концентрацією, вираз (8) записується у вигляді:

$$\Phi = \Phi_0 10^{-\varepsilon C_m l}, \quad (9)$$

де ε – молярний показник поглинання.

Вираз (9) можна перетворити до вигляду

$$\lg \Phi_0 / \Phi = \varepsilon C_m l = D. \quad (10)$$

Величину D , виражену логарифмом відношення $\lg \Phi_0 / \Phi$, називають оптичною густиною поглинаючої речовини (визначається компонента). Як це впливає з виразу (10), оптична щільність при інших постійних умовах пропорційна концентрації що визначається компонента, який аналізується.

Як впливає з виразу (10), оптична щільність є логарифмічною величиною. В метрології прийнято в якості одиниці логарифмічних величин використовувати бел (Б), який визначається відношенням $1 \text{ Б} = \lg(P_2/P_1)$ при $P_2 = 10P_1$ (де P_1 і P_2 - однойменні енергетичні величини: щільність енергії, потужність, енергія тощо).

Крім оптичної густини при аналізі роботи фотоабсорбційних аналізаторів використовується величина, яка називається коефіцієнтом пропускання T і визначається відношенням минулого потоку випромінювання до падаючого потоку випромінювання:

$$T = \Phi / \Phi_0 = 10^{-\varepsilon C_m l} \quad (11)$$

З виразів (10) і (11) випливає, що оптична щільність і коефіцієнт пропускання пов'язані виразом:

$$D = \lg (1/T). \quad (12)$$

Можливість застосування фотоабсорбційного аналізатора для вимірювання концентрації того чи іншого компонента визначається попередніми дослідженнями спектру поглинання цього компонента, який представляє собою залежність оптичної щільності від довжини хвилі електромагнітного випромінювання. Наприклад, на рис.7. на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 спостерігається вибіркове поглинання випромінювання компонентами 1 і 2, а на довжинах хвиль λ_3 і λ_4 спектри поглинання цих компонентів перекриваються, що виключає можливість виборчого вимірювання концентрації компонентів 1 і 2 на довжинах хвиль λ_3 і λ_4 . Таким чином, якщо аналізована середовище містить компоненти 1 і 2, то на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 можливе вибіркове вимірювання концентрації цих компонентів.

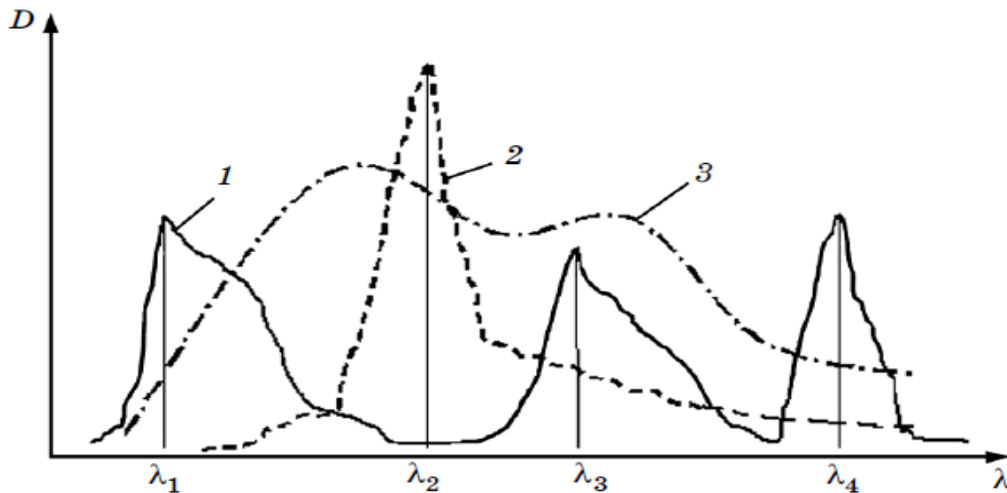


Рис.7. Спектри поглинання електромагнітного випромінювання трьох компонентів середовища, що аналізується.

Контрольні запитання

1. Які біоматеріали використовують при медико-біологічних дослідженнях ?
2. Що розуміють під масовою і об'ємною концентраціями компонента середовища, що аналізується ?
3. Охарактеризуйте фізичні і фізико-хімічні методи аналізу при медико-біологічних дослідженнях.
4. Дайте сучасну класифікацію аналізаторів медико-біологічних показників людини.
5. Охарактеризуйте структурні схеми давача, вимірювального приладу переносного аналізатора і аналітичної вимірювальної установки.
6. Які структурні схеми аналітичних вимірювальних систем застосовують в БМІ ?
7. В чому полягає сутність роботи фотоабсорбційних аналізаторів і яка їх принципова схема ?

ТЕМА–8. ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

1. Історія розвитку нанотехнології.

Приставка нано- (від грецького *NANNOΣ* - карлик, гном) означає одну мільярдну (10^{-9}) чого-небудь. *Нанотехнологія* має справу з різноманітними структурами речовини, характерний розмір яких порядку мільярдних часток метра.

При наноструктуруванні матеріали можуть отримувати нові властивості і незвичайні характеристики.

Якщо розміри тривимірної наноструктури мають порядок нанометра тільки в одному виміру, така структура називається квантовим колодезем. Його електронна структура сильно відрізняється від такої у зразків, які мають нанометрові розміри по двох вимірах і називаються нанодротоми. Квантові крапки мають нанометрові розміри по всіх трьох вимірах. Залежність електронних властивостей від розміру призводить до суттєвих змін оптичних характеристик нанозразків і їх властивостей.

Таким чином, нанотехнологія як би об'єднує всі технічні процеси, пов'язані безпосередньо з атомами і молекулами. Саме тому вона є перспективною для отримання нових конструкційних матеріалів, напівпровідникових приладів, пристроїв для запису інформації, для застосування в медицині, біології і багатьох інших областях.

Нанотехнологію можна визначити як набір технологій, заснованих на маніпуляціях з окремими атомами і молекулами регулювання структури і складу речовини в масштабах від 1 до 100 нм. Використання характерних особливостей речовин на відстанях порядку нанометрів створює нові можливості для створення технологічних прийомів, пов'язаних з електронікою, матеріалознавство, хімією, механікою і багатьма іншими областями науки. Отримання нових матеріалів і розвиток нових методів обіцяє провести справжню науково-технічну революцію в інформаційних технологіях, виробництві конструкційних матеріалів, виготовленні фармацевтичних препаратів і конструюванні надточних пристроїв.

Класичним прикладом останніх досягнень нанотехнологій стала розробка скануючих тунельних мікроскопів (СТМ). Перший такий мікроскоп був створений в лабораторії фірми IBM для

дослідження особливостей і неоднорідності поверхні монокристалів кремнію (рис.1.).

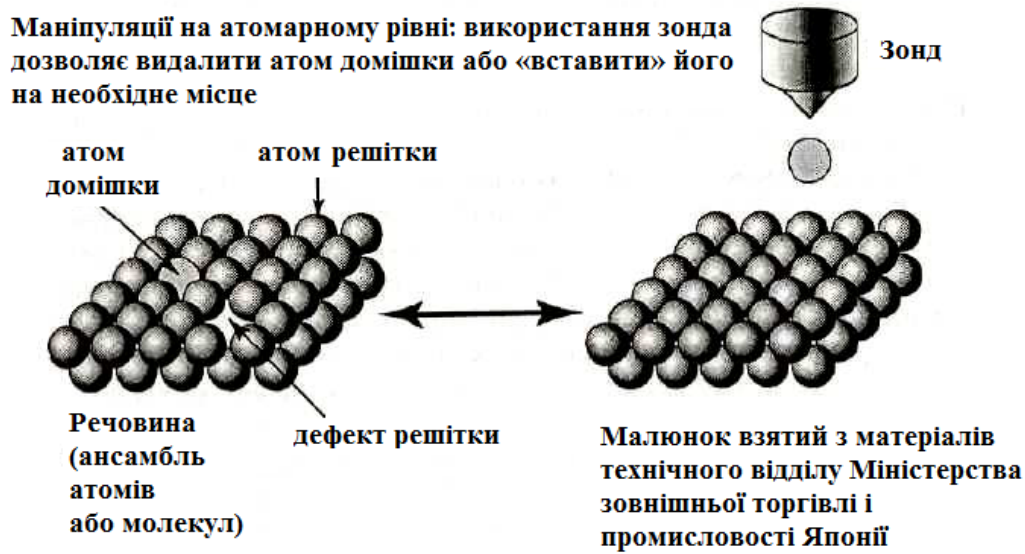


Рис.1. Ілюстрація принципу дії скануючого тунельного мікроскопу (СТМ).

Приклад обробки речовини за допомогою скануючого тунельного мікроскопу наведено на рис.2., де на світлині зображено найменші букви на світлі (напис з 35 атомів ксенону утворює назву фірми ІВМ).

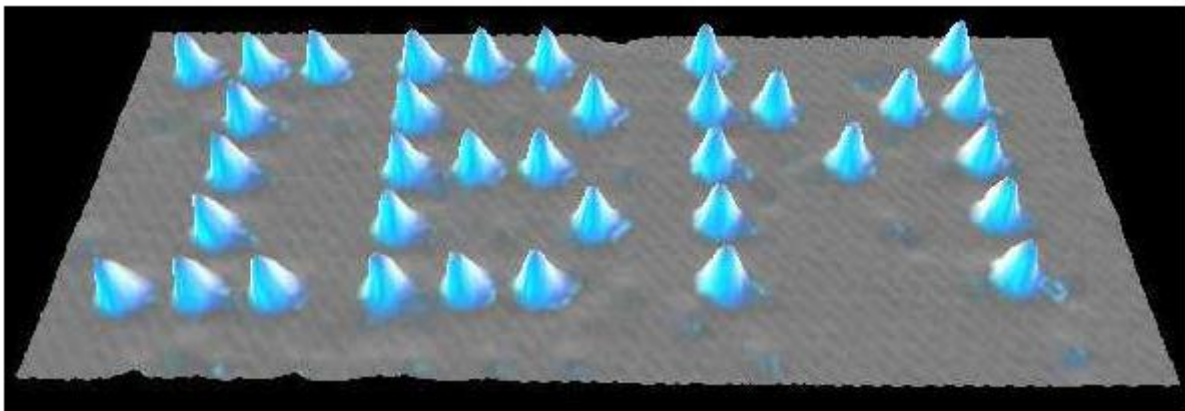


Рис.2. Можливості нанотехнології при маніпуляції на рівні атомів.

Широкий інтерес до нанооб'єктів, обумовлений принаймні, трьома обставинами:

по-перше, методи нанотехнології дозволяють отримати принципово нові пристрої і матеріали з характеристиками, які значно перевершують їх сучасний рівень, що вельми важливо для

інтенсивного розвитку багатьох областей техніки, біотехнології, медицини, охорони навколишнього середовища, оборони тощо;

по-друге, нанотехнологія виявилася вельми широким міждисциплінарним напрямком, об'єднуючим фахівців в галузі фізики, хімії, матеріалознавства, біології, медицини, технології, наук про Землю, комп'ютерної техніки, економіки і соціології;

по-третє, рішення проблем нанотехнології виявило багато прогалин як у фундаментальних, так і в технологічних знаннях, що сприяло концентрації уваги науково-інженерного співтовариства в цьому напрямку.

У багатьох країнах (США, Об'єднана Європа, Японія, Китай) прийняті національні програми, що передбачають інтенсивний розвиток нанотехнологічних досліджень і розробок. Велика увага приділяється також підготовці кадрів.

Чи можливо методами нанотехнологій створити надлегкі і надміцні матеріали?

Насправді основа для таких матеріалів вже створена. Вчені виявили, що при певних умовах (наприклад, тривале нагрівання тощо) атоми вуглецю переходять в новий фазовий стан - вуглецевої нанотрубки. Тонкі нитки ділянок таких утворень легко спостерігаються в електронному мікроскопі. Вуглецеві нанотрубки не тільки набагато легші і міцніші металів, але і володіють напівпровідниковими характеристиками, які зараз цікавлять дослідників всіх країн.

Чи можна сконструювати крихітні пристрої, що запам'ятовують і мають величезний обсяг пам'яті?

Добре відомо, що підвищення швидкодії комп'ютерів обумовлено зменшенням розмірів елементів електричних ланцюгів, що забезпечують проходження і переробку електричних сигналів. Однак розміри електронних мереж і ліній не можна зменшувати до нескінченності, оскільки вже при існуючому рівні мініатюризації починаються нові фізичні явища (квантово-механічні ефекти). Вчені давно думають над тим, як використовувати ці ефекти для створення нових пристроїв і приладів.

Далі перерахуємо лише деякі з пріоритетних напрямків нанотехнології, які розробляють нові перспективні методи, матеріали та пристрої:

- молекулярний дизайн матеріалів і речовин із заданими властивостями, що значно переважають властивості їх сучасних аналогів;
- нанопроцесори з низьким рівнем енергоспоживання і істотно більш високою продуктивністю;
- невеликі за розміром пристрої, що запам'ятовують інформацію з великого об'єму;
- нові лікарські препарати і методи їх введення в організм;
- нові методи моніторингу довкілля та організму людини з використанням наносенсорів.

Серед наноматеріалів можна виділити кілька основних різновидів: *консолідовані наноматеріали, нанонапівпровідники, нанополімери, нанобіоматеріали, фуллерени, каталізатори і нанопористі матеріали.*

До *консолідованих наноматеріалів* відносять компактні, плівки і покриття з металів, сплавів і з'єднань, що одержуються методами порошкової технології, інтенсивної пластичної деформації, контрольованої кристалізації з аморфного стану і різноманітними прийомами нанесення плівок та покриттів.

Нанонапівпровідники, нанополімери і нанобіоматеріали можуть бути як в ізольованому, так і частково в консолідованому стані, утворюючи також гібридні (змішані) матеріали.

Фуллерени і тубулярні наноструктури стали предметом численних досліджень, починаючи з 1985 року, коли була ідентифікована нова алотропна форма вуглецю - кластери C_{60} і C_{70} , названі фуллеренами (роботи нобелівських лауреатів Н.Крото, Р.Керрі і Р.Смолли), і особливо з 1991 р., коли японський вчений З. Ішіма виявив вуглецеві нанотрубки в продуктах електродугового випаровування графіту.

Нанопористі матеріали характеризуються розміром пор, які менші за 100 нм. Також одними із прикладів, які давно досліджуються методами нанотехнології є наступні.

Супрамолекулярні структури - це наноструктури, що одержуються в результаті нековалентного синтезу з утворенням слабких (ван-дер-ваальсових, водневих і ін.) хімічних зв'язків між молекулами і їх ансамблями.

Особливо слід зупинитись на деяких термінологічних особливостях. Великого поширення набули такі терміни з приставкою

«нано», як «нанотехнологія», «наноелектроніка», «нанохімія». В американській літературі поняття «нанотехнологія» прийнято визначати як вміння цілеспрямовано створювати і використовувати матеріали, пристрої та системи, структурні елементи яких мають розмір в діапазоні 1 - 100 нм.

Наука про малорозмірні об'єкти (*Nanoscience*) - це сукупність знань про властивості речовин і явищ у нанометровому масштабі. наночастки (нанопорошки). «Нанопорошки» це малорозмірні тверді речовини, геометричний розмір яких змінюється від десятих часток до 100 нм. Поняття «наночастинки» і «нанопорошки» багато в чому перекриваються, але, звичайно, слід мати на увазі можливий ізольований характер перших і обов'язково сукупний вид останніх (порошок – це сукупність, що проявляється у поєднанні індивідуальних твердих частинок невеликих розмірів (від 0,001 до 10^3 мкм). Вважається, що наночастинки зі зменшенням розміру переходять в кластери, які містять від 10-ти до декількох тисяч атомів. Вважають також, що для кластерів, на відміну від кристалічних частинок, характерна втрата трансляційної симетрії. До наночастинок зараз відносять і напівпровідникові квантові крапки.

2. Природні кордони розвитку існуючої мікроелектроніки. Квантові ями, дроти і точки.

В 1990 році почалася реалізація великого міжнародного проекту по визначенню послідовності укладання близько 3 мільярдів нуклеотидних залишків в запису генетичної інформації, який став яскравим проривом в біології та медицині. Цей проект одночасно є виключно важливим для розвитку нанотехнологій, оскільки відкриває нові можливості в інформаційних технологіях, дозволяючи зрозуміти, а потім і використовувати принципи обробки інформації в живій природі («біоінформатика»). Можна навіть сказати, що до 1990 року інформаційна технологія (ІТ) була всього лише складовою частиною або «гілкою» електроніки, а після 1990 року від неї відросла незалежна окрема гілочка, яку можна назвати біоінформаційної технологією.

В таблиці 1. Приведена хронологія основних досягнень нанотехнології.

Проект «геном Людини» був завершений в 2000 році і дозволив вченим прочитати генетичну інформацію, пов'язану з людським організмом, що вже призвело до створення нових ліків за новими

принципами і на новій основі (геноміка). Наступним природним етапом став розвиток нових галузей фармацевтичної промисловості і створення нових виробничих процесів і потужностей, а також розширення сфери всього бізнесу і ділової активності в цій великій галузі.

Квантові ями, дроти і крапки. Властивості великих (об'ємних, макроскопічних) зразків матеріалів в більшості випадків описуються законами класичної фізики. Метрична розмірність таких об'єктів (систем) становить 3D. При плавному зменшенні розмірів зразка від великих (макроскопічних) значень, наприклад, метра або сантиметра, до дуже маленьких, властивості спочатку залишаються незмінними, потім починають повільно змінюватися, а при розмірах менш 100 нм можуть змінитися радикально.

Таблиця 1. Коротка хронологія основних досягнень в даній області

Роки	Істотні досягнення в області нанотехнологій
1928	Запропоновано принципову схему скануючого оптичного мікроскопа
1932	Створення першого просвічуючого електронного мікроскопа
1938	Створення першого скануючого електронного мікроскопа
1959	Річард Ф. Фейнман (США) висунув ідею створення речовин і об'єктів метолом поштучного «атомарної» збірки
1972	Створено реальний пристрій, що працює за принципом мікроскопа ближнього поля
1981	Створення скануючого тунельного мікроскопа (СТМ)
1985	Створення першого польового транзистора з високою рухливістю носіїв (НЕМТ). Хіміки синтезували перші фуллерени
1986	Ерік К. Дрекслер (США) висунув концепцію створення «молекулярних машин». Створення атомно-силового мікроскопа (АСМ)
1991	В Японії почалася реалізація державної програми з

	розвитку техніки маніпулювання атомами і молекулами (проект «Атомна Технологія»)
1998	Виготовлений елемент пам'яті електронного пристрою, що запам'ятовує (з об'ємом пам'яті 128 Мегабіт), який працює при кімнатній температурі
2000	США приступили до реалізації програми досліджень, названої Національною Нанотехнологічною Ініціативою (ННІ)

Квантова яма (КЯ) – quantum wells (QW).

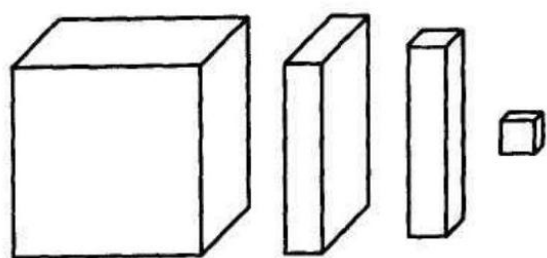
Якщо розміри зразка в одному вимірі лежать в нанометровому діапазоні, а в двох інших залишаються великими, то вийшла структура називається квантовою ямою, а метрична розмірність такого об'єкта - 2D.

Квантовий дріт (КД) – quantum wires (QWr)

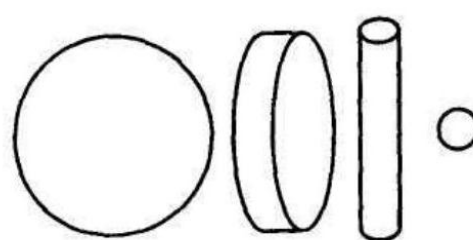
Якщо зразок малий в двох вимірах і має великі розміри в третьому, то такий об'єкт називають квантової дротом з метричної розмірністю 1D.

Квантова крапка (КК) – quantum dots (QD)

Граничний випадок цього процесу зменшення розмірів, при якому розміри у всіх трьох вимірах лежать в нижній частині нанометрового діапазону, називається квантовою крапкою – 0 D-мірний об'єкт (рис.5).



Об'єм, яма, дріт, крапка



Об'єм, яма, дріт, крапка

Рис.3. Послідовність прямокутних наноструктур

Рис.4. Послідовність круглих наноструктур.

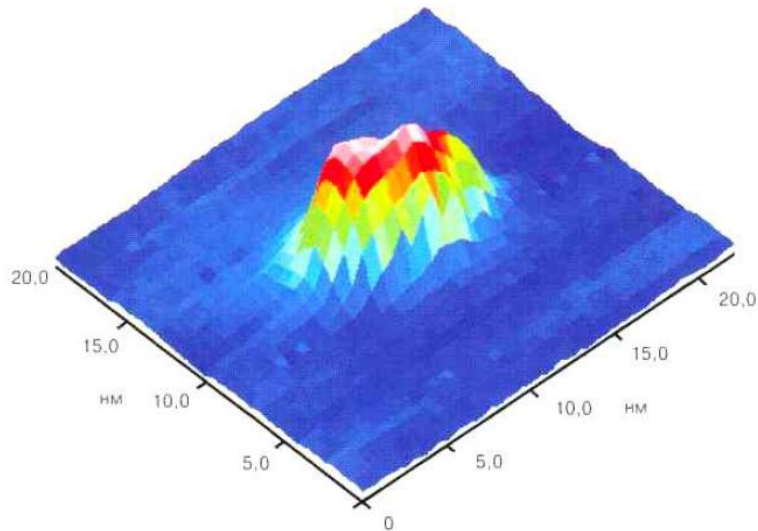


Рис.5. Тривимірне зображення однієї квантової крапки Ge на підкладці Si, отримане за допомогою атомно-силового мікроскопа.

Епітет «квантовий» в назвах цих трьох типів наноструктур використовують тому, що області ультрамалих масштабів виникає зміна властивостей квантово-механічної природи. Рисунок 3 ілюструє цей процес зменшення розмірів для прямокутної геометрії. На рис.4. показано той же процес для криволінійної геометрії. Іншими словами, з'являється вплив розмірності на властивості зразка у випадках, коли одне, два або всі три виміри малі. Особливо цікавим є вплив таких змін на електронні властивості.

Коротко розглянемо одну з основних концепцій, яка відіграє найважливішу роль для розвитку нанотехнології. Йдеться про два принципово різні підходи до обробки речовини і створення планованих виробів. Ці підходи прийнято умовно називати технологіями «зверху - вниз» і «знизу - вгору» (Рис.6.).

Підхід «зверху - вниз» заснований на зменшенні розмірів фізичних тіл механічної або іншої обробкою, аж до отримання об'єктів з ультрамікроскопічних чи нанометровими параметрами.

Ідея технології «знизу - вгору» полягає в тому, що збірка створюваної «конструкції» здійснюється безпосередньо з елементів «нижчого порядку» (атомів, молекул, структурних фрагментів біологічних клітин і т. п.), наявних необхідному порядку. Цей підхід можна вважати «зворотним» по відношенню до звичного методу мініатюризації «зверху - вниз», коли ми просто зменшуємо розміри деталей.

В основі системи знань про об'єкт досліджень безумовно лежить аналіз його матеріально-матеріального базису, структурного упорядкування і стійкості, просторово-тимчасової організації, а також кількісне і якісне прояв традиційних і раніше невідомих властивостей в залежності від умов синтезу і функціонування.

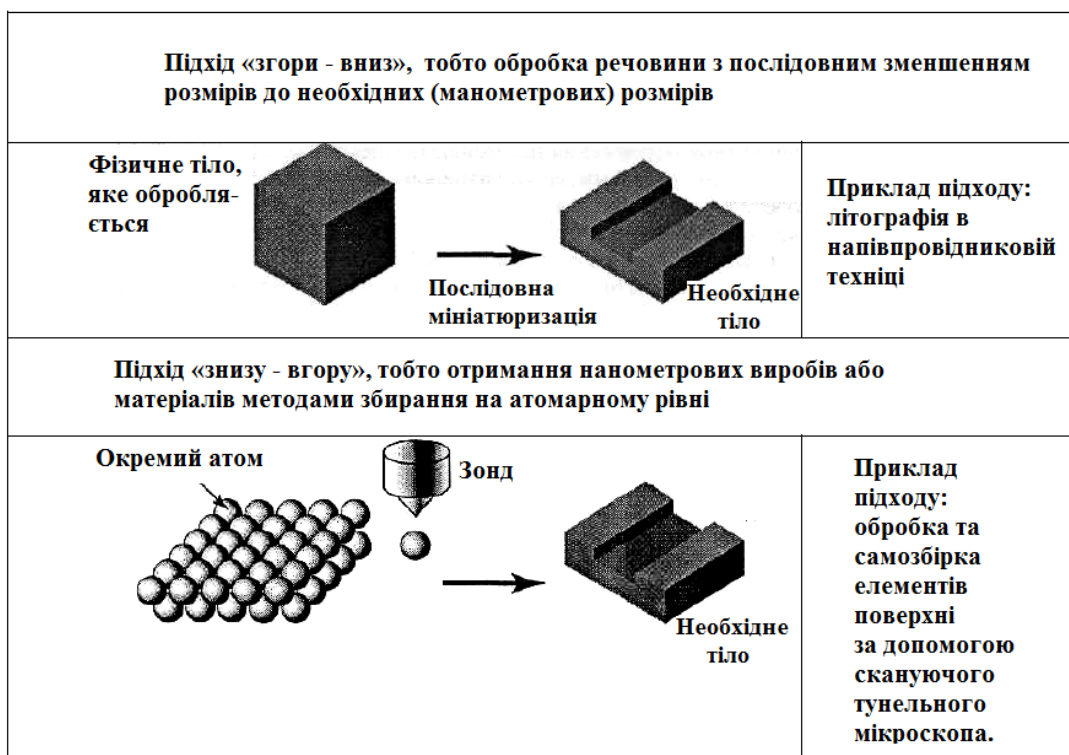


Рис.6. Два головних нанотехнологічних принципу обробки матеріалів

Найбільш характерними проявами «наносвіту», навіть у порівнянні з традиційними об'єктами з мікроскопічними характеристичними розмірами, є:

- поява нетрадиційних видів симетрії і особливих видів сполучення кордонів розділу, конформацій з структурою, яка динамічно перебудовується;
- домінування над процесами штучного впорядкування явищ самовпорядкування і самоорганізації, що відображають прояв ефектів матричного копіювання та особливостей синтезу в умовах, далеких від рівноважних;
- висока «польова» (електрична, магнітна) активність і «каталітична» (хімічна) вибірковість поверхні ансамблів на основі наночастинок, включаючи інтегровані композиції неорганічної та органічної природи;

- особливий характер протікання процесів передачі енергії, заряду і конформаційних змін, відрізняються низьким енергоспоживанням, високою швидкістю і носять ознаки кооперативного синергетичного процесу.

Можна запропонувати наступні причини прояву вищевказаних особливостей в умовах «наносвіту»:

- зміна внеску в різні процеси на поверхні частинки по відношенню до об'єму при переході до нанорозмірних систем;
- енергетична, польова і «речова» нерівноважність поверхні, яка охоплює значні об'єми наночастинок;
- посилення ролі різних видів розмірних ефектів із-за значної площі кордонів розділу в умовах наноконструкцій;
- прояв в умовах великих колективів енергетично активних наночастинок нетрадиційних механізмів упорядкування, перенесення енергії і заряду;
- малі характеристичні розміри частинок і особливий характер їх упорядкування, забезпечують енергетичну і просторову доступність транспорту заряду, енергії і конформаційних змін.

Виходячи з наведеного вище, можемо дати наступні визначення основних термінів нанотехнології.

Наносистема – це матеріальний об'єкт у вигляді впорядкованих або самовпорядкованих, пов'язаних між собою елементів з нанометричними характеристичними розмірами, кооперація яких забезпечує виникнення у об'єкта нових властивостей, що виявляються у вигляді квантово-розмірних, синергетично-кооперативних, «гігантських» ефектів та інших явищ і процесів, пов'язаних з проявом наномасштабних факторів.

Наноматеріали - речовини і композиції речовин, які представляють собою штучно або природно впорядковану чи невпорядковану систему базових елементів з нанометричними характеристичними розмірами і особливим проявом фізичних і (або) хімічних взаємодій при кооперації нанорозмірних елементів, які забезпечують виникнення у матеріалів і системах сукупності раніше невідомих механічних, хімічних, електрофізичних, оптичних, теплофізичних та інших властивостей, визначених проявом наномасштабних факторів.

Нанотехнології - сукупність методів і способів синтезу, збірки, структуро- і формоутворення, нанесення, видалення і модифікування матеріалів, включаючи систему знань, навичок, умінь, апаратне,

матеріалознавче, метрологічне, інформаційне забезпечення процесів і технологічних операцій, спрямованих на створення матеріалів і систем з новими властивостями, зумовленими проявом наномасштабних факторів.

Нанодіагностика - сукупність спеціалізованих методів досліджень, спрямованих на вивчення, структурних, морфолого-топологічних, механічних, електрофізичних, оптичних, біологічних характеристик наноматеріалів і наносистем, аналіз нанокількості речовини, вимір метричних параметрів з наноточністю.

Наносистемотехніка - сукупність методів моделювання, проектування і конструювання виробів різного функціонального призначення, в тому числі наноматеріалів, мікро- і наносистем з широким використанням квантово-розмірних, кооперативно-синергетичних, гігантських ефектів та інших явищ і процесів, виявляються в умовах матеріальних об'єктів з нанометричними характеристичними розмірами елементів.

3. Наноструктуровані напівпровідникові матеріали. Наноматеріали для ядерної енергетики і медицини та біології.

Було встановлено, що перехід до наноструктур в разі напівпровідників супроводжується зміщенням спектрів люмінесценції в короткохвильову область, збільшенням ширини забороненої зони та іншими явищами, що знаходять цікаві і важливі технічні застосування (рис.7).

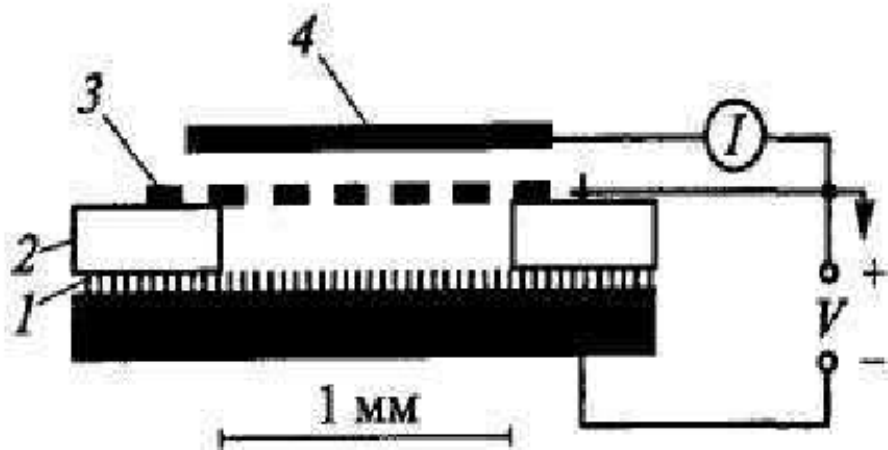


Рис.7. Схема польового емітера на основі вуглецевих нанотрубок:

1 - плівка, що складається з трубок, розташованих перпендикулярно підкладці, 2 - ізоляція; 3 - сітка; 4 - анод.

Так, монокристалічні наночастинки $CdSe$ в полімерних матрицях розглядаються як можливі світлодіоди і оптичні перемикачі для лазерних систем, а також сенсори в біологічних об'єктах.

Високі емісійні властивості вуглецевих нанотрубок - основа для розробки електронних приладів з холодними катодами (електронні дисплеї, джерела рентгенівського випромінювання, катодолюмінесцентні джерела світла тощо), які відрізняються від звичайних аналогів зниженими значеннями напруги живлення і споживаної потужності, а також мініатюрністю і малою масою.

Відомо багато прикладів створення діодів і транзисторів, тобто двох- і трьохелектродних елементів на основі вуглецевих нанотрубок та інших нанооб'єктів. Схема одноелектронного молекулярного транзистора показана на рис.8. Кластерні частки на основі Pd і Pt з лігандними оболонками (з'єднання типу $Pd_3(CO)_3(P(C_6H_5)_3)$), які розташовані в моношарових плівках стеаринової кислоти на поверхні графіту і там формують впорядковану двомірну ґратку.

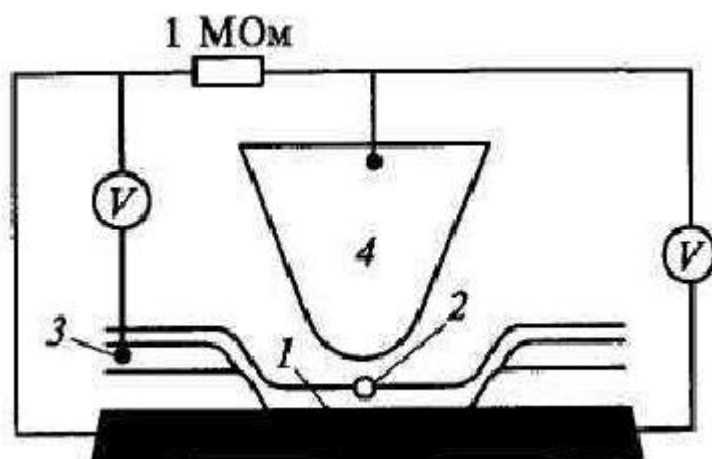


Рис.8. Схема молекулярного одноелектронного транзистора:

- 1 -плівка Ленгмюра-Блоджетта; 2 -кластер; 3 -керуючий електрод;
- 4 - голка скануючого тунельного мікроскопа

Пористий берилій вважається перспективним для виготовлення тритійвідтворюючого палива термоядерних реакторів. Вироби з берилію пористістю 20 - 30% грають роль відбивача і розмножувача нейтронів. Для підвищення міцності таких виробів і формування мікрокоміркової структури з повністю відкритими порами до звичайного крупнокристалічного порошку берилію додається спеціальна хімічна сполука, розкладання якої за рахунок утворення

наночастинок берилію сприяє зміцненню контактів між частинками, а виділення водню - утворенню відкритих пор.

Завдяки великій кількості поверхонь розділу, як шляхів для виходу продуктів опромінення, нанокристалічна структура може виявитися корисною і при створенні міцних оболонкових і паливних матеріалів для тепловиділяючих елементів потужних атомних реакторів.

Завдання збільшення тривалості та якості життя мотивує інтенсивні розробки в області біоматеріалів взагалі і нанобіоматеріалів, зокрема. Основні області застосування наноматеріалів в медицині, біології та сільському господарстві досить різноманітні:

- хірургічний та стоматологічний інструментарій;
- діагностика, наномотори і наносенсиори;
- фармакологія, лікарські препарати та методи їх доставки;
- штучні органи і тканини;
- стимулюючі добавки, добрива тощо;
- захист від біологічного та радіологічного зброї.

Розглянемо найбільш характерні приклади. Як біологічно повністю сумісний з живими тканинами титан перспективний в травматології та стоматології для виготовлення протезів тазостегнових, колінних, щелепних і інших суглобів, пластин і спиць для кісткового зрощення, гвинтів для фіксації хребта тощо. Однак нелегований титан володіє невисокими механічними властивостями. Методи інтенсивної пластичної деформації, зокрема, кутове пресування, дозволяють істотно подрібнити матеріал, аж до отримання зерен з розмірами 100 - 200 нм, що в 2 - 3 рази підвищує механічні властивості. Фізико-механічні характеристики наноструктурного титану знаходяться на рівні його кращих сплавів (наприклад, типу Ti-V-Al), однак останні значно поступаються нелегованій титану з біологічної сумісності.

У конструюванні наномашин особливого значення набуває розуміння закономірностей функціонування біологічних систем. Наномашини можуть бути створені і на основі наслідування природних аналогів, але особливості роботи біодвигунів важливі взагалі для створення стабільних мікро- і наноелектромеханічних систем.

Корисно відзначити, що існують, принаймні, два підходи до конструювання нанопристроїв:

- 1) створення надмалих копій відомих макрооб'єктів;
- 2) розробка принципово нових зразків, які не мають традиційних аналогів.

Р. Фейнман більше 40 років тому в відомій доповіді, присвяченій проблемам мініатюризації, звертав увагу на труднощі, що виникають при спробах мікрокопіювання механічних пристроїв. Наприклад, при загальному розмірі мікроавтомобіля 1 мм точність обробки деталей повинна відповідати розмірам близько 10 атомів. Виникає також проблема мастила в нанопроміжках, необхідність створення електроприводу з нанодротів і ін. Виготовлення самих конструкційних деталей мікро- і нанорозміру вимагає використання особливих прийомів порошкової і полімерної нанотехнології, а також спеціальних методів збирання та контролю.

У той же час створення принципово нових нанопристроїв типу наноелектромеханичних систем ґрунтується на невідомих раніше явищах.

Наприклад, в наноприводах на основі багатошарових вуглецевих нанотрубок використовуються, як електропровідні властивості останніх, так і їх низькі фрикційні характеристики, що, звичайно, вимагає детального дослідження і розуміння природи цих властивостей. На відміну від біодвигунів такі наноелектромеханічні системи можуть працювати в широкому діапазоні температур (від низьких температур аж до декількох сотень градусів) і в різних агресивних середовищах. Вважають, що такі нанодвигуни можуть знайти застосування в оптичних перемикачах, комп'ютерах і телефонах. Повідомляється також, що вимірювання переміщень на рівні тисячних часток нанометра, яке може здійснюватися за допомогою наноелектромеханічних систем на основі давача з GaAs в сукупності з одноелектронними транзисторами.

Контрольні запитання

1. *Охарактеризуйте основні етапи розвитку нанотехнологій.*
2. *Чим зумовлений інтерес до нанооб'єктів та нанотехнологій?*
3. *Якими є на даний час пріоритетні напрямки розвитку нанотехнологій? Якими є основні досягнення нанотехнологій?*
4. *Охарактеризуйте відмінності в термінах «квантова яма», «квантовий дріт» і «квантова крапка» і «нанодіагностика».*

5.Якою є сутність підходів в нанотехнологіях, виражається формулами «зверху-вниз» і «знизу-вгору»?

6.Охарактеризуйте сутність нанотехнологій для ядерної енергетики і напівпровідникові наноматеріали ?

7.Якими є основні області застосування наноматеріалів в БМІ?

ТЕМА–9. НАНОТЕХНОЛОГІЇ І НАНОМАШИНИ В БІОМЕДИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

1. Вступ до біонанотехнології.

Біонанотехнологія – це розділ нанотехнології, що займається вивченням і впливом об'єктів нанодіапазону на біологічні об'єкти (БО) і їх використанням для розвитку наномедицини, зокрема, для створення наноліків, медичних наноматеріалів, розробки медичних нанороботів, діагностичних систем на основі наночастинок, імунохроматографічних тестів, а також проведення світлових і електронно-мікроскопічних імуноморфологічних досліджень.

Нанобіотехнологія - це конструювання нових матеріалів і пристроїв на основі природних або синтетичних макромолекул, конструювання нових біологічних структур на основі синтетичних біополімерів. Молекулярні біологи мають справу з об'єктами порядку на рівні декількох нанометрів: вага віруси, білки, рибосоми, молекули ДНК, які теж потрапляють в цей розмір.

Молекулярно-біологічні об'єкти мають ряд важливих властивостей. Зокрема, вони здатні вибірково взаємодіяти один з одним: наприклад білки мають здатність зв'язуватися з іншими певними білками і органічними молекулами. Всім відомо, що два ланцюжки ДНК утворюють двоспиральну структуру. Механізм вибіркової взаємодії біомолекул розшифрований, молекули ці можна отримувати у великих кількостях біотехнологічними методами і на їх основі створювати нові матеріали. У структуру цих матеріалів можуть бути вбудовані з високим ступенем впорядкованості будь-які речовини і нанооб'єкти, в тому числі і металеві наночастинки.

Біонанотехнології можна застосовувати не тільки для створення нових матеріалів. На основі біомолекул можливе створення «молекулярних машин», різних пристроїв і сенсорів. Доведено, що з молекул ДНК можна зробити рухомі наноструктури, «крокуючі роботи», здатні пересуватися в певному напрямку по молекулі ДНК при підведенні до них енергії. Що стосується наносенсорів (молекулярних сенсорів, сенсорів на основі гібридних конструкцій, які складаються з нуклеїнової кислоти і білка), то вони вже знаходять широке застосування в молекулярній діагностиці.

На даний час розроблені оригінальні біосенсори для візуалізації певних вірусних РНК. Перевагами нових нанобіосенсорів є:

селективність по відношенню до РНК, висока чутливість і стабільність біосенсорів. Вкрай важливим напрямком є створення з ДНК нових матеріалів, різних двомірних і тривимірних структур. На їх основі можуть бути отримані абсолютно нові матеріали для електроніки. Ведуться роботи по отриманню хімічно модифікованих нуклеїнових кислот, які необхідні для отримання таких матеріалів.

Найважливішим завданням біонанотехнології є створення засобів доставки терапевтичних препаратів в певні види клітин. Зокрема, необхідне створення методів введення в клітини ДНК і РНК для розвитку генотерапії. Для стимуляції зв'язування нуклеїнових кислот з клітинами запропоновано формувати з них комплекси, що представляють собою нанорозмірні частинки. Такі частинки ефективно зв'язуються з клітинної поверхнею, що сприяє їх успішному поглинання клітиною. Ці дослідження відкривають можливість створення дієвих методів генотерапії. Одним з найбільш розвинених напрямів нанотехнологій є біочіпові технології, без яких сучасна біологія і медицина вже не можуть існувати. Біочіпова технологія - сучасна нанотехнологія аналізу генетичного матеріалу, що дозволяє проводити скринінг складних сумішей нуклеїнових кислот. Це індустрія високих технологій, що базується на сучасних досягненнях хімії, біології, фізики, мікроелектроніки, інформатики та інших галузей знань.

Біочіп є пластинкою, яка несе на своїй поверхні безліч різних зондів - фрагментів нуклеїнових кислот або олігонуклеотидів, розміщених в строгому порядку. За допомогою такого чіпа можна спостерігати за функціонуванням всіх генів в організмі людини - все це вже робиться в сучасних лабораторіях.

Сьогодні вже створені чіпи для виявлення різних варіантів вірусу віспи, розроблені комплексні високочисті вакцини, швидко адаптуються до мутуючим вірусам; тест-системи на основі біочіпів для діагностики туберкульозу, серцево-судинних та онкозахворювань; нанокристалічна кераміка для кісткової хірургії; внутрішньокісткові імплантанти з біоактивними нанокерамічними покриттями, які сприяють швидкій імплантації і закріпленню кісткової тканини в поверхні імплантатів і нові лікарські препарати. Так, біочіпи для виявлення лікарсько-стійких форм туберкульозу скорочують час діагностики з 6-10 тижнів до одного дня, що дозволяє оперативно призначити адекватну терапію.

Таким чином, на даний час дослідження в сфері БМІ проривного характеру пов'язані з використанням процесів самоорганізації та самозбірки нанооб'єктів, використанням квантових властивостей наноструктур і застосуванням методів наноконструювання в інформаційних, хімічних, біологічних і медичних технологіях.

2. Нанороботи і біонаноелектроди

На відміну від попередніх електронних приладів, які дозволяли лише спостерігати мікросвіт, нанозонди дають можливість змінювати наш світ, будувати в ньому, як з цеглинок, молекули з будь-якими властивостями. Зміни відбуваються крім як з бажання людини, ще і за законами квантової фізики. Оскільки, той, хто вимірює імпульс атома, вступає у взаємодію з ним і змінює його стан. У растрових мікроскопах спостереження і маніпуляція єдині, як пальці на руці. Одним з найбільш багатообіцяючих і цілком реальних застосувань нанотехнології можуть виявитися нанороботи – пристрої розміром в десятки нанометрів, які самостійно маніпулюють атомами. Нанороботи будуть мати здатність самовідтворюватися, створювати з довільного органічного та неорганічного підручного матеріалу будь-які предмети. В результаті нанороботи, маніпулюючи молекулами, зможуть створити будь-який предмет або істоту.

Нанороботів поділяють на два види: 1) асемблери, здатні конструювати і самовідтворюватися; 2) дизасемблери, здатні розбирати. Дослідники провідних лабораторій світу повідомляють, що значно просунулися в створенні нанороботів. Не виключено, що першою областю, де знайдуть застосування таланти нанороботів, стане медицина.

Наноробот, введений в організм людини, зможе самостійно пересуватися по її кровоносній системі. На цьому шляху наноробот зможе виправити характеристики тканин і клітин, очистити організм від мікробів і молодих ракових клітин, а також від різних відкладень, наприклад, холестерину.

З 1970-х років на наших космічних станціях велися унікальні дослідження з біотехнології, де в умовах невагомості вирощувалися білки і синтезували особливо чисті матеріали, в тому числі напівпровідники. Створення нових матеріалів важливо - від рішення енергетичних проблем, до якісних змін в інформатиці.

Один з найбільш важливих технологічних пріоритетів - біоорганічної матеріалознавство на основі нанотехнології. Фактично наука підійшла до моделювання принципів побудови живої матерії, яка заснована на саморегуляції. Раніше саморегуляцією були наділені тільки живі організми, але нанотехнології зроблять саморегуляцію властивістю неживої матерії. Властивістю саморегуляції будуть наділені, наприклад, нанороботи. Освоєний і відзначений Нобелівською премією метод створення структур за допомогою квантових точок і є справжня саморегуляція неорганічної матерії. Це переворот в науці – створення біонічних приладів, клітинних мембран з біоорганіки, навіть біологічних органів і об'єктів, аж до, скажімо, очі, печінки, шкіри і найдосконалішого комп'ютера, яким є мозок.

Стрімкий розвиток науки призвів до того, що завдяки нанотехнологій вчені від аналізу вперше переходять до синтезу, що дає нове знання і призводить до якісної зміни світу науки.

Найбільш перспективними для подальшого застосування в медицині і створення новітньої електродіагностичної апаратури з підвищеною роздільною здатністю є біонаноелектроди - електроди, виконані на базі пористої кераміки. При їх виготовленні в порах керамічної діафрагми електрода розміщують частки срібла. Паста на основі хлористого срібла (AgCl) після розплавлення змочує срібні частки, при цьому в порах керамічної діафрагми утворюється безліч хлорсрібного мікроелектродів. Пори в пористої кераміки є складною системою сполучених між собою порожнин.

Частинки срібла електрично не пов'язані один з одним, тому вони знаходяться в різних порах. Після просочення електродів твердим електролітом між окремими мікроелектродами виникає електрична провідність. Загальний електродний потенціал визначається сумою потенціалів мікроелектродів. У зв'язку з цим, електроди на базі пористої кераміки можна назвати поліелектродами. Завдяки спеціальній технології в пори керамічної діафрагми наносять наночастинки срібла, які мають розміри менші за 0,1 мкм.

Зі збільшенням числа мікроелектродів зменшується рівень шумів. Біонаноелектроди мають на порядок менший дрейф електродного потенціалу на постійному струмі, в кілька разів менші імпеданс, рівень власного дрейфу напруги і напруги шуму. Зі зменшенням розміру частинок срібла зменшуються ємність наноелектродів, їх опір, підвищується стабільність електродного потенціалу в часі, зменшується ступінь поляризації при впливі

постійним струмом в порівнянні з відомими хлор-срібного електродами. Отже, результати електрофізіологічних досліджень будуть достовірніше, а вимірювання діагностичних показників.

3. Перспективні напрямки використання наночасток металів в медико-біологічній практиці

На сьогоднішній день актуальною залишається проблема лікування гострих гнійно-запальних захворювань м'яких тканин мікробної етіології, пов'язаної з поширеністю ран, зі зростанням частки затяжних, уповільнених і хронічних форм, а також з економічними витратами на їх лікування. Серед фахівців-практиків, що займаються рановий інфекцією широко поширена думка, що аеробні або факультативно-анаеробні умовно патогенні мікроорганізми, такі як золотистий стафілокок, гнійна паличка та бета-гемолітичний стрептокок є основними причинами затримки загоєння гострих і хронічних ран. Така думку склалося на основі досліджень останніх двох десятиліть, присвячених ролі мікроорганізмів в загоєнні ран.

Процеси загоєння ран визначаються не тільки об'єктивними критеріями оцінки перебігу інфекційно-запального процесу, а й механізмами патогенетичного лікування і становлять особливий інтерес для теоретичної і практичної медицини. Серед великої кількості робіт, присвячених вивченню процесів регенерації дефектів шкірних покривів, особливе місце відводиться експериментальним дослідженням, спрямованим на пошук ефективних засобів (антибіотики, антисептики, мазі та гелі на засадах, вуглецеві сорбенти, поліетиленоксиди, похідні целюлози та ін.) і способів для придушення розвитку патогенної мікрофлори.

Сучасні препарати, що використовуються для лікування гнійних ускладнень, повинні володіти різноспрямованою дією і поєднувати в собі регенеративну і антимікробну активність. Однак висока резистентність мікроорганізмів до використовуваних лікарських препаратів визначає необхідність комплексного дослідження і розробки нанобіокомпозитів, що володіють широким спектром біологічної активності щодо інфекційно-запального процесу.

На даний час для лікування ран різної етіології розроблено два наноструктурних ранових покриття: тришарове гідрогелеве біоактивне фуллеренвмісне і на основі нано-гель-плівки бактеріальної

целюлози. Ефективність розроблених ранових покриттів досліджувалася при місцевому лікуванні гранулюючих ран після глибоких опіків в експерименті на щурах. Експериментальні дослідження показали, що застосування ранових покриттів при місцевому лікуванні гранулюючих ран після глибоких опіків попереджає ускладнений перебіг ранового процесу і скорочує терміни загоєння ран в середньому на 17,5%. Під час експериментів на лабораторних тваринах було виявлено, що в групі тварин, які отримували місцево магнітні наночастинки феррогідриту з ампіциліном, рани гоїлися в два рази швидше, ніж у тварин, які отримували тільки ампіцилін. Зменшення запальної реакції пов'язане зі збереженням антибактеріальних і протизапальних властивостей комплексу наночастинок/ ампіцилін, що позитивно впливало на терміни загоєння ранових поверхонь. Досліджено також вплив наночастинок цинку в вигляді суспензії і в комплексному поєднанні з біополімером хітозаном на швидкість регенерації великих шкірних ран у експериментальних тварин. Показано, що використання суспензій наночастинок цинку в фізіологічному розчині хлориду натрію виявляється ефективним при місцевому лікуванні неінфікованих ран. Найбільш виражене регенеративну дію відзначено у комплексного препарату наночастинок цинку на основі хітозану.

Для боротьби зі збудниками інфекційних захворювань крім використання хіміотерапевтичних засобів особливе місце займає фотодинамічна терапія, як одна з нових ефективних антимікробних методик. Основою такої терапії є фотосенсибілізатори, які являють собою специфічні речовини, які характеризуються виборчої чутливістю до певних довжинах хвиль оптичного діапазону.

На сьогоднішній день таких речовин відомо більше 1 000 і вони мають як природне, так і синтетичне походження (хлорофіли, фікобіліни, порфірини і проміжні продукти їх синтезу, деякі антибіотики, хінін, рибофлавін і ряд інших препаратів). Такі фотосенсибілізатори повинні мати наступні характеристики: висока хімічна чистота і однорідність складу; відсутність темної токсичності; висока здатність до акумуляції в тканині-мішені; швидка елімінацією з організму хворого; висока фотохімічна активність, яка характеризується високим квантовим виходом синглетного кисню; поглинання світла в довгохвильовій частині спектру (600-800 нм), в якій біологічні тканини найбільш прозорі, з високим коефіцієнтом екстинкції.

Кожна бактеріальна клітина поглинає і накопичує у великій кількості молекули фотосенсибілізуючої речовини, а більшість мікроорганізмів використовують кисень в своєму метаболічному циклі, тому з точки зору реалізації фотодинамічного ефекту не існує мікроорганізмів, стійких до цього методу. Це дає можливість використовувати фотодинамічну терапію для лікування інфекційно-запальних процесів, викликаних різними антибіотикостійкими штамми мікроорганізмів. При цьому, отриманий бактерицидний ефект не робить згубного впливу на нормальну мікрофлору організму, оскільки він лімітується зоною лазерного опромінення сенсибілізованих тканин, що дозволяє уникнути при місцевій фотодинамічній терапії побічного ефекту.

Фотодинамічні пошкодження носять локальний характер, а бактерицидний ефект лімітується зоною лазерного опромінення сенсибілізованих тканин, це дозволяє уникнути при місцевій фотодинамічній терапії побічного ефекту, спостережуваного при застосуванні антибіотиків і антисептиків для лікування інфекційних захворювань.

Позитивні результати лікування гнійно-запальних захворювань методом фотодинамічної терапії показують високу ефективність даного методу щодо аеробних, факультативно- і облігатноанаеробних бактерій, мікроскопічних грибів.

Ряд досліджень медиків виявили вплив на штами *S.aureus*, *S.simulans*, *Derma bacter hominis* наночастинок Fe_2O_3 при додатковому застосуванні світлодіода з щільністю потужності світлового потоку $31,5 \text{ мВт} / \text{см}^2$ в діапазоні довжин хвиль від 385 до 425 нм, що відповідає максимуму поглинання у видимій області світла наночастинками. Тимчасова експозиція впливу дослідних зразків на штами становила 5, 10, 15 і 30 хвилин. В результаті виявлено залежність зміни концентрації патогенної мікрофлори не тільки від часу опромінення, але і від концентрації наночастинок в суспензії.

Таким чином, аналіз даних медичних досліджень дозволяє з представленої групи металів, з виявленими антибактеріальними властивостями, виділити срібло і мідь як найбільш перспективні щодо засобів для боротьби з полірезистентними штамми мікроорганізмів. Серед різних форм використання нанорозмірних матеріалів інтерес представляють дисперсії, суспензії і золі наночастинок металів. Їх перевага полягає в порівняно вузькому розподілі за розмірами і формою і тривалому часу збереження антибактеріальної активності. Є

підстави вважати, що стабільні наночастинки металів у водних дисперсіях знайдуть корисні застосування в біології та медицині.

До теперішнього часу немає достатньої кількості досліджень, присвячених впливу водних дисперсій срібла і міді на клінічні штами грамнегативних і грампозитивних мікроорганізмів.

4. Антимікробна фотодинамічна активність водних і водних діалізованих дисперсій наночастинок металів

При фотодинамічній дії важливою умовою генерації активних форм кисню і вільних радикалів є збіг максимуму випромінювання лампи і максимуму поглинання фотосенсибілізатора. Для прогнозування ефективності фотодинамічного впливу з використанням досліджуваних зразків наночастинок вимірюють оптичну щільність їх водних суспензій в робочих концентраціях.

Встановлено, що дисперсія наночастинок срібла AgW має максимум поглинання в області 410 нм (0,707 відн.од.). При цьому, оптична щільність при довжині хвилі 405 нм склала 0,702 відн. од. (рис.1.).

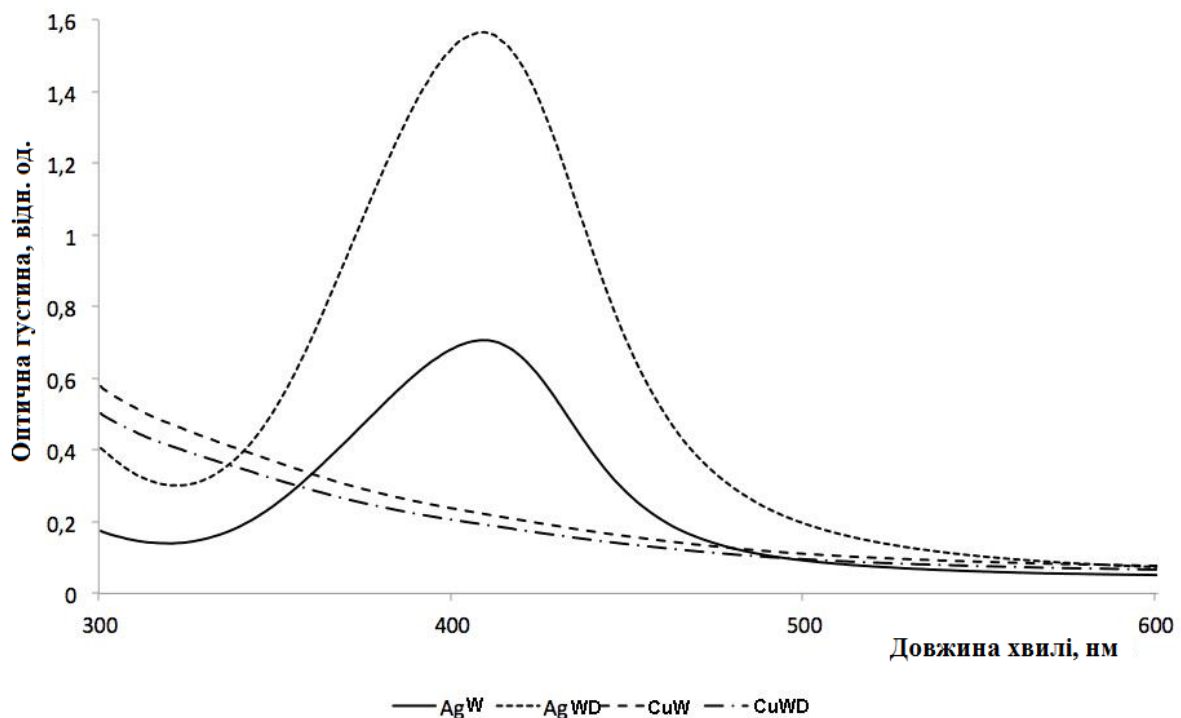


Рис.1. Спектри оптичної густини досліджуваних наночастинок.

Вимірювання дисперсії наночастинок срібла AgWD показали, що даний зразок наночастинок має максимум поглинання в

спектральному регіоні 405-410 нм (1,557-1,564 відн. од.). Оптична щільність дисперсії при довжині хвилі збудження 405 нм була вище, ніж в попередньому випадку, і склала 1,557 відн. од. Отримані показники оптичної щільності відповідають паспортним даним фірми-розробника.

Спектральний аналіз дисперсії наночастинок міді CuW виявив досить широку область з високим поглинанням від 300 до 400 нм. Оптична щільність дисперсії цього зразка наночастинок при довжині хвилі 405 нм склала 0,228 відн. од. Встановлено, що наночастинки міді CuWD мають аналогічний спектр з оптичною щільністю розчину, яка рівна 0,197 відн. од. при довжині хвилі світла 405 нм.

Проведені дослідження показали, що використання обраних зразків наночастинок в поєднанні з синім (405 нм) випромінюванням може бути перспективним для антимікробної фотодинамічної дії.

На наступному етапі досліджували дію синього (405 нм) світлодіодного випромінювання на клітини стандартного штаму *S. aureus* 209 P. Показано, що дія синім світлом не викликала істотного скорочення чисельності дослідженого мікроорганізму. Так вплив протягом 5-ти хвилин призводив до зниження КУО на 9% відносно контролю, а при часі опромінення 10 хвилин показник КУО зменшувався на 22%. Дія синього випромінювання протягом 30 хвилин скорочувала відносну чисельність досліджених бактерій на 39%.

Обробка клітин *S. aureus* 209 P водною дисперсією наночасток срібла AgW викликала істотне посилення дії світлодіодного випромінювання. Після 5-ти хвилин експозиції чисельність бактерій скорочувалася на 41%, після 15 хвилин - на 88%, а після 30 хвилин - на 97%.

Клінічний штам золотистого стафілокока (MRSA) демонстрував велику сприйнятливість до дії світлодіодного синього випромінювання (рис.2). Експозиція світла протягом 10-15 хвилин призводила до скорочення чисельності популяції бактерій на 35-47% в порівнянні з контролем. Опромінення тривалістю 30 хвилин викликало зменшення числа КУО на 58%.

Використання водної діалізованої дисперсії наночастинок срібла AgWD забезпечувало більш виражену дію на клітини *S. aureus* 209 P протягом перших 5-10 хвилин опромінення: зменшення числа колонієутворюючі одиниці (КУО) відзначено на 51-75%. При

подальшому збільшенні часу опромінення зниження чисельності відзначено на 82% після 15 хвилин і на 96% - після 30 хвилин.

Схожа динаміка зміни чисельності бактерій при використанні двох зразків водних дисперсій наночастинок срібла і опроміненні світлодіодним синім випромінюванням відзначена для метицилінрезистентного штаму *S. aureus*. При варіюванні часу опромінення від 5 до 30 хвилин зниження числа КУО відбувалося в середньому на 60-98%.

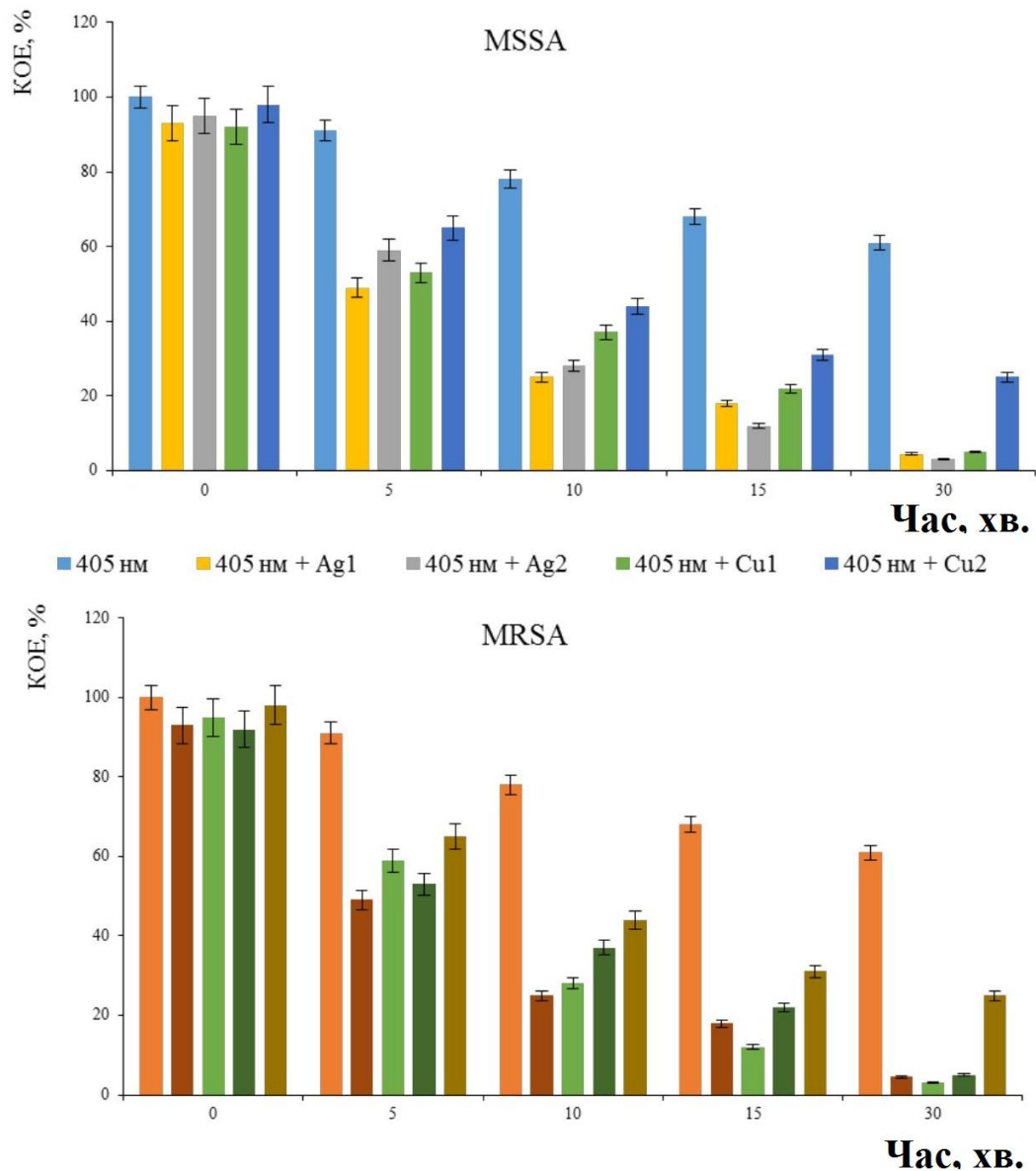


Рис.2. Вплив синього (405 нм) світлодіодного випромінювання і наночастинок на чисельність мікроорганізмів.

Необхідно відзначити, що скорочення числа мікроорганізмів двох досліджених штамів, клітини яких були оброблені наночастинками срібла і піддані опроміненню протягом 15-30 хвилин, не мало достовірних відмінностей між собою.

На наступному етапі було вивчено дію водних дисперсій наночастинок міді CuW на виживання бактерій *S. aureus* 209 P. Встановлено, що дані наночастинки посилюють дію синього (405 нм) випромінювання. Зниження КУО після 5 хвилин впливу відзначено на 47%, а після 30 хвилин опромінення - на 95%. Зразок наночастинок міді CuWD мав менш виражені фотодинамічні властивості. Зменшення чисельність *S. aureus* 209 P відбувалося на 35-75% після 5-30 хвилин опромінення синім світлом.

Необхідно відзначити, що скорочення числа мікроорганізмів двох досліджених штамів, клітини яких були оброблені наночастинками срібла і піддані опроміненню протягом 15-30 хвилин, не мало достовірних відмінностей між собою.

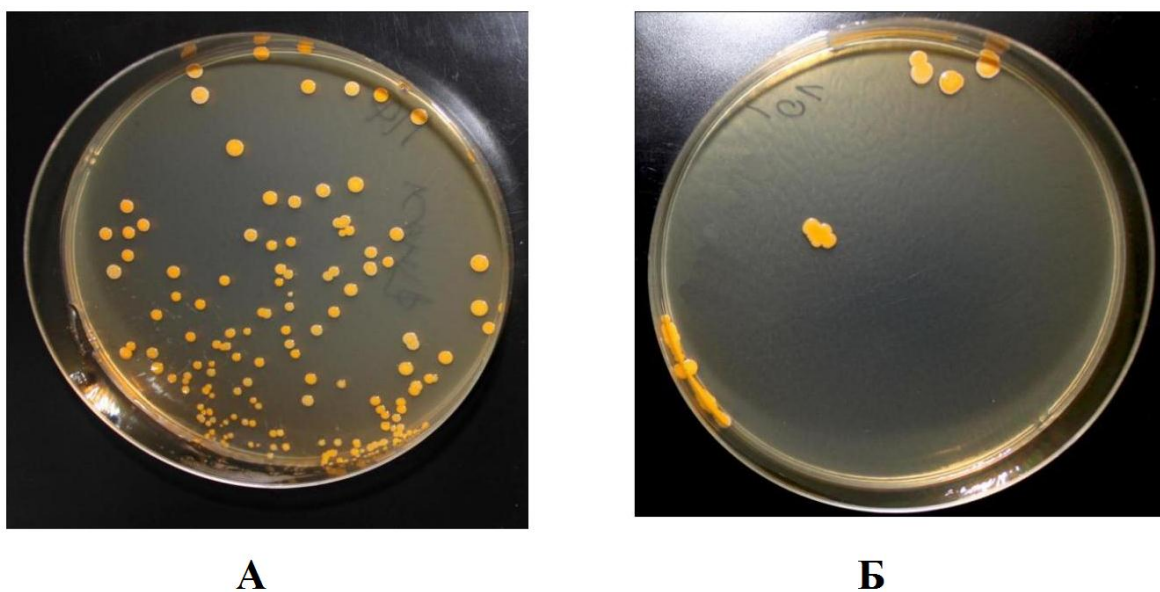


Рис.3. Показники КУО *S. aureus* 209 P: А - контроль; Б - після обробки наночастинками AgW і опроміненні синім світлом 15 хвилин.

Для клінічного штаму *S. aureus* ефект посилення фотодинамічної дії синього випромінювання водними дисперсіями наночастинок міді був більш виражений. Скорочення чисельності КУО бактерій в разі використання зразка CuW показано на 44% після 5-ти хвилин

опромінення, на 71% - після 10-ти хвилин, на 81% - після 15-ти хвилин і на 96% - після 30 хвилин. Використання зразка водної дисперсії наночастинок міді CuWD також викликало загибель бактеріальної популяції. Зниження чисельності мікроорганізмів відбувалося на 77% після 15-ти хвилин опромінення синім світлом і на 84% - після 30 хвилин.

Вміст стабілізатора діоктилсульфосукціонат натрію (АОТ) в зразку водної дисперсії наночастинок міді був в два рази вищим, ніж в зразку водної діалізованої дисперсії, з цим, ймовірно, і пов'язано більш ефективне зниження числа КУО досліджених мікроорганізмів.

Таким чином, в ході проведених досліджень встановлено, що найбільшу фотодинамічну активність щодо досліджених штамів проявляла водна діалізована дисперсія наночастинок срібла зразка AgWD, причому найбільш чутливим до них виявився метицилінрезистентний клінічний штам *S. aureus*. Оскільки за даними виробника відповідно до паспорта якості, термін придатності наночастинок становить до двох років з дати виготовлення, то отримані результати дозволяють розглядати водні дисперсії наночастинок срібла і міді в якості перспективних фотосенсибілізаторів для посилення ефекту дії синього випромінювання на збудників гнійно-запальних захворювань при проведенні антимікробної фотодинамічної терапії.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення термінів «біонанотехнологія», «нанобіотехнологія» і «біочіп».
2. Яким є найважливіше завдання біонанотехнології в наш час ?
3. Нанороботи і їх види.
4. Який електрод називають біонаноелектродом і як він функціонує?
5. Охарактеризуйте використання наночастинок металів в біології і медицині.
6. Що розуміють під термінами «фотосенсибілізатор» і «фотодинамічний ефект» ?
7. Охарактеризуйте антимікробну дію дисперсій наночастинок металів.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.Н. Пахарьков «Биомедицинская инженерия: проблемы и перспективы», Учебное пособие. – СПб.: «Политехника». 2011. - 232 с.
2. В.П. Олейник. Основы взаимодействия физических полей с биологическими объектами.– Учебное пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2006. - 61 с.
3. А.А. Тихомиров, В. П. Шаранич, Г.М. Лисовский Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Учебное пособие. –Н. Изд. СО РАН. 2000. -213 с.
4. Л.В. Илясов Биомедицинская аналитическая техника. – Учебное пособие. – СПб.: Политехника. 2012. - 350 с.
5. Л.П. Варфоломеев Элементарная светотехника. – М. Учебный центр компании «Световые Технологии». 2013. -275 с.
6. О.К. Шуайбов, І.В. Шевера, Л.Л. Шимон, Е. А. Соснін Сучасні джерела ультрафіолетового випромінювання: розробка та застосування. Ужгород-Томськ, 2006. Видавництво УжНУ «Говерла». - 225 с.
7. О.К. Шуайбов, Р.В. Грицак Ультрафіолетові лампи на радикалах гідроксилу та ексиплексних молекулах з накачуванням бар’єрним наносекундним розрядом: Монографія. 2018. Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Видавництво «Говерла» ISBN: 978-617-7333-63. – 114 с.
8. О.К. Шуайбов, І.А. Грабова, І.В. Шевера Газорозрядні УФ–ВУФ ексиплексні і галогенні лампи низького тиску. Монографія. 2018. ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Видавництво «Говерла» ISBN: 978-617-7333-64-6. – 260 с.
9. А.И. Васильев, А.В. Красночуб, М.Е. Кузьменко, В.Я. Печеркин Анализ современных промышленных источников бактерицидного ультрафиолетового излучения // Светотехника. 2004. № 6. –С.42-46.
10. Э. А. Соснин, В.Н. Баталов, Э.А. Захарова Применение ексиплексных источников УФ излучения в анализе // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2005. Т.71, №8. – С.18-24.
11. Л.М. Василяк Применение импульсных электроразрядных ламп для бактерицидной обработки // Электронная обработка материалов. 2009. № 1. – С.30-40.

12. В.Б. Максименко Сучасний стан та перспективи освітрянського напрямку «Біомедіженерія» // Био-Медицинская Инженерия. 2011. № 1. -С.2-5.
13. А.Л. Вассерман, М.Г. Шандала, В.Г. Юзбашев Применение ультрафиолетовых бактерицидных облучателей для обеззараживания воздуха в помещениях. Обзор современного состояния проблемы // Медицинский алфавит. Эпидемиология и гигиена. 2013. № 3. – С.24-31.
14. Alexander Shuaibov, Roksolana Grizak Optical characteristics of UV-VUV lamps on the electronic-vibrational transition of the hydroxyl radical pumped by a nanosecond capacitive discharge // High. Volt. 2017. Vol.2 Iss 2, – P.78-81. ([http:// digital-library. theiet org / content / journals / 10. 1049 / hve. 2016.0092](http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/hve.2016.0092)).
15. Л.М. Василяк Физические методы дезинфекции (обзор) Успехи прикладной физики // 2018. Т.6, № 1. –С.5-17.
16. Т.А. Шульгина, И.А. Норкин, Д.М. Пучинян Антибактериальное действие водных дисперсий наночастиц серебра на грамотриотрицательные микроорганизмы // Фундаментальные исследования. 2012. №7-2. – С.424-426.
17. Т.А. Шульгина Водный раствор наночастиц меди и его антимикробная активность // Успехи современного естествознания. 2012. №12. – С.143-143.

ДОДАТОК

«Знання» і «вміння» студентів бакалаврату з спеціальності «Біомедична інженерія»

Історія та культура України.

Знати історичні умови функціонування, основні етапи розвитку та найважливіші події, явища, персоналії українського культурного процесу; сучасні інтерпретації історії України та її культури і використовувати їх на українському матеріалі; принципи міждисциплінарного підходу до вивчення історії України та української культури; має уявлення про етнічні та національні культури народів на території України.

Уміти дискутувати з проблемних, суперечливих питань української історії та культурного процесу; має сформовану систему знань про роль та місце історії України в сучасному світі та роль української культури в світовому культурному просторі.

Іноземна мова.

Знати вільно і фонетично правильно читати тексти, підібрані на базі вивченого лексичного і граматичного матеріалу; розуміти та характеризувати зміст прочитаного чи прослуханого тексту.

Уміти вести бесіду іноземною мовою в межах вивченої тематики, дотримуючись граматичних і фонетичних норм; переказувати зміст прочитаного чи прослуханого поза аудиторного читання; уміти робити повідомлення за правовими темами; переказати іноземною мовою зміст прочитаного чи прослуханого професійно-спрямованого тексту; письмово викладати прослуханий спеціалізований текст; перекладати професійні та ділові тексти з рідної мови на іноземну і з іноземної на рідну; здатен працювати з оригінальною літературою, реферувати і анотувати наукову літературу, виступати ініціатором діалогу у ситуації професійного спілкування; одержувати професійну інформацію з іноземних джерел, а також проводити бесіду-діалог; здійснювати пошук інформації у мережі Інтернет за методом ключових слів.

Ділова українська мова.

Знати розпізнавати норми сучасної української літературної мови, відповідно до норм правильно висловлювати свою думку; застосовувати особливості усної і писемної форм мовлення у професійній діяльності.

Уміти доречно поєднувати вербальні та невербальні засоби спілкування; демонструвати знання правил мовленнєвого етикету в різних етикетних комунікативних ситуаціях; послуговуватися лексикографічними джерелами та іншою допоміжною додатковою літературою, необхідною для

самостійного вдосконалення мовної культури; визначати типи документів за різними класифікаційними ознаками; складати і редагувати тексти документів, дотримуючись вимог культури писемного мовлення; аналізувати правничі терміни нормативно-правових актів з погляду їхньої доречності, відповідності правовим поняттям; демонструвати навички оперування фаховою термінологією, редагування, корегування та перекладу наукових текстів.

Філософія.

Знати предмет філософії, основні філософські принципи, закони та категорії, а також їх зміст і взаємозв'язки; світоглядні та методологічні основи філософського мислення; роль філософії у формуванні ціннісних орієнтацій у професійній діяльності.

Уміти орієнтуватися у системі філософського знання як цілісного уявлення про основи світобудови та перспективи розвитку планетарного соціуму; застосовувати філософські принципи та закони, форми пізнання у юридичній діяльності; розуміти характерні особливості сучасного етапу розвитку філософії; застосовувати навички філософського аналізу різних типів світобачення; використовувати різні філософські методи для аналізу тенденцій розвитку сучасного суспільства; володіти загальнонауковими методами наукового пізнання, основними навичками публічного мовлення, аргументації, ведення науково-філософської дискусії та полеміки.

Інформатика.

Знати основи програмування мовами C++; створення прикладних програм з використанням об'єктно-орієнтованого підходу.

Уміти кваліфіковано працювати на персональному комп'ютері із системними й прикладними програмними засобами; виконати вибір програмного забезпечення для рішення конкретних прикладних задач; розробляти програми мовами C, C++.

Охорона праці та безпека життєдіяльності.

Знати основні поняття, терміни та визначення в галузі безпеки життєдіяльності та основ охорони праці; структура системи "Л-М-С"; фактори небезпеки, їх джерела та основні характеристики; основні положення теорії ризику; якісні та кількісні методики аналізу небезпек; принципи, методи, та засоби забезпечення безпеки життєдіяльності; закони, правила й інші документи з БЖД та ООП; основні поняття в області ООП; закон України «Про охорону праці»: розділи, основні положення, гарантії прав громадян на охорону праці; організацію охорони праці на підприємстві; навчання з питань охорони праці, види інструктажів; розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань та

аварій на виробництві; методи аналізу виробничого травматизму та професійної захворюваності; державні нормативні акти з охорони праці, їх кодування; органи державного нагляду за охороною праці і громадського контролю за охороною праці; відповідальність за невиконання вимог з охорони праці та відшкодування збитків працівникам у разі ушкодження їх здоров'я та моральних збитків; вплив електричного струму на організм людини; умови ураження людини електричним струмом; аналіз небезпеки електричних мереж; технічні заходи та засоби безпечної експлуатації електроустановок; мікроклімат виробничих приміщень, освітлення виробничих приміщень; дію шуму на організм людини, нормування рівнів шумів, методи захисту від шуму; вплив вібрацій на організм людини, нормування вібрацій та методи захисту; вплив електромагнітного випромінювання на організм людини, методи захисту від електромагнітного випромінювання; класифікацію виробництв за показниками вибухо- та пожежої небезпеки; класифікацію вибухо- та пожежонебезпечних приміщень (зон); систему запобігання пожежі, систему протипожежного захисту.

Уміти проводити аналіз системи "Л-М-С"; вміння проводити якісний та кількісний аналіз небезпек; вміння організовувати розслідування нещасних випадків на виробництві; навички визначати вимоги щодо навчання працівників з урахуванням їх функціональних обов'язків та провести інструктаж на робочому місці з питань захисту від шкідливих факторів; вміння вибирати заходи захисту у разі переходу напруги на нормально неструмоведучі частини; вміння вибирати заходи захисту від випадкових дотиків до струмоведучих частин; вміння вибирати заходи та засоби захисту від дії шкідливих чинників виробничого середовища; вміння обирати організаційні та технічні заходи і засоби попередження пожеж та протипожежного захисту.

Загальна фізика.

Знати сучасні фізичні уявлення про довколишній простір і прості форми руху матерії та фундаментальні взаємодії матеріальних об'єктів; основні фундаментальні поняття і визначення загальної фізичної теорії; специфіку фізики в системі наук і в дослідженні дійсності; сучасні методи пізнання природи; основи концепцій уявлення організації матерії; основи сучасних концепцій макро-, мікро- і наносвіту; основні типи коливань і хвиль в природі, їх властивості; сучасні концепції фізичної науки, покладені в основу цифрового, мультимедійного світу і сучасних комунікаційних систем і технологій; сучасні концепції фізичної науки, покладені в основу розробки методик дії фізичних полів на біооб'єкти та відповідне апаратне забезпечення; сучасні концепції фізичної науки щодо використання методів застосування різних фізичних чинників на біомолекули, біо-наноструктури і

макроматеріали медицини і біології, розроблення відповідних пристроїв та методик їх застосування в біомедичній інженерії.

Уміти характеризувати основні поняття сучасної фізичної теорії; виконувати на основі фізичних понять і знань оцінки параметрів і характеристик різних процесів; практично визначати і характеризувати основні фізичні закони, покладені в основу сучасного комп'ютерного обладнання; формулювати і пояснювати теоретичні побудови в сфері біомедичної інженерії, структуру даних, які використовуються в медицині та біології; використовувати фізичні закони для розв'язання прикладних задач біомедіцинженерії; застосовувати моделювання фізичних процесів для вирішення технологічних проблем у питаннях використання новітніх біоматеріалів; застосовувати загальні фундаментальні закони і теорії фізичної науки до аналізу конкретних явищ, визначати межі їх застосування; оцінювати ступінь достовірності результатів, отриманих за допомогою експериментальних або математичних методів дослідження; проводити експериментальне наукове дослідження різних фізичних явищ і оцінювати похибку вимірювань; вирішувати конкретні задачі з різних областей фізики.

Вища математика. Математичний аналіз.

Знати про числові множини в тому числі про N , Z , Q , I , R і логічну символіку; поняття числової послідовності; поняття відображення; типи відображень; поняття функції та її основних властивостей; основні властивості і ознаки існування границі числових послідовностей і функцій; методи порівняння асимптотичної поведінки функцій; основні еквівалентності; поняття про число "e"; властивості неперервних функцій, монотонних функцій, теорему про обернену функцію, неперервність функцій та їх властивості; властивості диференційованих функцій в точці; теореми про скінченні прирости та їх наслідки; теореми про середнє; умови монотонності, екстремуму, випуклості функцій; повне дослідження функцій та побудову їх графіків; похідну за напрямком; частинні похідні; градієнт; властивості диференційованих функцій; частинні похідні вищих порядків; інтегральне числення; невластні інтеграли залежні від параметрів; основні поняття та властивості кратних (подвійних, потрійних), криволінійних, поверхневих інтегралів; методи обчислення інтегралів; ряди та інтеграли Фур'є та їх основні властивості.

Уміти виконувати операції над множинами; досліджувати на збіжність послідовності; обчислювати границі функції в точці; визначати властивості функцій і будувати їх графіки; досліджувати функції на неперервність в точці і на рівномірну неперервність на множині; означення диференційованої функції багатьох змінних; похідна за напрямком; частинні похідні; градієнт; властивості диференційованих функцій;

частинні похідні вищих порядків; формулу Тейлора для функції багатьох змінних; локальні та глобальні екстремуми функції багатьох змінних; необхідні та достатні умови локального екстремуму; інтегральне числення; невластні інтеграли залежні від параметрів; основні поняття та властивості кратних (подвійних, потрійних), криволінійних, поверхневих інтегралів; методи обчислення інтегралів; ряди Фур'є та їх основні властивості; перетворення Фур'є.

Алгебра та аналітична геометрія.

Знати основні поняття теорії множин та дійсних чисел; типи відображень; основні операції з комплексними числами; матриці, операції над матрицями та ранг матриці; властивості матриць; визначники та їх основні властивості; перестановки; поняття перестановки та її властивості; системи лінійних рівнянь та методи їх розв'язання; єдності розв'язку систем лінійних рівнянь; системи лінійних однорідних рівнянь; фундаментальну систему розв'язків лінійного рівняння; поняття многочленів та ділення многочленів; корені многочлена, лінійний оператор, власне значення та власний вектор лінійного оператора; нормальна форма Жордана; евклідів простір; ортонормований базис; ортогональний оператор; симетричний оператор; квадратична форма, ранг квадратичної форми, нормальний та канонічний вигляд квадратичної форми, додатньо визначена квадратична форма; основні поняття аналітичної геометрії, зокрема: вектори, скалярний, векторний, мішаний добуток векторів; різні системи координат; перетворення координат; різні види рівняння прямої на площині та в просторі; взаємне розміщення прямих, площин; побудова поверхонь другого порядку; поняття теорії кривих та поверхонь другого порядку; геометричні перетворення.

Уміти виконувати арифметичні дії над комплексними числами, підносити їх до ступеня і знаходити корені натурального ступеня; розв'язувати системи лінійних рівнянь, обчислювати детермінанти, виконувати дії над матрицями; знаходити обернені матриці; виконувати дії над многочленами, знаходити найбільший спільний дільник многочленів; розкласти раціональні функції в суму елементарних раціональних дробів; вміння знаходити матрицю лінійного оператора скінчено вимірного лінійного простору; навички знаходження ядра та образу лінійного оператора; вміння знаходити власні значення та власні вектори лінійного оператора; вміння володіти головними теоретичними і практичними засадами побудови числових розв'язків задач на власні значення; вміння знаходити нормальну форму Жордана матриці; вміння ортогоналізувати лінійно незалежну систему векторів, знаходити канонічний вигляд квадратичної форми; вміння виконувати лінійні операції з векторами; навички застосовувати скалярний векторний і мішаний добуток при розв'язуванні задач; вміння знаходити координати точок в різних системах

координат; вміння використовувати рівняння геометричних образів першого та другого порядку для різних видів геометричних перетворень при дослідженні об'єктів на площині та у просторі.

Диференціальні рівняння.

Знати основні поняття та означення теорії диференціальних рівнянь; інтегровані типи диференціальних рівнянь першого порядку; різні типи рівнянь першого порядку; задача Коші; рівняння, не розв'язані відносно похідної; диференціальні рівняння вищих порядків; інтегровані типи рівнянь n -го порядку; загальна теорія лінійних систем диференціальних рівнянь n -го порядку; лінійні однорідні рівняння n -го порядку зі сталими коефіцієнтами; лінійні неоднорідні рівняння n -го порядку та звідні до них; системи звичайних диференціальних рівнянь; зв'язок між системою та рівнянням n -го порядку; лінійні неоднорідні системи диференціальних рівнянь із сталими коефіцієнтами; лінійні та квазілінійні диференціальні рівняння з частинними похідними першого порядку; задача Коші для рівняння з частинними похідними першого порядку.

Уміти проводити класифікацію звичайних диференціальних рівнянь першого порядку за типами; знаходити загальні розв'язки основних типів звичайних диференціальних рівнянь першого порядку; формулювати та розв'язувати задачу Коші, досліджувати її розв'язність та встановлювати основні властивості розв'язків; зводити диференціальні задачі до еквівалентних інтегральних рівнянь (прямий і непрямий підходи); формулювати та в окремих випадках розв'язувати задачу Коші для нормальних систем диференціальних рівнянь та рівнянь вищих порядків; користуючись теоремами існування та єдності, досліджувати розв'язність задачі Коші; розв'язувати лінійні диференціальні рівняння вищих порядків та лінійні системи рівнянь зі сталими коефіцієнтами; розв'язувати квазілінійні рівняння з частинними похідними першого порядку; перевіряти стійкість розв'язків автономних систем диференціальних рівнянь; навички розпізнавання основних типів інтегрованих скалярних рівнянь; знаходити розв'язки скалярних рівнянь першого порядку, понижувати порядок рівнянь, будувати загальні розв'язки лінійних рівнянь і систем, рівнянь в частинних похідних першого порядку.

Біофізика.

Знати предмет, завдання і розділи біофізики, історію розвитку біофізики, зв'язок біофізики з біологічними і фізичними науками; термодинаміку лінійних процесів, перший і другий закони термодинаміки в біології, зв'язок ентропії та інформації в біосистемах, основні положення лінійної нерівноважної термодинаміки, стаціонарний стан і термодинамічну рівновагу в біосистемах, теорему Пригожина; нелінійну термодинаміку,

біфуркації і дисипативні структури, приклади нелінійних процесів у живій природі; основні поняття квантової біофізики, енергетичні рівні складних молекул, синглетні та триплетні збуджені стани, шляхи трансформації енергії в біоструктурах. електронні властивості біомолекул; механізми міграції енергії, резонансний, екситонний та солітонний, перенесення електрону в біоструктурах, тунельний ефект, роль збуджених станів біомолекул та міграції енергії в біологічних процесах; спектри біомолекул та їх інформативність; особливості кінетики біологічних процесів; моделювання в біофізиці; загальну характеристику структури і функцій біомолекул; просторову організацію молекул нуклеїнових кислот; властивості білкових молекул; структуру і функціонування біологічних мембран; електричні властивості клітин; біопотенціали; загальні принципи і закономірності сенсорної рецепції; механізми механорецепції; фотобіологічні процеси; фотореакції в білках і нуклеїнових кислотах; загальна характеристика поглинання енергії різних видів іонізуючої радіації; генетичні аспекти дії радіації; сучасні методи структурного аналізу біосистем; елементний та молекулярний аналіз біооб'єктів.

Уміти трактувати основні положення термодинаміки відкритих систем; застосовувати термодинамічний метод вивчення біологічних об'єктів; трактувати процеси впорядкування у фізичних, хімічних і біологічних системах; використовувати спектральні методи дослідження біологічних зразків; трактувати основні поняття квантової механіки; розуміти роль збуджених станів молекул як первинної фізичної стадії біопроеесів; пояснювати механізми міграції енергії та її значення в біопроеесах (на прикладі фотосинтезу). трактувати основні положення кінетики біохімічних реакцій; пояснювати фізичні механізми і особливості прояву явищ переносу у живій матерії; застосовувати кінетичні методи вивчення макромолекул; трактувати значення молекул у процесах життєдіяльності; аналізувати міжмолекулярні взаємодії в біополімерах; пояснювати фізичні та біофізичні характеристики біомолекул і механізми їх функціонування; аналізувати фізичні та біофізичні характеристики біологічних мембран і механізми їх функціонування; аналізувати еквівалентні електричні схеми біологічних тканин, дисперсії імпедансу біологічних тканин; використовувати діелектричні методи дослідження біологічної повноцінності клітин; трактувати особливості пасивних та активних електричних властивостей живих клітин; пояснювати іонну природу мембранного потенціалу спокою; трактувати механізм виникнення потенціалу дії, його швидкість та особливості поширення; аналізувати фізичні та біофізичні характеристики сенсорних систем і механізми їх функціонування; пояснювати природу фоторецепції; трактувати механізми передачі і переробки інформації у нервовій системі; використовувати біосенсиори; аналізувати спектр інтегрального сонячного випромінювання і

оцінювати біологічні ефекти різних спектральних діапазонів; порівнювати відповідні характеристики оптичного та електронного мікроскопів; пояснювати фізичні особливості лазерного випромінювання та вирізняти напрями його використання у біофізиці та медицині; аналізувати основні види, властивості та джерела іонізуючої радіації; пояснювати основні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з біологічними об'єктами, робити висновки щодо шляхів захисту від дії іонізуючого випромінювання; демонструвати навички роботи з дозиметром і радіометром; пояснювати фізичні основи та біофізичні механізми застосувань джерел радіації в сільському господарстві і біотехнології; порівнювати відносну біологічну ефективність різних видів радіації; пояснювати фізичні основи дії постійного і змінного електричного та магнітного полів на біооб'єкти; аналізувати еквівалентні електричні схеми біологічних тканин, дисперсії імпедансу біологічних тканин; використовувати діелектричні методи дослідження біологічної повноцінності клітин; розуміти принцип дії сучасних методів –ЕПР та ЯМР.

Загальна хімія.

Знати предмет, цілі і завдання загальної і неорганічної хімії; основні поняття і закони хімії, термінологію і номенклатуру найважливіших хімічних сполук; сучасні уявлення про будову атомів, молекул і речовин в різних агрегатних станах; природу і типи хімічного зв'язку, методи її опису; елементи хімічної термодинаміки; елементи хімічної кінетики методологію застосування термодинамічного і кінетичного підходів до встановлення принципової можливості здійснення хімічних процесів; методи опису хімічної рівноваги в розчинах електролітів; специфіку будови і властивості координаційних сполук; характеристику найважливіших елементів і їх з'єднань, найважливіші хімічні процеси за участю неорганічних речовин; закономірності зміни фізико-хімічних властивостей простих і складних речовин в залежності від положення складових їх елементів в Періодичній системі; основні правила охорони праці та техніки безпеки при роботі в хімічній лабораторії.

Уміти працювати з хімічними реактивами, розчинниками, найпростішим лабораторним хімічним обладнанням; проводити розрахунки, пов'язані з приготуванням розчинів заданої концентрації, визначенням термодинамічних і кінетичних характеристик хімічних процесів, визначенням стехіометрії хімічних реакцій, встановленням якісного і кількісного складу з'єднань, визначенням умов утворення осадів важкорозчинних речовин та ін.; використовувати принцип періодичності та Періодичну систему для передбачення властивості простих і складних хімічних сполук і закономірностей в їх зміні; проводити аналіз фізико-хімічних властивостей простих і складних речовин; проводити

найпростіший навчально-дослідний експеримент на основі володіння основними прийомами техніки робіт в лабораторії; проводити оцінку похибок результатів фізико-хімічного експерименту; оформляти результати експериментальних і теоретичних робіт, формулювати висновки.

Біохімія.

Знати хімічний склад і будову речовин, що містяться в живих організмах; основні положення цитології; елементи теорії клітинної будови (клітинні органели, їх будова і функції, ядро, цитоплазма, клітинна мембрана); біохімію білків та амінокислот; первинну структуру білків; внутрішньо-і міжмолекулярні взаємодії, що визначають просторову структуру білків; вторинну, третинну і четвертинну структури, функції білків; денатурацію білків; нуклеїнові кислоти; біологічне значення нуклеїнових кислот; дезоксирибонуклеїнова і рибонуклеїнова кислоти, нуклеотиди, будова і функції в живих організмах; передача спадкових ознак; суть біотехнології та генної інженерії; ферменти і вітаміни; структуру і каталітичні властивості ферментів. будова вітамінів і їх роль у ферментативних реакціях та в обмінних процесах, вітаміни - антиоксиданти; вуглеводи і їх класифікація, найбільш важливі реакції за участю вуглеводів; ліпіди та їх біомедичне значення; структура і класифікація ліпідів; насичені і ненасичені кислоти та їх ефіри; сутність хімічних перетворень, що відбуваються в організмах, механізми їх регуляції і їх роль в забезпеченні життєдіяльності організму; методи теоретичних та експериментальних досліджень. хімічні основи життєдіяльності, включаючи хімічну будову і властивості природних сполук та їх комплексів, основні шляхи і механізми регуляції метаболізму, біохімічні механізми реалізації генетичної інформації; енергетичні біохімічні цикли; метаболізм і отримання біохімічної енергії та роль АТФ в обміні енергії; біорегулятори та їх класифікація: гормони, нейромедіатори, ліки і ксенобіотики; класифікація гормонів: білкові гормони, стероїдні, похідні амінокислот; механізми дії гормонів; механізми передачі нервового сигналу і роль нейромедіаторів.; ліки і ксенобіотики: механізми дії і метаболізм; теоретичну і практичну значимість біохімії, взаємозв'язок з іншими природничими науками; - новітні досягнення в області біохімії і перспективи їх використання в різних областях народного господарства, медицини, фармації.

Уміти застосовувати отримані знання на практиці і при вивченні інших дисциплін; самостійно проводити лабораторні дослідження з визначення основних фізико-хімічних характеристик рідин людини (крові, сечі); аналізувати отримані експериментальні дані; працювати на приладах та обладнанні, які використовуються в біохімічних лабораторіях (спектрофотометри, фото-електро-колориметри, центрифуги);

використовувати методи якісного та кількісного аналізу нуклеїнових кислот, білків, жирів, вуглеводів, вітамінів і гормонів в біологічному матеріалі; використовувати знання біохімії для пояснення найважливіших фізіологічних процесів, що відбуваються в органах і тканинах людини, тварин, рослин, прокаріотів як в нормі, так і при виникненні патології; користуватися біохімічними методами досліджень в експериментальній біології; володіти основними прийомами, в рамках відомих методів, вивчення хімічного складу живих організмів і структурних особливостей біологічно активних речовин.

Анатомія, фізіологія та патологія людини.

Знати рівні організації організму людини; особливості будови всіх систем організму людини; фізіологічні процеси, які відбуваються в організмі людини (процеси кровообігу, дихання, травлення, обміну речовин, терморегуляції, виділення тощо); значення нервової системи в регуляції і узгодженості функцій організму людини та взаємозв'язку організму з навколишнім середовищем; патологічні стани організму людини; валеологічні основи подолання патологічних станів організму; фактори, що зберігають здоров'я і такі, що порушують його.

Уміти визначати загально біологічні та спеціальні поняття; застосовувати конкретні знання для пояснення фізіологічних і патологічних процесів; розпізнавати органи і системи органів, пояснювати зв'язок між їх будовою і функцією; впроваджувати валеологічні знання для подолання патологічних станів організму людини.

Екологія.

Знати глобальні проблем екології; закони екології; екологічні фактори та їх вплив; наслідки забруднення навколишнього середовища; джерела і види забруднення атмосфери; способи захисту атмосфери від забруднення; основні принципів і методи водопідготовки; фактори забруднення ґрунту; методи контролю за станом навколишнього середовища; класифікацію шкідливих речовин, наслідки гострих та хронічних отруень; технологію проведення екологічної експертизи; природоохоронне законодавство; принципи практичних заходів створення безвідхідних виробництв; методи переробки відходів; методи оцінки величин екологічного збитку.

Уміти здійснювати нагляд та контроль за станом навколишнього середовища; проводити екологічну експертизу; планувати та робити облік в області охорони природи та раціонального природокористування; зменшувати вплив матеріального виробництва на навколишнє середовище; знищувати та переробляти токсичні відходи; оцінювати величину

економічного збитку; запобігати забрудненню навколишнього середовища, гострим та хронічним отруєнням.

ДИСЦИПЛІНИ ВІЛЬНОГО ВИБОРУ.

Менеджмент і маркетинг у галузі біомедичної інженерії.

Знати місце маркетингу в структурі управління та функціонування підприємства; процес управління маркетингом; основи формування попиту на товари; види попиту та їх вплив на розробку маркетингової стратегії підприємства; сегментацію ринку товарів (послуг); вплив етапу розвитку товару на поведінку виробника; способи вивчення продукції та поведінки конкурентів; основи ціноутворення та цінову політику підприємства, особливості збуту продукції та роль посередників на ринку; основи організації реклами засобів виробництва; сутність, механізм та особливості ефективної системи управління організаціями; шляхи здійснення управлінських функцій, а також методи обґрунтування управлінських рішень. технологію управління підприємствами; моделі ринкової економіки та методи управління в умовах ринку; стратегію розвитку підприємств; основні закони про підприємство, товари, ціноутворення, податки та ін.; стратегію маркетингу; методи управління якістю продукції; проблеми сучасної економіки: дефіцит, монополізм, концентрація, конкуренція; принципи стратегічного планування, індикативного планування в умовах ринкової економіки; умови, принципи та методи кредитування підприємств.

Уміти розробляти бізнес-план розвитку підприємства; вибирати канали матеріально-технічного постачання та збуту продукції в системі товароруху; виконувати ринкову орієнтацію виробничо-збутової діяльності підприємства на основі маркетингу; використовувати методи управління якістю продукції; розраховувати податки та використовувати методи кредитування підприємств для розвитку виробництва; працювати з документами бухгалтерського обліку, фінансовими та податковими відомостями та ін.; прогнозувати ефективність розвитку виробництва; робити самостійні науково обґрунтовані висновки та узагальнення щодо роботи підприємства, оцінювати роботу підприємства з врахуванням знань менеджменту та маркетингу.

Економіка і організація виробництва.

Знати економічну сутність, склад, структуру, класифікацію, особливості відтворення, методи нарахування амортизації, фактори формування ефективності використання основних фондів підприємства; економічну сутність, склад, структуру і класифікацію оборотних засобів та фондів обігу; загальні поняття про нормування, фактори формування ефективності використання оборотних засобів; поняття та склад

нематеріальних ресурсів і активів підприємства; зміст і характеристику витрат на виробництво продукції, поняття собівартості продукції та її калькулювання; економічний зміст і функції цін, види цін, методи ціноутворення в умовах ринку; поняття доходу й фінансового результату діяльності підприємства, механізм формування та використання прибутку в ринкових умовах господарювання; економічну сутність інвестицій, їх види та характеристики, методики оцінки економічної ефективності інвестиційних проектів; елементи і принципи організації виробництва; структуру виробничого процесу та його організацію у просторі та часі; особливості організації потокового виробництва; форми та системи оплати праці; особливості організації допоміжних господарств.

Уміти аналізувати та оцінювати: структуру, динаміку, технічний стан та ефективність використання основних фондів; структуру та ефективність використання оборотних засобів; структуру персоналу підприємства та продуктивність праці; суму амортизації по нематеріальним активам; собівартість продукції; ціну продукції; дохід, прибуток та рентабельність; економічну ефективність інвестиційних проектів; види підприємств за різними ознаками; структуру виробничого циклу; термін технологічного циклу в залежності від виду руху предметів праці у виробництві; параметри поточкових ліній; фонд оплати праці різних категорій працівників.

Інтелектуальна власність.

Знати основні поняття та визначення щодо інтелектуальної власності; основні джерела патентного права; порядок отримання, використання патентного права, основні види його порушення та захисту; умови патентоспроможності винаходу; методику визначення патентоспроможності винаходу (корисної моделі) та промислового зразка; методику визначення відповідності знака для товарів і послуг умовам надання правової охорони; методику визначення ситуації щодо використання прав на об'єкти промислової власності.

Уміти оперувати поняттями і категоріями права на результати інтелектуальної діяльності та засоби індивідуалізації; аналізувати, тлумачити і правильно застосовувати норми, що регулюють правовідносини у сфері охоронюваних результатів інтелектуальної діяльності і засобів індивідуалізації; аналізувати юридичні факти, що вимагають захисту прав на результати інтелектуальної діяльності і засобів індивідуалізації; застосовувати правові акти та документи у сфері захисту результатів інтелектуальної діяльності. Проводити патентний пошук; систематизувати та аналізувати патентну та іншу науково-технічну інформацію, відібрану в процесі патентного пошуку; оформляти звіт про патентні дослідження; скласти та подати заявку на видачу патенту України на винахід.

Цивільна оборона.

Знати характеристику осередків ураження, які виникають у надзвичайних умовах мирного і воєнного часу; способи і засоби захисту населення від вражаючих факторів, аварій, катастроф, наслідків стихійних лих і сучасної зброї масового ураження; порядок дій сил ЦЗ і населення в умовах надзвичайних обставин; призначення і порядок роботи з приладами радіаційної і хімічної розвідки, дозиметричного контролю; методику прогнозування можливої радіаційної, хімічної (бактеріологічної) біологічної обстановки; основи організації і здійснення заходів щодо надання допомоги потерпілим і життєзабезпечення населення при виникненні НС.

Уміти практично здійснювати заходи захисту населення від наслідків аварій, катастроф, наслідків стихійних лих і сучасної зброї масового ураження; оцінювати радіаційну, хімічну біологічну обстановку; керувати підготовкою формувань і проведенням рятувальних та інших невідкладних робіт на об'єкті господарчої діяльності відповідно до майбутньої спеціальності.

Фізичний практикум.

Знати застосовувати теоретичний матеріал для аналізу конкретних фізичних явищ, експериментально вивчати основні закономірності, оцінювати порядки досліджуваних величин, принципи роботи та використання вимірювальних приладів, основні правила обробки фізичної інформації, елементи техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень.

Уміти використовувати вимірювальні прилади та обладнання, засоби інформаційних технологій для виконання певного кола дослідів, визначати точність отриманих результатів, систематизувати результати спостережень явищ природи і техніки, робити узагальнення й оцінювати їхню вірогідність, планувати й проводити експерименти.

Системний аналіз та прийняття рішень в медицині.

Знати сутність і принципи системного підходу з теорії прийняття управлінських рішень; організаційну, економічну, технічну та операційну здійсненність проекту; особливості системного аналізу при рішенні біомедичних задач, ідентифікацію інформаційного стану об'єкта; діагностику ситуації прийняття рішень та визначення цілей, планування дій, формування варіантів рішень; біологічний організм з позиції системного аналізу; принципи системного аналізу взаємодії структур організму; застосування різних математичних моделей прийняття управлінських рішень та моделей рішень в медицині.

Уміти застосувати системні принципи в біомедичних дослідженнях; обирати найкращий спосіб дії, коли вибір альтернативи потребує аналізу складної ситуації; застосовувати основні результати та принципи теорії прийняття рішень в галузі біомедичної інженерії. обґрунтувати застосування різних математичних моделей прийняття та методів прийняття управлінських рішень; виконати оцінку ефективності управлінських рішень; розробляти вимоги та специфікації компонентів інформаційних систем і об'єктів професійної діяльності.

ЦИКЛ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ.

Професійно-орієнтовані дисципліни. Нормативна частина.

Вступ у спеціальність.

Знати історію розвитку, призначення та область завдань яку обслуговує спеціальність “біомедична інженерія” сучасні досягнення, проблеми і напрями розвитку біоінженерії; функції та сфери діяльності інженера біомедичного профілю; загальні принципи побудови та застосування технічних засобів біомедичного призначення, особливості організації навчання та структуру навчального плану по обраній спеціальності.

Уміти орієнтуватися у сучасних напрямках розвитку лікувально-діагностичного засобів на основі новітніх фізичних методів; розробляти нове та належно обслуговувати вже наявне високотехнологічне медичне обладнання у медичних закладах; розуміти профіль своєї підготовки у вузі, напрямок професії та перспективи працевлаштування.

Інформатика, в т.ч.: Архітектура комп'ютерів.

Знати основні принципи функціонування комп'ютерів та їх складових елементів, архітектурну та структурну організацію комп'ютерів, процесорів, типи та будову пам'яті, різновидності периферійних пристроїв, роботу операційної системи.

Уміти розробляти архітектуру процесорів на базі арифметико-логічних пристроїв з розподіленою та зосередженою логікою і пристроїв управління з жорсткою та гнучкою логікою; розробляти системи команд, формати і структуру даних, способи адресації команд та операндів, мікроалгоритми і мікропрограми реалізації різних операцій; проводити розрахунки для порівняння ефективності варіантів побудови пристроїв комп'ютера; розподіляти адресний простір комп'ютера, розробляти архітектуру віртуальної багаторівневої пам'яті комп'ютера і алгоритми обміну інформацією між пристроями пам'яті різного рівня, розробляти програмні та апаратні засоби обміну даними.

Інформатика.

Знати основи алгоритмізації обчислювальних процесів; моделі, алгоритми, програми;. спільні ознаки, засоби опису та типові структури алгоритмів; етапи підготовки та розв'язку задач на ПК;. технології програмування. Методи проектування програмного забезпечення; стиль, показники якості програм, документування програм; мови програмування; основи програмування мовами С, С++; створення прикладних програм з використанням об'єктно-орієнтованого підходу.

Уміти кваліфіковано працювати на персональному комп'ютері із системними й прикладними програмними засобами; виконати вибір програмного забезпечення для рішення конкретних прикладних задач; розробляти програми мовами С, С++.

Інженерна і комп'ютерна графіка.

Знати архітектуру сучасних графічних систем; принципи формування та збереження цифрових зображень; алгоритми візуалізації: растеризації, відтинання, зафарбовування, видалення невидимих ліній і поверхонь; технології дво- і тривимірного графічного моделювання в редакторах Adobe Photo, CorelDraw, AutoCAD, 3D Studio MAX; можливості бібліотеки OpenGL.

Уміти застосовувати дво- і тривимірне моделювання в редакторах; Adobe PhotoShop , CorelDraw, AutoCAD, 3D Studio MAX використовувати сучасні програмні засоби для розв'язання інженерних задач геометричного моделювання.

Електроніка:

Основи теорії кіл та сигналів.

Знати основних теорем і методів аналізу електронних кіл; основних способів математичного моделювання електричних процесів в електронних колах; способів математичного опису нелінійних компонентів електронних кіл в квазілінійному режимі; способів математичного опису сигналів.

Уміти розрахувати струми і напруги за схемою кола, знайшовши відповідний метод аналізу і відповідні моделі компонентів; визначити характеристики і параметри, зробити висновки про властивості кіл.

Елементна база сучасної електроніки.

Знати загальні відомості, принципи будови, основні характеристики пасивних активних та реактивних компоненти електронних схем, принципи функціонування основних дискретних і інтегральних аналогових і цифрових приладів та їх базових елементів; основні фізичні закономірності та процеси, що виникають у сучасних електронних дискретних приладах; номенклатуру сучасної напівпровідникової елементної бази; параметри та характеристики, основні типи напівпровідникової елементної бази,

маркування, позначення; особливості застосування та обмеження при експлуатації приладів; вплив режимів роботи та зовнішніх факторів на стабільність параметрів; можливі практичні застосування електронних приладів як елементної бази у дискретній та інтегральній техніці.

Вміти ефективно використовувати сучасну дискретну і інтегральну елементну базу електроніки у схемах різного призначення; застосовувати методи аналізу та виконувати розрахунки, пов'язані з вибором параметрів і режимів роботи пристроїв; пояснювати процеси в напівпровідникових приладах, що впливають на особливості їх схемотехнічного застосування; правильно вибирати напівпровідниковий прилад, виходячи з умов експлуатації; практично використовувати характеристики електронних приладів, у тому числі вибирати режими їх роботи на постійному струмі, визначати статичні параметри графоаналітичним методом, провадити побудову навантажувальних прямих та динамічних характеристик.

Аналогова схемотехніка.

Знати особливості лінійних та нелінійних аналогових пристроїв, їхні різновиди та принципи дії, зокрема основні характеристики і режими роботи підсилювачів напруги, постійного струму і потужності на біполярних і польових транзисторах та мікросхемах, моделі для різних відрізків часу та частот; розподілу частотних та часових спотворень між каскадами; конкретні схем лінійних, нелінійних перетворювачів та генераторів гармонічних коливань на біполярних, польових транзисторах, та інтегральних операційних підсилювачах.

Уміти класифікувати структурні схеми, розраховувати статичні і динамічні режими роботи лінійних і нелінійних перетворювачів сигналів; складати модель складових великої схеми і макромодель в цілому; проектувати підсилювачі, генератори гармонічних коливань, операційні пристрої нульового, першого, другого і високого порядку, нелінійні перетворювачі сигналів на базі сучасних методів аналізу та розрахунку електронних схем, застосовувати основні методи аналізу (розрахунку) пристроїв аналогової схемотехніки при розробці, оптимальному використанні і обслуговуванні в практиці біомедичної інженерії.

Цифрова схемотехніка.

Знати коди і системи обчислень, перетворення чисел, алфавітно-цифрові і числові коди; алгебру логіки – логічних функцій; Булеву алгебру, карти Карно, метод Квайна-Мак-Класки; логічні схеми, базиси логічних функцій; елементну базу цифрової схемотехніки: електронні ключі, інтегральні схеми різних технологій виготовлення, комбінаційні функціональні вузли; перетворювачі кодів, шифратори, дешифратори, мультиплексори, демультіплексори, алгебраїчні суматори, перемножувачі,

цифрові компаратори, арифметико-логічні пристрої, послідовні функціональні вузи: тригери, регістри, лічильники, пристрої оперативної, постійної пам'яті; функціональні компоненти цифрових схем: перетворювачі рівнів, генератори прямокутних імпульсів та імпульсів спеціальної форми, особливості проектування цифрових схем та основи застосування цифрових інтегральних схем, цифро-аналогові та аналогово-цифрові перетворювачі, цифрові фільтри.

Уміти синтезувати логічні схеми, мінімізувати логічні функції; реалізовувати комбінаційні логічні схеми у базисах логічних елементів різної технології, будувати логічні схеми мультиплексорів, демультиплексорів, суматорів, компараторів, синтезувати довільні тригерні структури на основі універсальних D- JK-тригерів, проектувати генератори імпульсів необхідної форми, цифро-аналогові і аналого-цифрові перетворювачі, застосовувати основні методи аналізу (розрахунку) пристроїв цифрової схемотехніки при розробці, оптимальному використанні і обслуговуванні в практиці біомедичної інженерії.

Мікропроцесорна техніка з курсовим проектом.

Знати основні принципів побудови і функціонування мікропроцесорних систем; основи проектування процесорних модулів, систем пам'яті, інтерфейсів вводу-виводу інформації, систем переривань, таймерів; систем команд мікропроцесорів; особливості однокристальних мікро-ЕОМ: структуру, систему синхронізації, переривань, вводу-виводу; способи розширення пам'яті та інтерфейсу вводу-виводу; основні засоби розробки та відладки програмного забезпечення; особливості роботи мікропроцесорних систем управління промисловими приладами, як інформативними так і силовими.

Уміти вибирати мікропроцесорні серії для заданих задач управління; визначати розподіл задач управління між апаратною частиною та програмним забезпеченням; робити вибір структурної схеми мікропроцесорної системи; розробляти принципову схему основних блоків мікропроцесорної системи; розробляти програми на асемблері; відладжувати програми з допомогою програмних чи апаратних засобів.

Біомедичні прилади, апарати і комплекси, у т.ч.

Лабораторна аналітична техніка.

Знати шляхи моніторингу функціонального стану організму людини, тварин і екосистем за допомогою сучасних апаратно-програмних засобів; класифікацію, фізико-хімічні принципи побудови та електричні режими функціонування електронних схем лабораторно-аналітичної техніки, призначеної для проведення клінічних та біохімічних аналізів; технічні і

функціональні характеристики систем, методів і процедур, що використовуються в медицині та біології (при профілактиці, діагностиці, лікуванні та реабілітації); вимоги до конструювання та технічного супроводження біомедичних приладів та систем з дотриманням заходів безпеки пацієнтів і персоналу; порядок та правила до монтажу і випробування апаратури для медицини, косметології, ветеринарії, екології, харчової промисловості; методики пробопідготування; методики проведення клінічних та поширених біохімічних аналізів та шляхи їхньої технічної реалізації; інженерно-технічну експертизу в процесі планування, розробки, оцінки та специфікації медичного обладнання; застосовувати базові знання з комп'ютерного програмного забезпечення для автоматизованого проектування медичних приладів та систем; правове регулювання патентного права та фундаментальними знаннями щодо правової охорони об'єктів інтелектуальної власності та їх захисту в Україні та світі; перспективи розвитку лабораторно-аналітичної техніки.

Уміти обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для реалізації та контролю за клініко-інструментальним та клініко-лабораторним обладнанням і комплексами; планувати технічне обслуговування медичного обладнання; планувати, проектувати, розробляти, встановлювати, експлуатувати і підтримувати лабораторно-аналітичні прилади, обладнання та комплекси; ідентифікувати, формулювати і вирішувати інженерні проблеми, пов'язані з взаємодією між живими і неживими; проводити експлуатацію найбільш поширених лабораторно-аналітичних приладів; застосовувати пакети інженерного програмного забезпечення для проведення досліджень, аналізу, обробки та представлення результатів; розробляти і впроваджувати оперативні заходи цивільного захисту.

Діагностична техніка.

Знати шляхи моніторингу функціонального стану організму людини, тварин і екосистем за допомогою сучасних апаратно-програмних засобів; принципи побудови різноманітних сучасних діагностичних біомедичних приладів і апаратів, а також основних методів їх проектування та удосконалення; сучасні діагностичні прилади такі як комп'ютерні томографи, магніт-резонансні томографи, електрокардіографи, фонокардіографи, векторелектрокардіографи, кардіомонітори, дефібрилятори, вимірювачі артеріального тиску, частоти серцевих скорочень, реографи, електроенцефалографи, прилади для вимірювання швидкості кровотоку на основі ефекту Доплера, оксиметри, ультразвукові прилади; інженерно-технічну експертизу в процесі планування, розробки, оцінки та специфікації медичного діагностичного обладнання; обробку та аналіз біологічних сигналів і медичних зображень із застосуванням комп'ютерних технологій;

застосовувати базові знання з комп'ютерного програмного забезпечення для автоматизованого проектування медичних приладів та систем; правове регулювання патентного права та фундаментальними знаннями щодо правової охорони об'єктів інтелектуальної власності та їх захисту в Україні та світі; перспективи розвитку діагностичної техніки.

Уміти працювати в режимі технічного проектування в умовах конструкторського бюро (відділу, спеціалізованої лабораторії), використовуючи технічні умови, структурну і електричну схеми пристрою; визначати параметри та характеристики пристрою; проводити ескізні розрахунки електричної функціональної схеми та її моделювання комп'ютерними засобами; обґрунтовувати принцип дії окремих блоків діагностичної апаратури; експлуатувати і підтримувати в робочому стані прилади, обладнання та комплекси для діагностики; планувати технічне обслуговування медичного діагностичного обладнання; розробляти та супроводжувати спеціалізовані бази даних (електронна картка пацієнта, системи ідентифікації з біометричної інформацією) із захистом особистої інформації.

Лікувальна техніка.

Знати фізичні принципи роботи та електричні режими функціонування електронних схем лікувальних та терапевтичних приладів таких як апарати для електротерапії, електрохірургії, апарати для НВЧ терапії, апарати для електроанальгезії й анестезії, ультразвукові терапевтичні прилади, дефібрилятори, фототерапевтичні та терапевтичні лазерні прилади тощо; інженерно-технічну експертизу в процесі планування, розробки, оцінки та специфікації медичного лікувального обладнання; обробку та аналіз біологічних сигналів і медичних зображень із застосуванням комп'ютерних технологій; шляхи удосконалення та проектування вузлів приладів, апаратів і комплексів біомедичної інженерії, які застосуються для здійснення терапевтичного впливу при лікуванні; правове регулювання патентного права та фундаментальними знаннями щодо правової охорони об'єктів інтелектуальної власності та їх захисту в Україні та світі; перспективи розвитку лікувальної техніки.

Уміти працювати в галузі удосконалення та проектування вузлів приладів, апаратів і комплексів біомедичної інженерії, які застосуються для здійснення терапевтичного впливу при лікуванні; використовувати технічне завдання, структурну і електричну схеми виробу: визначати параметри та характеристики; проводити ескізні розрахунки електричної функціональної схеми та її моделювання комп'ютерними засобами; обґрунтовувати принцип дії окремих блоків терапевтичної апаратури і комплексів; формулювати і вирішувати інженерні проблеми, пов'язані з взаємодією між живими і неживими; планувати технічне обслуговування медичного обладнання;

планувати, проектувати, розробляти, встановлювати, експлуатувати і підтримувати лікувальні прилади, обладнання та комплекси; ідентифікувати, проводити експлуатацію найбільш поширених терапевтично-лікувальних пристроїв; застосовувати пакети інженерного програмного забезпечення для проведення досліджень, аналізу, обробки та представлення результатів; розробляти і впроваджувати оперативні заходи цивільного захисту.

Основи метрології і стандартизації.

Знати принципи вимірювань та метрологічне забезпечення розробки, виробництва та експлуатації пристроїв; засоби вимірювальної техніки, нормативну та законодавчу базу метрологічного забезпечення.

Уміти вибрати методи та засоби вимірювань, виходячи із завдань інструментального аналізу; правильно виконувати вимірювання; оцінити результати та похибки вимірювань.

Методи медикобіологічних досліджень.

Знати особливості біологічних систем, як об'єктів дослідження; головні групи методів дослідження, орієнтованих на вивчення різних проявів життєдіяльності організму; методи дослідження стану окремих органів та систем організму людини; методи вивчення біопроб, що беруться з організму людини; методичні прийоми проведення досліджень та схеми експериментів; розрахункові співвідношення для оцінки медико-біологічних показників; методи оцінки похибок, особливо методичного характеру.

Уміти вибрати метод дослідження в залежності від медичної задачі, наявної техніки та рівня підготовки персоналу; вибрати методи при проведенні комплексних та функціональних дослідженнях; розраховувати медико-біологічні показники; вибрати оптимальний метод та тип первинних перетворювачів, оцінювати похибки методичного характеру та похибки пов'язані з особливостями проведення вимірювань в медицині.

Взаємодія фізичних полів з біоб'єктами.

Знати природу та характеристики фізичних полів (електричного, магнітного, електромагнітного, радіаційного, гравітаційного, теплового, акустичного та інших) і поширення їх в середовищі. Аналізувати природу виникнення фізичних полів і вплив на біологічні об'єкти. Дія електричного поля на біологічні тканини. Фізичні та біофізичні процеси, що відбуваються у біологічних тканинах під дією постійного і змінного електричного поля (струми провідності та зміщення, теплові ефекти). Лікувальні фактори та їх використання у медичних методиках (гальванізація, електрофорез, франклінізація, електростимуляція, електроімпульсація, діатермія, електротомія, електрокоагуляція тощо). Дія постійного і змінного

магнітного поля на біооб'єкти. Первинні механізми, індукційні струми, теплові ефекти. Лікувальні фактори та їх використання у медичних методиках (магнітотерапія, індуктотермія, тощо). Дія електромагнітного поля на біооб'єкти. Первинні механізми, струми і теплові ефекти, специфічна дія. Лікувальні фактори та їх використання у медичних методиках (УВЧ-терапія, НВЧ-терапія, мікрохвильова резонансна терапія тощо). Викладено механізми взаємодії іонізуючих і неіонізуючих випромінювань оптичного діапазону з біооб'єктами стосовно завдань медичної діагностики, терапії і хірургії. Знати допустимі норми ДСТУ щодо впливу на людину основних характеристик фізичних полів (напруженість електричного поля, індукція магнітного поля, потужність електромагнітного поля, радіаційна доза, потужність акустичного поля та інших).

Уміти визначати і вимірювати основні характеристики фізичних полів природнього і техногенного походження. Видавати обґрунтовані рекомендації щодо розміщення джерел фізичних полів різного походження в лікувально-профілактичних установах, на виробництві та в жилих приміщеннях. Враховувати особливості взаємодії полів з біооб'єктами під час проектування і розробки сучасної діагностичної медичної апаратури, терапевтично-лікувальної апаратури.

Прикладна механіка і біомеханіка.

Знати основні поняття: матеріальної точки, абсолютно твердого тіла, часу, простору, маси, сили та їх зміст в теоретичній механіці; - основні закони, принципи теоретичної механіки, теорії механізмів і машин, опору матеріалів, деталей машин; - способи складання рівнянь рівноваги фізичних об'єктів і механічних систем; - кінематичні залежності для визначення кінематичних параметрів механічних систем; - методи проведення статичних і динамічних розрахунків; - принципи утворення і проектування кінематичних схем механізмів; - умови міцності, жорсткості і стійкості; - методи інженерних розрахунків деталей машин та елементів конструкцій на міцність, жорсткість і стійкість в умовах дії статичних та динамічних навантажень з врахуванням змінних температур; - основи експериментальних методів визначення показників механічних властивостей конструкційних матеріалів та досліджень напружень і деформацій; - основи проектування і розрахунку деталей машин і їх з'єднань; - комплексне застосування теорії для вирішення конкретних практичних задач; теорію біомеханіки; топографію тіла людини; біомеханічну систему тіла людини; кінематичні характеристики рухів людини; динамічні характеристики рухів людини; біодинаміку рушійних якостей.

Уміти використовувати механізми, машини, споруди та обладнання за принципами економії енергії, праці, матеріалів і часу; використовувати закони механіки відповідно до ситуацій виробничих вимог; складати розрахункові схеми і зводити складну систему сил до найпростішого виду; вибирати оптимальні варіанти розрахункових схем елементів конструкцій; вести розрахунки деталей машин, конструкцій на міцність, жорсткість і стійкість в умовах статичних і динамічних навантажень з врахуванням зміни температур і тривалості експлуатації; раціонально вибирати метод вирішення конкретних технічних задач; використовувати одержані знання під час вивчення спеціальних дисциплін, які пов'язані з механізацією та експлуатацією обладнання для обробки біоматеріалів.

Первинні перетворювачі і сенсори біомедичних величин.

Знати первинні пристрої знімання медико-біологічної інформації; фізичні принципи роботи даних пристроїв, їх конструкції і особливості застосування в біомедичній практиці та дослідженнях.

Уміти обрати відповідно до методів та завдань проведення медико-біологічних досліджень оптимальні за метрологічним характеристикам, конструктивними та електричними параметрами типи та варіанти конструкцій вимірювальних перетворювачів; здійснювати розрахунки основних метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів та елементів електронних узгоджувальних схем; здійснювати розрахунки, розробки та проектування вимірювальних ланок біомедичних систем.

Нанотехнології і наноматеріали в біології і медицині.

Знати історію виникнення і предмет нанотехнології; наномасштаб в біології, типи наноматеріалів та їх унікальні властивості; ефекти, пов'язані з розмірами та розмірністю об'єктів нанонауки та нанотехнології; основи скануючої електронної та атомно-силової мікроскопії, основні методи класичної біотехнології, кліткову та генну інженерію, молекулярне клонування, генетично модифіковані організми, основні підходи до збирання наноструктур, синтез наноматеріалів в живих організмах, основні хімічні і біологічні методи синтезу наноструктур: ковалентний синтез, ковалентна полімеризація, самоорганізація, самозбірка, магнітні, електричні та оптичні властивості наноструктурованих матеріалів; методи їх отримання та дослідження; функціональні біонаномеханізми: носії електронів, біомолекулярні двигуни, молекулярне сито, рецептори і нанобіосенсори, перспектива розробки біонанокомп'ютерів, прикладні аспекти використання наноматеріалів в біології, медицині та біотехнології: нановаги, нанотермометр, нанопінцет; наві підходи до внесення ліків в організм, наномедицина: імплантанти і діагностика; інтегровані

наноелектромеханічні пристрої, фулерени, нанотрубки тощо; екологічні аспекти токсичності наноматеріалів.

Уміти використовувати основні поняття курсу; вільно володіти знаннями в галузі нано- та біофотоніки; використовувати отримані знання для вирішення науково-дослідних і практичних завдань, пов'язаних з розробкою нанотехнологічних методів, апаратів та систем.

Імпульсна електроніка.

Знати проходження імпульсів через RC- диференціювальні, розділові та інтегрувальні ланки, фіксатори рівня, схеми і принцип роботи формувачів імпульсів низької напруги на транзисторах (обмежувачі на діодах, транзисторний підсилювач обмежувач), транзисторних мультівібраторів та одновібраторів, автоколивальних генераторів імпульсів низької напруги на транзисторах, блокінг-генератор, система імпульсно-фазового керування (горизонтальне і вертикальне) роботою тиристорів, елементну базу високовольтної сильнотримої наносекундної електроніки (резистори, конденсатори, кабельні трансформатори), комутатори високовольтної сильнотримої електроніки – газові розрядники, водневі тиратрони і таситрони, генератори високовольтних наносекундних імпульсів на основі розподілених формуючих ліній та генератора Аркадьєва-Маркса, схеми живлення імпульсних лазерів, ламп та маломірних прискорювачів елементарних часток, що використовуються в медицині.

Уміти проводити діагностику та вимірювання вихідних характеристик пристроїв низьковольтної і високовольтної електроніки, забезпечувати їх оптимальний режим використання в пристроях біомедицинської інженерії, проводити обслуговування і регламентні ремонтні роботи імпульсних пристроїв біомедицинської інженерії.

Квантова електроніка і світлотехніка.

Знати фізичні основи світлотехніки, квантової електроніки і лазерної техніки, принципи роботи, будову і типові вихідні характеристики газових лазерів на атомах іонах та молекулах і потужних газорозрядних ламп на парі ртуті, ксеноні та водні, твердотільних, напівпровідникових лазерів і лазерів на F – центрах; основні застосування лазерів в науці і техніці, безпечні методи роботи з лазерами та потужними УФ-ВУФ-джерелами спонтанного випромінювання.

Уміти експериментально вимірювати вихідні характеристики лазерів та ламп, вибирати найбільш оптимальні і ефективні режими роботи лазерів і ламп.

Дисципліни за вибором студента. БЛОК А.

Матеріалознавство та біосумісність матеріалів.

Знати будову, структуру та фізико-хімічні властивості матеріалів у взаємозв'язку зі складом і технологією одержання, їх класифікацію; основні вимоги стандартів на матеріали та їх асортимент; типи відторгнення і невиконання функцій імплантатів, пристроїв і протезів у різних випадках клінічного застосування, а також причин відторгнення; фізіологічні принципи, пов'язані із заміною різних частин організму штучними органами, трансплантатами або конструктами; можливості і шляхи реалізації теоретичних знань на практиці; методи і технічні засоби (у тому числі засоби обчислювальної техніки), що можуть бути використані при вирішенні професійно-орієнтованих і науково-дослідних задач.

Уміти оцінювати сучасний стан матеріалознавства та біосумісних матеріалів, проводити аналіз їх властивостей; проводити експериментальні дослідження властивостей матеріалів і аналізувати отримані данні; погоджувати наукові проблеми з технічними досягненнями в галузі матеріалознавства і технічних досягнень під час одержання матеріалів з необхідними властивостями.

Конструкційні біоматеріали.

Знати класифікувати матеріали за властивостями; номенклатуру матеріалів з особливими властивостями; знати фізико-механічні властивості матеріалів для конструктивних особливостей обладнання; мати уявлення про тенденції розвитку ливарних сплавів і виробів, що одержуються методами порошкової металургії та поліграфічного обладнання 3D друку; пояснювати принцип одержання композиційних матеріалів і їх будову.

Уміти вибирати відповідні матеріали для конкретного виду експлуатації; прогнозувати рівень розвитку матеріалів; пояснювати принцип роботи композиційних матеріалів і їх будову; аналізувати інноваційне обладнання з метою виявлення переваг і недоліків; обговорювати проблеми розвитку нових матеріалів; аналізувати діаграми стану для сталей і сплавів; виявляти недоліки і переваги технології виробництва композиційних матеріалів для медицини і техніки.

Проектування біомедичних електронних пристроїв.

Знати найважливіші принципи та методи, які реалізовані в стандартних програмах аналізу електронних схем, а також обмеження та

принципові можливості таких пакетів; мати навички та вміння правильно інтерпретувати результати аналізу, отримані при моделюванні на ПЕОМ; мати навички та вміння правильно інтерпретувати результати аналізу, отримані при моделюванні на ПЕОМ; знати методики цілеспрямованого пошуку найкращого варіанту проекту та вміння ними користуватися.

Уміння виконувати розрахунки електричних параметрів електронних ланцюгів електронно-обчислювальних засобів на ПЕОМ з використанням стандартного пакету програм PSPICE або інших аналогічних за своїми функціональними можливостями пакетів; вибирати за функціональним складом та можливостями необхідний пакет програм для проектування електронного ланцюга, відповідно до характеру задач, які мають бути розв'язані; проводити критичний аналіз можливих варіантів машинного аналізу електронних ланцюгів та обґрунтовано вибирати оптимальний варіант, відповідно до мети проектування; вносити корективи в проект та початкові дані для отримання необхідних параметрів системи, що проектується; здійснювати контроль за процесом проектування та вносити корективи до проекту в інтерактивному режимі; оцінювати складність та специфічні особливості задачі розрахунку електронного ланцюга та обґрунтовано вибирати відповідні математичні методи та програми машинного проектування; володіти навичками формування моделей станів електронних ланцюгів для виконання схемотехнічних розрахунків; користуватися стандартними бібліотеками активних та пасивних компонентів електронних ланцюгів, що входять до стандартних пакетів програм машинного аналізу.

Основи конструювання біомедичної апаратури.

Знати сучасні принципи побудови та технології біомедичної апаратури і систем, основні дестабілізуючі фактори які необхідно враховувати при конструюванні біомедичної апаратури; основні заходи захисту від дестабілізуючого впливу; основні види конструкторської та схемної документації; умови експлуатації апаратури; основні заходи захисту від кліматичних впливів; основні заходи захисту від радіаційних факторів впливу; основні заходи захисту від механічних впливів та впливу завад; основні показники якості конструкції біомедичної апаратури.

Уміння оцінювати сучасний стан біомедичної електронної апаратури різних видів та типів, засобів виміральної техніки; самостійно складати структурні схеми електронних пристроїв за їхніми функціональними та технічними показниками; орієнтуватися у галузі законодавчо-нормативної документації, дотримуватися її при розробці апаратури та виконанні біомедичних досліджень; самостійно розробляти модульні схеми електронної апаратури, розробляти методи захисту апаратури від впливу зовнішнього середовища; самостійно розраховувати кількісні

характеристики надійності та використовувати методи оцінки точності на практиці.

Автоматизація біомедичних досліджень.

Знати методи обробки отриманих експериментальних даних, а також методи представлення цих результатів у вигляді двомірних та тримірних графіків та діаграм, готових до публікації в наукових виданнях, інформаційні та комп'ютерні технології в медицині, методи моделювання процесів ухвалення рішень за даними медичного моніторингу та візуалізації результатів аналізу медичної інформації.

Уміти підключати прилади до керуючої ЕОМ; вміти створювати програми керування фізичним експериментом, використовувати теоретичні знання в практиці застосування інформаційних та комп'ютерних технологій в медицині.

Моделювання роботи біомедичних систем.

Знати сутність методу моделювання і його пізнавальне значення в біологічних дослідженнях; адекватні засоби математичного опису біосистем, комп'ютеризацію математичного моделювання, теоретичну спрямованість моделювання; методологію синтезу математичних моделей біосистем, поняття моделі, способи побудови моделі (фізичні та нефізичні моделі), класифікацію моделей; регресійні моделі (лінійні та нелінійні), багатофакторні впливи та множинна регресія; математичні методи для моделювання динамічних процесів у біосистемах; загальні принципи опису динаміки біологічних процесів, алгебраїчні та диференціальні рівняння (системи рівнянь) як засоби опису часової динаміки; ієрархічну класифікація моделей (за складністю та відображальною здатністю); моделювання динаміки біосистем, функціональні моделі біосистем, елементарні кінетичні рівняння та їх розв'язування; математичні моделі систем нульового, першого та другого порядку; особливості моделювання динаміки структуризованих біосистем; структурно-функціональні моделі; принципи адекватного моделювання складних систем; моделі регуляторних систем зі зворотними зв'язками; елементи аналізу математичних моделей, концепції опису біосистем як об'єкту дослідження.

Уміти адекватно ставити завдання дослідження і оптимізації складних об'єктів на основі методів математичного моделювання; здійснювати формалізацію і алгоритмізацію функціонування досліджуваної системи; вибрати клас моделі і оптимізувати її структуру в залежності від поставленого завдання, властивостей модельованого об'єкта і умов проведення експерименту; вибрати адекватні методи дослідження моделей; розробляти моделі систем з використанням різних підходів до дослідженню систем; здійснювати змістовну інтерпретацію результатів моделювання; застосовувати знання у практичній діяльності; вирішувати

тестові завдання; володіти основами системного підходу до аналізу складних явищ; застосовувати сучасні методи об'єктивного і суб'єктивного математичного моделювання, а також коректно інтерпретування результати дослідження; синтезувати знання в нових ситуаціях, проводити енергетичний аналіз деяких біологічних процесів; здобувати нові знання, використовуючи сучасні інформаційні освітні технології.

Обробка біомедичних сигналів та зображень.

Знати сучасні методи формування біомедичних зображень; основні методи обробки та аналізу біомедичних зображень; математичні моделі сигналів; методи дискретизації та відновлення сигналів; основні методи перетворення сигналів; основні види цифрових фільтрів, методи їх аналізу і синтезу; особливості цифрової фільтрації інформації; адаптивні методи фільтрації сигналів та зображень; методи стиску сигналів, виділення особливостей; методи захисту цифрового контенту; обрати необхідний алгоритм обробки і аналізу діагностичного зображення; працювати з біомедичними зображеннями в форматі DICOM.

Уміти обрати необхідний алгоритм обробки і аналізу діагностичного зображення; працювати з біомедичними зображеннями в форматі DICOM; визначати передатні функції та частотні характеристики лінійних систем; виконувати класичні перетворення сигналів та зображень; оцінювати коректність дискретизації сигналів та зображень; виконувати фільтрацію сигналів та зображень; виконувати просторову та часову апроксимацію зображень і відео; стискати мультимедійні сигнали.

Цифрова обробка сигналів.

Знати математичні моделі сигналів; методи дискретизації та відновлення сигналів; основні методи перетворення сигналів; основні види цифрових фільтрів, методи їх аналізу і синтезу; особливості цифрової фільтрації інформації; адаптивні методи фільтрації сигналів та зображень; методи стиску сигналів, виділення особливостей; методи захисту цифрового контенту; основні методи статистичної обробки даних; спектральний аналіз сигналів.

Уміти визначати передатні функції та частотні характеристики лінійних систем; виконувати класичні перетворення сигналів та зображень; оцінювати коректність дискретизації сигналів та зображень; виконувати фільтрацію сигналів та зображень; виконувати просторову та часову апроксимацію зображень і відео; стискати мультимедійні сигнали.

Інформаційні технології в біології і медицині.

Знати основні поняття обробки інформації засобами інформаційних технологій; загальний склад і структуру персональних комп'ютерів і інформаційних систем; склад, функції і можливості використання інформаційних і телекомунікаційних технологій в медицині; методи і засоби збору, обробки, зберігання, передачі та накопичення інформації; базові системні програмні продукти і пакети прикладних програм в області медицини; основні методи і прийоми забезпечення інформаційної безпеки.

Уміти: впевнено працювати в якості користувача персонального комп'ютера; користуватися основними офісними прикладними програмами для професійної діяльності; створити електронний документ, правильно набрати текст, створити таблицю з обчисленнями за формулами, побудувати діаграму, вставити таблицю, діаграму, формулу, зображення в документ, вивести документ на друк, передати його по електронній пошті; проводити розрахунки за отриманими результатами і статистичну обробку даних; працювати в локальних комп'ютерних мережах та Інтернеті, мати навички користування електронною поштою; користуватися базами даних і пошуковими системами.

Біомедична інформатика та кібернетика.

Знати основні поняття біомедичної інформатики; особливості застосування прикладного програмного забезпечення для обробки біомедичних даних та біомедичної інформації; роль інформації, комунікації та комп'ютерних технологій в біології і медицині основні принципи телемедицини; основні поняття математичної логіки.

Уміти демонструвати навички використання систем управління базами даних (СУБД) при обробці медико-біологічних даних; демонструвати базові вміння використовувати основні біомедичні ресурси Internet; застосувати статистичні методи при обробці результатів медико-біологічних досліджень; демонструвати навички використання статистичних функцій та критеріїв для аналізу медико-біологічних даних; аналізувати принципи побудови і функціонування систем підтримки прийняття рішень в медицині; демонструвати вміння представляти умови медико-біологічних задач у формальному вигляді; - демонструвати вміння використовувати інформаційні ресурси для пошуку біомедичної інформації.

Блок В.

Застосування лазерів і ламп в біомедичній інженерії.

Знати типи лазерів та ламп медико-біологічного призначення та їх основні характеристики, методи вимірювання вихідних характеристик лазерів і ламп медико-біологічного призначення, техніку безпеки при роботі з лазерами і лампами, фізичні характеристики лазерних променів і пучків

УФ випромінювання потужних ламп, характеристики промислових лазерних і лампових систем медико-біологічного призначення, методи керування вихідними характеристиками лазерів і ламп, оптичні властивості біоматеріалів, основні напрямки застосування ламп і лазерів в медицині та біології, основні явища що спостерігаються при дії потужного спонтанного і вимішеного випромінювання на біоматеріали, застосування лазерів в дерматології, стоматології, косметології, хірургії, офтальмології.

Уміти безпечно обслуговувати та оптимально використовувати лазерні і світлотехнічні установки при різних застосуваннях, вміти експериментально вимірювати вихідні характеристики лазерів та ламп, вміти конструювати оптичні системи на основі азотних, ексимерних, аргонних, гелій- неонових лазерів та ртутних, ксенонових, ексимерних і водневих ламп для дії на різні біоматеріали.

Системи променевої терапії.

Знати фізичні принципи та методи променевої діагностики і променевої терапії; класифікацію та характеристики джерел іонізуючих випромінювань; дозиметрію та її роль в передпроменевій підготовці; організацію роботи та оснащення лабораторії променевої терапії; вимоги до конструювання та технічного супроводження джерел променевої терапії з дотриманням заходів безпеки пацієнтів і персоналу; порядок та правила до монтажу і випробування джерел променевої терапії, інженерно-технічну експертизу в процесі планування, розробки, оцінки та специфікації медичного обладнання; тактику та доцільну послідовність застосування променевих досліджень при найбільш поширених захворюваннях; основні принципи променевої терапії пухлин, показання та протипоказання до її проведення; сучасні методи променевого лікування злоякісних новоутворень та непухлинних захворювань; променеві реакції та пошкодження при променевої терапії; стан наукових досліджень, спрямованих на покращення результатів променевого лікування.

Уміти експлуатувати і підтримувати в робочому стані прилади, обладнання та комплекси для променевої терапії; спільно з лікарем, променевим терапевтом, скласти план проведення курсу променевого лікування хворого; на підставі анамнезу і клінічної картини хвороби протипоказання до променевого лікування; провести психологічну підготовку пацієнта до рентгенорадіологічних процедур; при консультації променевого терапевта правильно оцінити клінічний стан хворого і результати променевої терапії; оформити напрямок до променевого терапевта і здійснити підготовку хворого до променевого дослідження або лікування; використовувати методи визначити радіаційного захисту при проведенні променевої діагностики та променевої терапії; надати невідкладну медичну допомогу при радіаційних аваріях.

Плазмова і ультрафіолетова дезінфекція об'єктів БМІ.

Знати основні чинники плазмової та ультрафіолетової дезінфекції різних об'єктів БМІ; методики вимірювання інтенсивності УФ випромінювання в спектральних діапазонах 390-280; 280-190; 190-110 нм та методи розрахунків і вимірювань концентрації озону та радикалів, що утворюються в газорозрядній плазмі повітря, азоту, кисню аргону та їх сумішей; фізику і техніку різних видів тліючого, коронного та бар'єрного розрядів в повітрі, кисні, азоті і аргоні та їх сумішей; будову та принцип дії електричної прокачки газів за допомогою модулів на основі багатоелектродного коронного розряду; фізику і техніку обробки біооб'єктів плазмою тліючого чи коронного розряду та методики контролю стану поверхні до і після обробки; основні застосування «холодної плазми» нерівноважних розрядів в обробці насіннєвого матеріалу, твердих і рідких харчових продуктів, пакувальних матеріалів, консервів та при її дії на об'єкти плазмової медицини (кров, лімфа).

Уміти вибрати найбільш оптимальні елементи системи плазмової і ультрафіолетової дезінфекції об'єктів БМІ; вибрати оптимальні режими обробки поверхні та контролювати її стан; вимірювати вихідні характеристики установок з плазмової та ультрафіолетової дезінфекції об'єктів БМІ.

Електровакуумні прилади.

Знати фізичні основи дії найтипівіших сучасних електровакуумних приладів і систем, принципи їх функціонування, моделі, галузі використання та функціональні можливості; взаємодію потоків вільних електронів і іонів с електричними і магнітними полями в вакуумі; принципи побудови основних електровакуумних приладів та систем; особливості схемотехніки із застосуванням електровакуумних пристроїв; основні фізичні закономірності та процеси, що виникають в сучасних електровакуумних приладах; номенклатуру сучасної бази електровакуумних приладів; параметри та характеристики, основні типи електровакуумної елементної бази, маркування, позначення; особливості застосування та обмеження при експлуатації приладів; вплив режимів роботи та зовнішніх факторів на стабільність параметрів; можливі практичні застосування електровакуумних приладів.

Уміти використовувати теоретичні знання для розгляду фізичних явищ у приладах та пристроях ЕВП, а також використовувати ці прилади для випрямлення, підсилення, генерації, перетворення частоти, осцилографії електричних і неелектричних явищ, автоматичного керування та регулювання, передачі та прийому зображень, різних вимірів і інших процесів; розробляти нові прилади та пристрої різного призначення з урахуваннями технології економічної ефективності, конструкторського рішення, області використання; здійснювати проектування схемотехніки пристроїв, що розробляються, у тому

числі, з урахуванням можливості їх реалізації по інтегральній технології; виконувати розрахунки, пов'язані з вибором параметрів і режимів роботи пристроїв; правильно вибирати електровакуумний прилад, виходячи з умов експлуатації, практично використовувати характеристики електронних приладу, у тому числі вибирати режими його роботи на постійному струмі, визначати статичні параметри графоаналітичним методом, провадити побудову навантажувальних прямих та динамічних характеристик.

Фізичні властивості живих організмів.

Знати загальний принцип будови тканин рослинного та тваринного організмів; особливості будови клітин та клітинних структур різних організмів; фізичні властивості мембран та клітин, механізми міжклітинної взаємодії, фотосинтезу, термодинаміку для біосистем; механічні властивості живих тканин, фізичні питання гемодинаміки, робота і потужність серця, моделі кровообігу, фізику регуляції речовин крові; термічні властивості живих організмів, явища опіку та обмороження; електричні властивості живих тканин, електропровідність біологічних тканин і рідин, імпеданс тканин; теорію діелектричної проникності; діелектричні і магнітні властивості тканин організму; механізми поляризації тканин в різних частотних діапазонах ЕМП; магнітні властивості тканин організму; власні електромагнітні поля біологічних об'єктів, біопотенціали тканин і органів, фізичні основи електрокардіографії, енцефалографії; оптичні властивості тканин організму (відбивання, поглинання і розсіяння), біофізичні основи зорової рецепції. світлочутливість і спектральна чутливість очі, фізика зору; фізика слуху, класифікація звукових хвиль (тони, шуми, звукові удари); механізми передачі інформації.

Уміти використовувати отримані знання на практиці при розв'язанні завдань теоретичного та прикладного характеру; вимірювати механічні характеристики живих організмів; вимірювати термічні характеристики живих організмів і тканин та визначати діапазон температур їх функціонування; вимірювати деякі електричні характеристики живих організмів та тканин (біопотенціали, електрокардіограми, енцефалограми); аналізувати механізми та прогнозувати можливі наслідки впливу довкілля на процеси, які відбуваються у живих організмах; проводити елементарні досліді та вести спостереження за деякими проявами властивостей живих об'єктів, вести протоколи досліджень. користуватися науково-популярною й науковою літературою, складати повідомлення, робити узагальнення, брати участь у дискусіях.

Нелінійна термодинаміка, синергетика.

Знати про співвідношення термодинамічних сил і термодинамічних потоків; стаціонарні стан в нерівноважних умовах; основні закони, отримані

в рамках лінійної термодинаміки необоротних процесів (теорема Кюрі, співвідношення взаємності Онзагера, теорема Пригожина); принцип локальної термодинамічної рівноваги і його обґрунтування; загальні властивості продукування ентропії; надлишкове продукування ентропії; втрата стійкості, біфуркації і порушення симетрії, критерії еволюції і стійкості відкритих нерівноважних термодинамічних систем; умови виникнення та існування дисипативних структур; предмет, завдання і методи синергетики, її фундаментальні розділи, необхідні для загального розуміння синергетичної парадигми; поняття самоорганізації і детермінованого хаосу, в тому числі в додатку до живих систем всіх рівнів організації; методологію дослідження систем, що самоорганізуються, включаючи поняття дивних атракторів в фазовому просторі, катастрофи і послідовність Фейгенбаума; принципи моделювання динаміки біосистем; основні поняття фрактальної геометрії; зв'язок фрактальної геометрії з процесами самоорганізації; використання фрактальної геометрії в описі будови і динаміки живих систем.

Уміти аналізувати нерівноважні термодинамічні системи з точки зору співвідношення термодинамічних сил і потоків; визначати потоки і сили, існуючі в нерівноважних системах, поділяти їх на скалярні, векторні і тензорні; застосовувати критерій Пригожина, встановлювати зв'язки між потоками і силами; аналізувати з точки зору співвідношення термодинамічних сил і потоків такі фізичні явища, як термо- і баро - дифузія, ефект Дюфура, термоелектричні явища, електрокінетичні явища; наводити приклади дисипативних структур з різних областей науки і техніки; застосовувати знання з синергетики для більш глибокого, комплексного розгляду загально біологічних і спеціальних питань і завдань, що стосуються багатокomпонентних систем, які розвиваються; бачити за індивідуальними закономірностями окремих дисциплін загальні концептуальні явища розвитку відкритих, динамічних, еволюціонуючих систем.

Штучні органи та системи людини.

Знати фізіологічні та біотехнічні основи і методологічні аспекти побудови штучних органів та систем заміщення органів людини, що повністю або частково втратили свою функцію; принципи побудови різноманітних сучасних штучних органів та систем, а також основних методів їх проектування та удосконалення; сучасні штучні органи та системи такі як «Апарат штучного кровообігу», «Штучна легеня», «Штучне серце», «Штучна нирка», кардіостимулятор, штучні протези, штучні судини, штучні суглоби, штучні кістки тощо; інженерно-технічну експертизу в процесі планування, розробки, оцінки та специфікації штучних органів та систем; застосовувати базові знання з комп'ютерного програмного забезпечення для

автоматизованого проектування штучних органів та систем; правове регулювання патентного права та фундаментальними знаннями щодо правової охорони об'єктів інтелектуальної власності та їх захисту в Україні та світі; перспективи розвитку діагностичної техніки.

Уміти працювати в режимі технічного проектування та розробки штучних органів та систем заміщення органів людини, які втратили свою функцію повністю або частково; організувати та виконувати роботи з технологічної підготовки виробництва штучних органів та систем; встановлювати, експлуатувати та підтримувати в робочому стані системи заміщення органів людини, які втратили свою функцію повністю або частково; планувати технічне обслуговування штучних органів та систем.

Основи теорії біотехнічних систем.

Знати основні принципи теорії систем, які використовуються для синтезу біотехнічних систем (БТС); теоретичні основи синтезу медичних та ергатичних БТС; класифікацію і структуру БТС і технологій різного типу; основні функціональні характеристики БТС; етапи в формуванні та дослідженні БТС; особливості живого організму, які проявляються при розгляді його як ланки БТС; методи ідентифікації біологічних та технічних ланок; особливості проектування діагностичних та терапевтичних медичних БТС; функціональні характеристики БТС; узагальнену побудову структури БТС, канали взаємодії технічних і біологічних елементів; БТС терапевтичного типу: медичні діагностичні БТС; особливості проектування БТС різного призначення; основні проблеми і напрямки розвитку фундаментальних і прикладних досліджень в біомедичній інженерії.

Уміти застосовувати принципи системного підходу для аналізу і синтезу БТС і технологій; розробляти та проводити функціональну і структурну ідентифікацію біологічних і технічних ланок БТС різного типу з врахуванням вимог до технічних і біологічних елементів БТС, що забезпечують їх оптимальний режим функціонування; розробляти структуру медичних діагностичних, дослідницьких і інформаційних комплексів БТС і оптимізувати склад їх елементів; моделювати біологічні і технічні ланки БТС з використанням сучасних мов програмування; моделювати ергатичні БТС; застосовувати методи експертного опитування для визначення інноваційних напрямів розвитку біомедичної та екологічної інженерії; формулювати завдання інженерної реалізації перспективних напрямків розвитку біомедичної та екологічної інженерії.

Основи спектроскопії великих молекул.

Знати закономірностей стереохімічної будови молекул органічних сполук; опис електронної будови молекул та природу зв'язків між атомами в молекулі; номенклатуру та класифікацію фізичних методів досліджень;

теоретичні основи, що лежать в основі різних видів фізичних методів дослідження: основні принципи ЯМР, ІЧ, електронної, ЕПР, мас-спектроскопії та оптичної спектроскопії; особливості роботи приладів, що відносяться до коливальної, електронної спектроскопії, ЯМР, ІЧ, ЕПР, мас – спектрометрії, оптичної спектроскопії; закономірності взаємодії світла з складними молекулами; особливості роботи приладів та обробка результатів експерименту; межі використання окремих видів інструментального аналізу; можливості сучасних методів розрахунку спектральних характеристик молекул та атомно-молекулярних комплексів; обробку досліджуваного матеріалу, виникнення похибок, їх аналіз, врахування різних видів похибок; використання фізичних методів та роботу з ЕОМ для визначення будови молекул.

Уміти сформулювати основні фізико-хімічні закони, на яких ґрунтується спектральний аналіз; готувати до експерименту молекулярні об'єкти дослідження; робити адекватний вибір інструментального методу (методів) аналізу для вирішення поставленого завдання; проводити виміри в межах лабораторного практикуму з фізичних методів аналізу; використовувати існуючі програмні комплекси, які дозволяють розрахувати шукані молекулярні характеристики; аналізувати одержані експериментальні результати, оформлювати у вигляді таблиці, графіків; визначати основні спектральні характеристики і робити на їх підставі висновки про хімічний склад і будову сполук; проводити структурний, якісний та кількісний аналіз молекулярної сполуки за сумою різних методів дослідження.

Фізика і техніка синхротронного випромінювання та застосування його в БМІ.

Знати історію відкриття синхротронного випромінювання (СВ), основні типи лінійних прискорювачів, перехідне випромінювання; основні схеми циклічних прискорювачів, принципи їх роботи; будова і особливості сучасних гігантських прискорювачів; способи виведення пучків заряджених частинок і синхротронного випромінювання з циклічних прискорювачів; будову і основні відмінності між віглерами і ондуляторами, ВЧ-резонатори, принцип автофазування; синхротрон як накопичувач високоенергетичних заряджених частинок; мікротрон як інжектор для синхротрона; будову і принцип дії бетатрону; техніку безпеки при роботі на прискорювачах; застосування СВ в фармацевтиці, білковій кристалографії, для структурного і хімічного аналізів нових матеріалів; застосування СВ в біотехнологіях та для медичної діагностики і терапії.

Уміти вибрати джерела синхротронного випромінювання залежно від параметрів пучка частинок для розв'язання конкретних задач БМІ ; застосувати пучки синхротронного випромінювання для дослідження

конкретних зразків а також діагностики в техніці, медицині і біології; планувати і обґрунтовувати роботи, пов'язані з опроміненням біологічних зразків СВ та використовувати СВ в медичних застосуваннях, визначати час і дози опромінення на робочому елементі під дією СВ мікротрона і бетатрона.

Курсова робота з спеціальності.

Під час виконання курсової роботи студент повинен скласти огляд літератури вибраної теми, провести самостійне дослідження, або виконати самостійну розробку, оформити результати роботи і представити її презентацію. При цьому студент має:

Знати особливості організації наукових досліджень і розробок; пріоритетні напрямки подальшого розвитку біомедичної науки; роль сучасних науково-технічних установ та вищих навчальних закладів в розвитку біомедичної інженерії та наукових досліджень в ній; основні етапи проведення наукових досліджень; особливості проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Уміти вибирати та аналізувати джерела інформації з напрямку досліджень, проводити патентний пошук; обґрунтовувати актуальність проведення досліджень в обраному тематичному напрямку; ставити мету дослідження та завдання, які необхідно виконати для її досягнення; формувати об'єкт та предмет наукового дослідження; обирати методи дослідження; обґрунтовувати практичну та наукову значущість досліджень, що проводяться; знаходити сферу практичного застосування результатам наукових досліджень; складати технічне завдання на виконання науково-дослідної або дослідно-конструкторської роботи в галузі біомедичної інженерії.

Лабораторії спеціалізації.

Знати теоретичний матеріал за темою лабораторної роботи зі спеціалізації; план виконання лабораторних робіт; методика проведення експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків за темою лабораторної роботи.

Уміти застосовувати набуті теоретичні знання до виконання завдань лабораторних робіт; проводити необхідні експериментальні дослідження та теоретичні розрахунки; обробляти результати експериментальних і теоретичних досліджень, складати і захистити звіт про виконання лабораторної роботи.

ПРАКТИЧНА ПІДГОТОВКА

Ознайомча практика (2 тижні).

Метою навчальної ознайомчої практики є закріплення у студентів теоретичних знань з фахових предметів вироблення навичок практичної і дослідницької роботи, ознайомлення із сучасним обладнанням. Ознайомча практика проводиться на базі навчального закладу з використанням допоміжних баз практик. У рамках проходження навчально-ознайомчої практики студенти відвідують провідні виробничі, наукові та медичні установи регіону (1-й тиждень) отримують первинні професійні уміння шляхом виконання обов'язків дублера, помічника фахівця в одній з установ.

Виробнича практика (2 тижні).

Під час проходження виробничої практики студент повинен *ознайомитися* з роботою різних ланок виробничого підприємств, медичного закладу або науково-дослідної чи дослідно-конструкторської установи; з призначенням і роботою основних і допоміжних служб; з питаннями керування та планування виробничого процесу. Має засвоїти навички, необхідні в роботі з інструментами і приладами біомедичного призначення.

Уміти на практиці проводити монтаж, збірку налагодження блоків і вузлів біомедичної апаратури, її експлуатацію; технологію перевірок апаратури на робочому місці.

Виконання кваліфікаційної дипломної роботи із захистом на ДЕК.

Знати методи розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем у професійній діяльності, спрямованій на створення нових приладів, систем та комплексів, методик досліджень, а також програмних продуктів у галузі біомедичної інженерії.

Уміти спланувати та реалізувати на практиці оригінальне самостійне наукове дослідження, яке сприяє розв'язанню науково-технічних проблем біомедичної інженерії, вибирати та аналізувати джерела інформації з напрямку досліджень; обґрунтовувати актуальність, практичну та наукову значущість досліджень, знаходити сферу практичного застосування одержаним результатам; оформити бакалаврську роботу згідно з національним стандартом ДСТУ 3008-2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»; продемонструвати навички публічного захисту дипломної роботи.

Навчальне видання

Шуаїбов Олександр Камілович
Грицак Роксолана Володимирівна

БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ.

Вступ до спеціальності

Формат 60×84/16. Умовн. друк. арк. 10,23 Зам. № 6 Наклад 110 прим.
Видавництво УжНУ “Говерла”
88000, м. Ужгород, вул. Капітульна, 18., E: mail: hoverla@i.ua

*Свідотство про внесення до державного реєстру видавців,
виготавників і розповсюджувачів продукції-
Серія 3т № 32 від 31 травня 2006 року*

Шуаїбов О.К., Грицак Р.В. **Біомедична інженерія. Вступ до спеціальності.: Навчальний посібник.** – Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Видавництво «Говерла», 2019 р. – 177 с. – Іл. 37; – таблиць 3. – Бібл.: 17 назв. – Укр. мовою.

ISBN 978-617-7333-75-2

В навчальному посібнику розкрито дев'ять тем з біомедичної інженерії на рівні вступу до відповідних навчальних дисциплін, які студенти з спеціальності «БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ» будуть в майбутньому більш детально вивчати на старших курсах бакалаврату при фізичному факультеті ДВНЗ «Ужгородський національний університет», кафедри квантової електроніки. В додатку до посібника наведено опис компетентностей з усіх навчальних дисциплін в розрізі того, що мають студенти «знати» і «вміти» після закінчення четвертого курсу.

Матеріали, викладені в навчальному посібнику, можуть бути корисними для студентів із спеціалізацій «екологія навколишнього середовища», «агрономія», «мікробіологія» та «лікувальна справа».

УДК 621:616(075.8)
Ш 95