

# ТИПОВА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «БІОХІМІЯ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»

## Розділ 1. Вступ до біохімії

Історія розвитку біологічної хімії. Предмет, основні досягнення та завдання біохімії. Основні відмінності живих організмів та процесів, що в них перебігають, від неживої матерії. Клітини: прокаріоти та еукаріоти, біохімічна роль органел. Хімічний склад живої матерії: органогени, макро- та мікроелементи; основні класи біомолекул та їх функціональні групи. Стереохімія біомолекул.

## Розділ 2. Білки

### Тема 2.1. Амінокислоти

Будова амінокислот. Стереізомерія. Класифікація амінокислот на основі хімічної будови R-груп та їх полярності. Характеристика амінокислот, які входять до складу білків. Характеристичні реакції на амінокислоти. Кислотно-основні та електрохімічні властивості амінокислот. Методи аналізу амінокислот: хроматографія, електрофорез.

### Тема 2.2. Пептиди

Пептиди: будова, класифікація та хімічні властивості. Біологічна активність пептидів. Деякі природні пептиди.

### Тема 2.3. Білки

Класифікація білків та їх біологічні функції. Структурна організація молекул білка: первинна, вторинна, надвторинна, супервторинна, третинна та четвертинна структури. Фізико-хімічні та електрохімічні властивості білків. Методи виділення та очистки білків. Ідентифікація і кількісне визначення білків. Методи визначення амінокислотної послідовності в білках. Денатурація білка.

Загальна характеристика глобулярних білків. Взаємозв'язок будови молекули білка та його біологічної функції на прикладі міоглобіну та гемоглобіну. Характеристика фібрилярних білків.  $\alpha$ -,  $\beta$ -кератини, колаген, еластин тощо. Складні білки: будова та біологічні властивості.

## Розділ 3. Ферменти

### Тема 3.1. Будова і класифікація ферментів

Класифікація і номенклатура ферментів. Будова молекул ферментів та їх загальні властивості (специфічність, каталітична ефективність, лабільність, здатність до регуляції). Кофактори і коферменти. Аlostеричні ферменти, ізоферменти, ферментні комплекси. Будова і функції окремих коферментів і простетичних груп.

### Тема 3.2. Кінетика ферментативного каталізу

Механізми ферментативного каталізу: з точки зору енергетики хімічних реакцій, з точки зору процесів, що відбуваються в активному центрі, молекулярні механізми ферментативного каталізу. Кінетика ферментативних реакцій: активність ферментів, залежність швидкості ферментативної реакції від фізичних та хімічних факторів. Рівняння Л. Міхаеліса – М. Ментен, Г. Лайнуївера – Д. Берка, Хіла.

Активність ферментів та фактори, що її визначають. Активування і інгібування ферментів. Інгібітори: оборотні і необоротні. Типи інгібування ферментів: конкурентне, неконкурентне та ретроінгібування.

### Тема 3.3. Регуляція ферментативного апарату клітини

Регуляція активності ферментів: зміна кількості молекул ферменту, доступність молекул субстрату і коферменту, аlostерична регуляція, регуляція за допомогою білок-білкової взаємодії, шляхом фосфорилування-дефосфорилування, регуляція обмеженим протеолізом. Органоспецифічність, внутрішньоклітинна локалізація ферментів.

## Розділ 4. Вітаміни

### Тема 4.1. Вітаміни і мікроелементи: їх роль у функціонуванні ферментів

Класифікація вітамінів та загальна характеристика. Жиророзчинні вітаміни (групи А, Е, К, D, F, убихінони): хімічна природа, біологічна роль та розповсюдженість в природі.

Водорозчинні вітаміни (РР, Р, С, Н та група В): хімічна природа, біологічна роль та

розповсюдженість у природі. Методи визначення вітамінів.

Мікроелементи: Ферум, Купрум, Цинк, Манган, Кобальт, Селен тощо та їх роль у функціонуванні ферментів.

## **Розділ 5. Нуклеїнові кислоти**

### **Тема 5.1. Будова та властивості нуклеїнових кислот**

Пуринові та піримідинові азотисті основи. Нуклеозиди та нуклеотиди. Олігонуклеотиди та полінуклеотиди. ДНК: біологічна функція, будова (первинна, вторинна та третинна структури), правила Е.Чаргафа, фізико-хімічні властивості. Порівняльна характеристика ДНК вірусів, прокаріотичних та еукаріотичних клітин. ДНК мітохондрій та хлоропластів. Ген, паліндром і інтрон. Типи РНК: будова, властивості та біологічна функція.

### **Тема 5.2. Метаболізм нуклеїнових кислот**

Катаболізм та анаболізм пуринових та піримідинових нуклеотидів. Регуляція біосинтезу нуклеотидів. Біосинтез ДНК: ферменти реплікації, механізми реплікації ДНК в бактеріальних та еукаріотичних клітинах, енергетичний баланс процесу. Біосинтез РНК: структура і властивості РНК-полімераза, механізми транскрипції в прокаріотичних та еукаріотичних клітинах (зв'язування ферменту з матрицею, ініціація та елонгація, термінація та вивільнення ферменту, дозрівання РНК-транскриптів).

## **Розділ 6. Метаболізм білків**

### **Тема 6.1. Загальні шляхи обміну амінокислот**

Загальні шляхи обміну амінокислот: трансамінування, дезамінування, декарбоксилювання. Кінцеві продукти азотистого обміну. Біосинтез сечовини. Енергетичний баланс процесу. Особливості обміну окремих амінокислот.

### **Тема 6.2. Біосинтез білка**

Активація амінокислот і утворення аміноацил-тРНК. Структура та функції рибосом. Транспортні та матричні РНК. Проблеми кодування та характерні особливості генетичного коду. Механізм трансляції: ініціація трансляції, елонгація поліпептидного ланцюга, термінація трансляції. Процесінг. Енергетичний баланс процесу. Регуляція біосинтезу білка. Інгібування біосинтезу білка антибіотиками.

## **Розділ 7. Вуглеводи**

### **Тема 7.1. Будова та властивості вуглеводів**

Біологічна роль вуглеводів. Будова та класифікація вуглеводів. Стереοізомерія та таутомерія моносахаридів. Хімічні властивості вуглеводів: реакції напівацетального гідроксилу, гідроксильних груп, окиснення та відновлення. Окремі представники моно-, оліго- та полісахаридів.

### **Тема 7.2. Метаболізм вуглеводів**

Анаеробне перетворення вуглеводів. Спиртове бродіння. Аеробне перетворення вуглеводів. Цикл три- і дикарбонових кислот (цикл Кребса). Апотомічний (пентозний) цикл окиснення вуглеводів. Енергетичний баланс процесів. Біосинтез вуглеводів. Глюконеогенез. Утворення вуглеводів в процесах фотосинтезу. Регуляція метаболізму вуглеводів.

## **Розділ 8. Ліпіди**

### **Тема 8.1. Структурні компоненти ліпідів**

Ліпіди (вищі жирні кислоти, віск, нейтральні ліпіди (триацилгліцероли, етери холестеролу, гліколіпіди), фосфоліпіди, сфінголіпіди): будова, класифікація, фізико-хімічні властивості та біологічна роль.

### **Тема 8.2. Метаболізм ліпідів**

Катаболізм жирних кислот: активація жирних $\beta$  кислот, -окиснення жирних кислот. Енергетичний баланс окиснення жирних кислот. Катаболізм фосфоліпідів

Біосинтез насичених та ненасичених жирних кислот: механізми перенесення ацетил-КоА через мембрану мітохондрій, біосинтез жирних кислот. Біосинтез триацилгліцеролів. Біосинтез фосфоліпідів. Біосинтез кетонових сполук. Біосинтез холестеролу. Регуляція метаболізму ліпідів.

### **Тема 8.3. Основні принципи організації біомембран**

Склад і будова біологічних мембран. Структурні компоненти біомембран. Фазовий стан

мембранних ліпідів. Роль ліпідів у регуляції активності мембранозв'язаних ферментів. Асиметрія компонентів біомембран. Функції біологічних мембран. Участь біомембран в обміні речовин та перетворенні енергії.

## **Розділ 9. Біоенергетика**

### **Тема 9.1. Окисне фосфорилування**

Біологічні види енергії. Комплекси дихального ланцюга мітохондрій. Перенесення електронів по дихальному ланцюгу мітохондрій. Структура та властивості компонентів дихального ланцюга мітохондрій. Ланцюги переносу електронів у прокариотів (аеробні та анаеробні умови) та мітохондрій рослин. Хеміосмотична теорія поєднання окиснення та фосфорилування в мітохондріях. Механізми функціонування генераторів градієнту електрохімічного потенціалу іонів водню в мітохондріях тварин.

### **Тема 9.2. Фотосинтез**

Основні уявлення про фотосинтез. Фотосинтез в еукаріотичних фотосинтезуючих клітинах. Фотосистеми хлоропластів. Особливості фотосинтезу у прокариотів (цианобактерій, пурпурових бактерій, зелених бактерій – анаеробів, гало бактерій). Участь іонів натрію в процесі перетворення енергії.

## **ЛІТЕРАТУРА** **Базова література**

1. Остапченко Л.І., Андрійчук Т.Р., Бабенюк Ю. Д. та ін. Біохімія. – К.: ВПЦ «Київ. ун-т», 2012, 796 с.
2. Біохімія. /М.Є.Кучеренко, Ю.Д.Бабенюк, О.М.Васильєв та ін./ К.:ВГЦ Київський університет, 2002, 480 с.
3. Біологічна хімія : підручник / за заг. Ред. проф. А.Л. Загайка, проф. К.В. Александрової. – Х. : Вид-во «Форт», 2014. – С. 780.
- 4.М.С.Кучеренко, Ю.Д.Бабенюк, В.М.Войницький. Сучасні методи біохімічних досліджень Київ, Фітосоціоцентр, 2001, 422с.

### **Додаткової літератури**

1. Д.Нельсон, Н. Коке Основи біохімії Ленинджера в 3 томах. / W. H. FREEMAN AND COMPANY New York, переклад М.: Лаборатория знаний, 2017. — 694 с. <https://glavkniga.su/filecont/49864.pdf>
2. Губський Ю.І. Біологічна хімія / київ-Винниця Нова книга, 2007р. 656 с.

# ТИПОВА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЗАГАЛЬНА БІОТЕХНОЛОГІЯ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»

## 1. Предмет та значення біотехнологічної галузі

Виникнення та основні етапи розвитку біотехнології. Особливості та відмінності біотехнологій у порівнянні з іншими технологічними процесами (технологіями). Базова термінологія. Принципи класифікації та приклади класифікацій біотехнологічних виробництв.

Мікробіологічна промисловість, як базова складова частина сучасної біотехнології. Сфери використання біосинтетичного потенціалу мікроорганізмів. Галузі застосування продукції біотехнологічних виробництв.

Принципи створення біотехнології. Сучасні та новітні напрямки розвитку біотехнології та біотехнологічної промисловості.

Основні наукові центри та промислові підприємства галузі.

## 2. Біологічні агенти біотехнології

Застосування основних закономірностей регуляції метаболізму у мікроорганізмів для підвищення їх продуктивності.

Залежність метаболічної активності мікроорганізмів від впливу факторів оточуючого середовища: температури, аерації, рН, складу і концентрації компонентів середовища.

Клітини мікроорганізмів, рослин та тканин, як промислові продуценти біологічно активних речовин. Методи селекції промислових штамів.

Основні вимоги до промислових та промислово-перспективних продуцентів БАР, критерії відбору.

## 3. Поживні середовища в біотехнології

Класифікація поживних середовищ, що використовуються у біотехнології.

Підбір складу поживного середовища, розробка технологічних етапів культивування в залежності від механізмів регуляції метаболічних шляхів та фізіологічних особливостей клітин промислового штаму.

Сировинна база біотехнології. Основні джерела головних та мінорних елементів. Ростові фактори. Попередники синтезу цільового продукту.

Особливості поживних середовищ для культивування клітин рослин та тканин. Принципи створення поживних середовищ, вимоги до компонентів.

## 4. Асептика в біотехнологічній промисловості

Поняття “асептика”, “стерильність”, “контамінація”. Вплив сторонньої мікрофлори на ефективність процесів біосинтезу. Способи підтримки асептичних умов.

Способи інактивації контамінуючої мікрофлори. Способи стерилізації обладнання, поживних середовищ та повітря. Інактивація мікроорганізмів та руйнування хімічних сполук під дією фізичних та хімічних факторів.

Кінетика стерилізації. Розрахунок ефективності термічної стерилізації рідин. Модель активованих спор Хемфрі, метод Річардса, теорія Дейндорфера і Хемфрі. Періодичний спосіб стерилізації. Безперервний спосіб стерилізації.

Вибір оптимальних технологічних параметрів термічної стерилізації.

## 5. Основні типи стадій біотехнологічного процесу. Типові технологічні рішення в біотехнології

Стадії біотехнологічних виробництв. Підготовчі (предферментаційні) процеси, культивування біологічних агентів, виділення та стандартизації біологічно активних речовин. Узагальнена схема біотехнологічних виробництв.

Технологічні засади санітарної підготовки виробництва. Підготовка, мийка та стерилізація обладнання та комунікацій.

Підготовка поживних середовищ для виробничого біосинтезу: зберігання та дозування компонентів поживного середовища, способи стерилізації поживних середовищ. Контроль якісних показників поживних середовищ.

Посівний матеріал. Одержання посівного матеріалу для поверхневого та глибинного культивування. Музейні культури, робочі партії штамів-продуцентів БАР.

Підготовка повітря для технологічного процесу. Розрахунок потреб культури продуцента

БАР у розчиненому кисні. Способи очищення та стерилізації повітря для біосинтезу та виробничих приміщень. Типові технологічні прийоми стерилізації повітря. Повітряні фільтри. Принципи вибору фільтруючих матеріалів повітряних фільтрів. Оцінка ефективності очистки та стерилізації повітря. Контроль ефективності очистки та стерилізації повітря.

Технологічна схема отримання стерильного повітря.

### **6. Культивування мікроорганізмів**

Поверхневий та глибинний способи культивування. Періодичний та безперервний процеси біосинтезу. Особливості, переваги, недоліки при отриманні БАР.

Ферментери. Класифікація ферментерів. Принципи вибору типового ферментаційного обладнання. Особливості технологій з використанням нативних та іmobilізованих клітин мікроорганізмів.

Особливості обладнання для культивування мікробних культур.

Піноутворення та його регулювання в процесах глибинного культивування. Причини піноутворення та його вплив на ефективність біосинтезу. Методи пінорегулювання: хімічні, фізичні, механічні та комбіновані. Характеристика піногасників, що використовуються у промисловості.

Періодичне культивування і його графічна інтерпретація. Глибинне культивування в ідеальному біореакторі періодичної дії. Логістична крива, як приклад однопараметричної моделі розвитку популяції. Базові кінетичні показники періодичного культивування. Кінетика утилізації субстрату і утворення метаболітів в періодичному режимі культивування. Питома швидкість росту, економічні коефіцієнти, вихід біомаси, ступінь використання субстрату, продуктивність біосинтезу, фізіологічна цінність субстрату. Математичне моделювання ростових процесів. Модель експоненційного росту. Кінетичні рівняння Моно, Ферхюльста-Пірла-Ріда, Ендрюса та інші.

Кінетика збалансованого росту. Базові кінетичні показники та математичні моделі напівбезперервного та безперервного режимів культивування. Класифікація безперервних систем та методи керування ними, матеріальний баланс по біомасі та субстрату. Саморегуляція безперервних систем. Хемостатні, турбідостатні та інші системи керування безперервними процесами біосинтезу. Культивування в системі з декількох ідеальних біореакторів. Баланс біомаси та субстрату у батареї безперервних хемостатів.

Технологічна реалізація типових способів безперервного культивування.

### **7. Культивування клітин тканин та клітин рослин**

Особливості біотехнологічних процесів на основі культивування рослинних та тваринних клітин. Суспензійні культури, умови їх отримання та вирощування. Культивування калусних та суспензійних культур з метою одержання продуктів вторинного синтезу (алкалоїдів, глікозидів, ефірної олії, стеринів).

Специфіка калусних тканин. Вибір експлантатів, підготовка і умови культивування ізолюваних клітин, тканин та органел. Фактори, що впливають на синтез та накопичення метаболітів в культурі ізолюваних клітин і тканин.

Особливості обладнання для лабораторного та промислового культивування ізолюваних клітин і тканин.

### **8. Технологічні процеси виділення, очищення та сушки продуктів біосинтезу**

Принципи та типові технологічні рішення виділення цільових продуктів біосинтезу. Обґрунтування та вибір способів виділення в залежності від характеристик продукту та місця його локалізації.

Способи концентрування біомаси: відстоювання, флотація, осадження в полі штучно створених гравітаційних сил.

Способи розділення твердої та рідкої фаз культуральної рідини: фільтрування, центрифугування, сепарування. Попередня обробка клітинних суспензій. Екстракція цільового продукту.

Мембранні методи: діаліз, електродіаліз. Баромембранні способи: мікрофільтрація, ультрафільтрація, зворотний осмос.

Методи осадження білків: органічними розчинниками, солями, вибірковою рН-та Т-денатурацією, в ізоелектричній точці.

Розділення та очищення продукту методами адсорбції.

Отримання кінцевої форми продуктів мікробного синтезу.

Стабілізація продукту. Наповнювачі та стабілізатори активності БАР.

Термочутливість та ксерочутливість продуктів біосинтезу. Способи сушки продуктів. Вакуум-висушування, розпилююча та сублимаційна сушка. Вибір способу в залежності від характеристик субстанції, що висушується, та вимог до готового продукту.

Товарні форми продуктів біосинтезу. Фасування, пакування, зберігання. Контроль у виробництві продуктів біосинтезу. Види контролю, точки контролю, якість продукції.

## **9. Застосування мікроорганізмів в процесах очистки промислових відходів**

Принципи вибору системи біологічної очистки рідких промислових відходів.

Типові схеми очистки промислових стоків (аеробні і анаеробні способи очистки стоків).

## **10. Традиційні біотехнології**

Загальна характеристика технології білково-вітамінних концентратів (БВК). Основні продуценти, особливості виробництва та виділення продукту.

Особливості технології отримання органічних кислот. Технологічні принципи, види товарних форм. Мікробіологічний спосіб отримання амінокислот. Особливості продуцентів та технологічних режимів.

Мікробіологічне виробництво ферментних препаратів. Способи культивування продуцентів.

Номенклатура, активність цільових продуктів. Особливості технології отримання антибіотиків мікробним синтезом. Залежність технологічної схеми від призначення цільового продукту.

## **ЛІТЕРАТУРА**

### **Базова література**

1. Пирог Т. П. Загальна біотехнологія : підручник / Т.П. Пирог, О.А. Ігнатова ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет харчових технологій. - Київ : НУХТ, 2009. - 335 сторінок : рисунки, таблиці. <https://cutt.ly/t90cEb0>

2. Буценко Л. М. Технології мікробного синтезу лікарських засобів : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки "Біотехнологія" / Л.М. Буценко, Ю.М. Пенчук, Т.П. Пирог ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет харчових технологій. - Київ : НУХТ, 2010. - 323 сторінки : рисунки, таблиці. <https://cutt.ly/m90cKwa>

3. Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; Під общ. ред. В.Г. Герасименка. — К.: Фірма «ІНКОС», 2006. — 647 с. <https://cutt.ly/090vD2k>

4. Грегірчак Н. М. Імобілізовані ферменти і клітини в біотехнології : конспект лекцій для студ. спец. 8.05140101 «Промислова біотехнологія» ден. та заоч. форм навч. / Н. М. Грегірчак, М. М. Антонюк, - К.: НУХТ, 2011. - 59 с. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/2306>.

5. Загальна (промислова) біотехнологія: навчальний посібник. М.Д. Мельничук, О.Л.Кляченко, В.В.Бородай, Ю.В. Коломієць. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014: 253.

6. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв : навч. посіб. для студ. базових напрямів підготовки 092902 "Біотехнологія біологічно активних речовин" і 1102 "Фармація" / Ю. І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В. П. Новіков ; Мін-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львівська політехніка". - Львів : Львівська політехніка, 2004. <https://cutt.ly/E90vKM9> <https://cutt.ly/Q90vV32>

### **Додаткова література**

7. Нормативне забезпечення біотехнологічних виробництв: навчальний посібник. В.В.Бородай, О.Л.Кляченко. К.: Компрінт, 2018: 259.

8. Манушкіна Т. М. Біотехнологія в рослинництві : курс лекцій / Т. М. Манушкіна. – Миколаїв : МНАУ, 2014. – 51 с. <https://cutt.ly/U90v36W>

9. Стасевич, Марина Володимирівна. Технологічне обладнання фармацевтичної та біотехнологічної промисловості : підручник для студентів вищих навчальних закладів / М.В. Стасевич, А.О. Милянчик, Л.С. Стрельников, Т.В. Крутьких, І.Р. Бучкевич, І.О. Зайцев, І.О. Гузьова, О.П. Стрілець, Є.В. Гладух, В.П. Новіков ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка", Національний фармацевтичний університет. - Львів : Видавництво "Новий світ-2000", 2020. - 409 сторінок : рисунки, таблиці. - (Вища освіта в Україні) <https://cutt.ly/M90v6jj>

10. Галузі сучасної біотехнології. Підручник / Єлізаров М. О.; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (2021) <https://cutt.ly/790brHH>

11. Карлаш Ю.В. Основи проектування біотехнологічних виробництв: Конспект лекцій для студентів напряму 6.051401 «Біотехнологія» денної та заочної форм навчання / Уклад.: Ю.В.Карлаш - К: НУХТ, 2013. – 143 с. <http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/69.24.pdf>

12. Підгорський, Валентин Степанович. Інтенсифікація технологій мікробного синтезу : [монографія] / В.С. Підгорський, Г.О. Іутинська, Т.П. Пирог ; НАН України, Ін-т мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного. - Київ : Наукова думка, 2010. - 326 с. : схеми. - (Проект "Наукова книга") <https://cutt.ly/d90bsaT>
13. Біоінженерія: підручник. О.Л. Кляченко, М.Д. Мельничук, Ю.В. Коломієць. Вінниця, ТОВ «НіланЛТД», 2015: 458.
14. Юлевич О. І. Біотехнологія : навчальний посібник / О. І. Юлевич, С. І. Ковтун, М. І. Гиль ; за ред. М. І. Гиль. — Миколаїв : МДАУ, 2012. — 476 с <https://cutt.ly/m90bhhd>
15. Конспект лекцій з дисципліни «Асептика біотехнологічних виробництв» освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» усіх форм навчання / Укл.: Головей О.П., Гуляєв В.М. – Кам'янське. ДДТУ, 2017 р., 140 с <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/8/5-8-k11.pdf>
16. Технічна мікробіологія : підручник для студ. вищих навч. закл. / В.О. Коваленко [та ін.]. - Харків : Світ Книги, 2016. - 678 с. <https://cutt.ly/G90bzVq>
17. Слободян, В. О. Основи біотехнології : навчальний посібник / В.О. Слободян ; Ін-т менеджменту та економіки. - Івано-Франківськ, 2002. - 188 с. : рис. <https://cutt.ly/x90bmUe>
18. Мельничук М. Д. Біотехнологія рослин : Підручник / М.Д. Мельничук, Т.В. Новак, В.А. Кунах. - К. : ПоліграфКонсалтинг, 2003. - 520 с. <https://cutt.ly/L90bEdm>
19. Капрельянц, Леонід Вікторович. Технічна мікробіологія : підручник / Л.В. Капрельянц, Л.М. Пилипенко, А.В. Єгорова, Я.Б. Пауліна [та 5 інших]. - Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. - 430 сторінок : рисунки, таблиці, портрети. <https://cutt.ly/e90bUm2>

# ТИПОВА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЗАГАЛЬНА МІКРОБІОЛОГІЯ І ВІРУСОЛОГІЯ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»

## 1. Становлення та розвиток мікробіології.

Морфологічний період розвитку мікробіології. Еколого-фізіологічний період розвитку мікробіології.

Відкриття Луї Пастера (участь мікробів у біохімічному перетворенні речовин; бродіння; анаеробіоз; проблема самозародження життя; мікроорганізми – збудники захворювань; атенуація мікробів). Відкриття Роберта Коха. Розробка методів досліджень. Вклад у розвиток мікробіології вітчизняних вчених (фагоцитарна теорія імунітету; хемосинтез, накопичувані культури; відкриття вірусів та ін.). Розвиток мікробіології у 20-му столітті.

## 2. Положення мікроорганізмів у природі

Класифікація живих організмів. Акаріоти, прокаріоти та еукаріоти. Загальні властивості мікроорганізмів (розмір особини та співвідношення між поверхнею та об'ємом; пластичність метаболізму; розповсюдження мікроорганізмів).

### *Морфологія мікроорганізмів*

Бактерії (сферичні бактерії, або коки; циліндрична форма бактерій; бактерії спіральної форми; звивисті, бактерії незвичної форми; нитчасті форми бактерій). Мікроскопічні міцеліальні гриби (вегетативне тіло; ріст та розмноження грибів). Дріжджі.

## 3. Хімічний склад бактеріальної клітини

Клітинна вода; елементний склад; органічні сполуки: білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи, ліпіди, пігменти. Фізико-хімічні властивості бактеріальної клітини (броунівський рух, показник заломлення, густина, в'язкість, еластичність, електричний заряд, окисно-відновний потенціал, гідрофобність та гідрофільність, неспецифічна аглютинація, адсорбція іонів, осмотичний тиск, свічення).

## 4. Будова мікробної клітини

Клітинні стінки мікроорганізмів. Поверхневі структури клітинної стінки бактерій (джгутики і рухомість; фімбрії та пілі; таксиси; капсула та слизовий шар). Будова і хімічний склад клітинних стінок прокаріот (фарбування за Грамом; пептидоглікани; клітинна стінка грампозитивних та грамнегативних бактерій; дія лізоциму та пеніциліну; зовнішні шари клітинних стінок грамнегативних бактерій; функції зовнішньої мембрани). Клітинні стінки еукаріот (дріжджів та мікроміцетів).

Мембрани мікробних клітин. Загальні уявлення про хімічний склад і будову мембран. Цитоплазматична мембрана (мембранні білки; мембранні вуглеводи; ліпіди мембран). Структурні і функціональні особливості мембран прокаріот та еукаріот (мембранні утворення грамнегативних та грампозитивних бактерій; мембрани та органели еукаріот; ендоцитоз та ендосимбіотична гіпотеза).

Внутрішньоклітинні структури. Рибосоми. Вакуолі. Карбоксисоми. Магнітосоми. Запасні речовини (полісахариди, жироподібні речовини, поліфосфати, сірка). Нуклеоїд. Позахроосомні генетичні елементи.

Форми спокою у бактерій. Ендоспори (терморезистентність спор; характеристика спороутворювальних бактерій; виявлення ендоспор; спороутворення; властивості зрілих спор; проростання спор; тривалість життя спор). Інші форми спокою (цисти, екзоспори, міксоспори).

Характерні ознаки еукаріот та прокаріот. Структурні, генетичні, функціональні та хімічні відмінності прокаріот та еукаріот (підсумкові дані). Характерні ознаки грампозитивних та грамнегативних бактерій (підсумкові дані).

## 5. Ріст мікроорганізмів

Дія на мікроорганізми зовнішніх факторів. Фізичні фактори (температура; вологість і осмотичний тиск; гідростатичний тиск; промениста енергія; електрика; ультразвук). Хімічні фактори (концентрація іонів водню; кисень та аерація, окисно-відновний потенціал середовища;



хімічні сполуки). Загибель та знищення мікроорганізмів. Методи стерилізації (вологий жар; сухий жар; фільтрація; опромінення; хімічні засоби). Методи консервування (фізичні та хімічні методи).

Адаптивні реакції мікроорганізмів на стресові дії. Зміни в ліпідному складі мембран. Утворення протекторних сполук (осмопротектори; пігменти; вуглеводи; протекторні білки). Антирадикальний захист. Роль міжклітинних хімічних комунікацій в адаптації мікроорганізмів до стресу. Регуляторні системи відповіді на стресові дії.

**Живлення мікроорганізмів.** Головні та мінорні біоелементи. Два основні механізми синтезу АТФ (фосфорилування при перенесенні електронів та субстратне фосфорилування). Типи живлення (поживні речовини як джерела енергії; поживні речовини як джерела вуглецю та донори електронів; ростові та неростові субстрати; трансформація мікроорганізмами суміші ростових та неростових субстратів - міксотрофія, диауксія, кометаболізм, синтаболізм). Потреби мікроорганізмів у факторах росту. Типи поживних середовищ для вирощування мікроорганізмів. Елективні методи культивування (накопичувальні та чисті культури).

**Фізіологія росту.** Визначення росту (поняття «ріст»). Розмноження бактерій. Ріст бактерій в бактеріальній популяції. Методи визначення концентрації бактерій та біомаси. Експоненційний ріст та тривалість генерації. Ріст бактерій в періодичній культурі. Параметри кривої росту. Ріст в безперервній культурі. Принципові відмінності між періодичною та безперервною культурами. Синхронні культури.

## 6. Систематика прокариот

**Вступ до систематики бактерій.** Принципи класифікації бактерій; термінологія, яка використовується в систематиці (класифікація; номенклатура; таксон, ідентифікація). Концепція виду в бактеріології. Історичні аспекти систематики бактерій. Розділення 9-го видання Бергі на Керівництво з систематики і Керівництво з ідентифікації бактерій.

Характеристика таксонів вищого рангу згідно 9-го видання Керівництва Бергі з систематики бактерій. Категорія *Gracilicutes* (грамнегативні бактерії, які мають клітинну стінку). Клас *Scotobacteria* (частини №№ 1 - 14). Клас *Anoxyphotobacteria* (частина № 15). Клас *Oxyphotobacteria* (частина № 16).

Категорія *Firmicutes* (грампозитивні еубактерії, які мають клітинну стінку). Клас *Firmibacteria* (частини №№ 17- 19). Клас *Thallobacteria* (частина № 20).

Категорія *Tenericutes* (еубактерії, які не мають клітинної стінки). Клас *Mollicutes* (частина № 21). Характеристика мікоплазм.

Категорія *Mendosicutes* (архебактерії). Характеристика 5-ти груп архебактерій згідно Керівництва Бергі з ідентифікації бактерій (1997 рік) (метаногени; сульфатредуючі археї; екстремально галофільні аеробні архебактерії – галобактерії; архебактерії, які не мають клітинної стінки; екстремальні термофіли і гіпертермофіли, які метаболізують S<sup>0</sup>).

**Сучасні напрямки в систематиці бактерій.** Недоліки фенотипової систематики. Геносистематика бактерій (вміст ГЦ в ДНК; гібридизація ДНК–ДНК та ДНК–рНК; амінокислотна послідовність білків; нуклеотидна послідовність генів: метод полімеразної ланцюгової реакції та аналіз 16S рРНК). Філогенетична систематика - 11 основних груп бактерій; клас *Proteobacteria*; видання “Prokaryotes”, друге видання (загальне 10-те видання) Керівництва Бергі з систематики бактерій.

## 7. Гриби

**Загальна характеристика грибів.** Розвиток мікології, положення грибів серед живих організмів. Ознаки грибів, спільні з рослинами і тваринами. Будова грибної клітини. Характеристика органел грибної клітини. Вегетативне тіло гриба. Нижчі (фікомицети) та вищі (еуміцети) гриби. Видозмінення міцеліального росту (хламідоспори, тяжі, ризоморфи, склероції, апресорії, гаусторії, кільця). Явище диморфізму. Розмноження грибів (вегетативне - фрагментація гіфів, їх брунькування, утворення хламідоспор; безстатеве - за допомогою безстатевих екзогенних (конідії) та ендогенних (спорангіоспори) спор; статеве – за допомогою статевих спор: ооспор, зигоспор, аскоспор, базидіоспор). Три фази статевого процесу (плазмогамія, каріогамія, мейоз).

**Систематика грибів.** Відділи *Chytridiomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota*, *Basidiomycota*). Проблеми сучасної систематики грибів (аналіз 18S рРНК і філогенетична класифікація грибів;

систематика грибів Хоуксворта (1995), Маргеліс та Шварц (1997), Кавалір-Сміта (1998); виключення з царства грибів міксоміцетів, ооміцетів та гіфохітридієвих грибів).

*Біологічно активні речовини грибів.* Ферменти (амілази, целюлази, ксиланази, глюканази, пектинази, протеази, глюкозооксидаза та каталаза); антибіотики; полісахариди; токсини; стимулятори росту рослин та вітаміни; органічні кислоти.

*Екологічні групи грибів.* Географічне розповсюдження грибів. Грунтові гриби. Гриби у повітрі. Водні гриби. Фітопатогенні гриби. Гриби, які розкладають деревину. Гриби, патогенні для людини та тварин. Ентомофільні гриби. Гриби-хижаки. Мікофільні гриби. Гриби-симбіонти. Їстівні гриби. Гриби, які спричиняють пошкодження промислових виробів, матеріалів, споруд.

## **8. Дріжджі**

Основні етапи у дослідженні дріжджів. Будова дріжджової клітини. Розмноження дріжджів (безстатеве – брунькування, ділення, безстатевими хламідо- та бластоспорами; статеве – ендогенними (аскоспори) та екзогенними (споридії) спорами). Систематика дріжджів (систематика Крегер-ван Рій (1984); аналіз 18S та 23S рРНК і філогенетична класифікація дріжджів Куртцмана і Фела (1998-2000 рр.); положення аспорогенних дріжджів серед аско- та базидіоміцетів). Характеристика деяких промислових дріжджів. Дріжджі *Saccharomyces* у промисловості (виробництво алкогольних напоїв, виробництво етанолу, пекарські дріжджі та отримання біомаси; продукти, які отримуються з дріжджів).

## **9. Віруси**

Відкриття вірусів. Етапи розвитку вірусології. Хронологія відкриття вірусів. Форми існування і загальна організація вірусів. Будова вірусів. Природа і походження вірусів. Класифікація вірусів (критерії систематики вірусів, характеристика ДНК- і РНК-вмісних вірусів). Культивування і репродукція вірусів (способи культивування вірусів, стадії і фази репродукції вірусів). Віруси бактерій (класифікація, форма і будова бактеріофагів, властивості фагів, розмноження вірулентного фага: літичний цикл; розвиток помірних фагів: лізогенія, одержання і практичне використання фагів у біології і медицині). Фітопатогенні віруси (таксономія, віроїди, основні властивості). Патогенні віруси комах. Форми і види вірусних інфекцій у людини і тварин. Відношення вірусів і плазмід до утворення пухлин (онкогенезу).

## **10. Загальні поняття про метаболізм. Шляхи катаболізму глюкози та інших вуглеводів.**

Конструктивний метаболізм. Енергетичний метаболізм (макроергічні сполуки; АТФ як кофермент для активації метаболітів; відновлювальні еквіваленти). Принцип “біохімічної єдності”. Роль ферментів у метаболізмі. Ферменти мікроорганізмів.

Фруктозо-1,6-дифосфатний шлях (гліколіз, шлях Ембдена-Мейєргофа-Парнаса). Шлях Ентнера- Дудорова (КДФГ-шлях). Розщеплення глюкози через глюконат. Пентозофосфатний цикл (фосфоглюконатний шлях, гексозофосфатний шунт). Поняття “ключові ферменти”. Катаболізм вуглеводів, відмінних від глюкози. Окислення пірувату. Цикл трикарбонних кислот. Анаплеротичні реакції при рості мікроорганізмів на вуглеводах (карбоксилювання пірувату та фосфоенолпірувату).

## **11. Дихальний ланцюг та фосфорилування (синтез АТФ) при перенесенні електронів**

Компоненти дихального ланцюга (флавопротеїни, залізосіркові білки, хінони та цитохроми). Окисно- відновний потенціал. Розміщення та функції окисно-відновних систем у дихальному ланцюгові. Коефіцієнт P/O та енергетичний баланс. Механізм синтезу АТФ при перенесенні електронів. Гіпотеза Мітчелла та трансмембранний електрохімічний градієнт протонів (протонрушійна сила, протонний потенціал). Зворотній перенос електронів за рахунок енергії АТФ у аеробних хемолітоавтотрофів. Токсична дія молекулярного кисню на аеробні та анаеробні мікроорганізми. Електрон-транспортні процеси у анаеробних бактерій. Інгібітори дихального ланцюга.

## **12. Метаболічна активність аеробних гетеротрофів**

Метаболізм C<sub>2</sub>-сполук (етанол та ацетат як субстрати; гліюксилатний цикл; глюконеогенез;

гліоксилат та оксалат як субстрати, гліцератний шлях). Ріст на відновлених C<sub>1</sub>-сполуках (енергетичний метаболізм метанотрофів; конструктивний метаболізм: серин-ізоцитрат-ліазний шлях та рибулозомонофосфатний цикл; факультативні метилотрофи). Катаболізм вищих n-алканів та жирних кислот. Катаболізм білків та амінокислот. Катаболізм ароматичних сполук. Неповні окислення (утворення оцтової кислоти та оцтовокислі бактерії; утворення кислот грибами; утворення амінокислот бактеріями; трансформація речовин мікроорганізмами; утворення вторинних метаболітів: синтез антибіотиків, мітотоксинів, мікробних екзополісахаридів; лектинів та поверхнево-активних речовин).

### **13. Біосинтетичні процеси у мікроорганізмів**

Потреби в АТФ для утворення бактеріальних клітин з глюкози. Біосинтез амінокислот. Біосинтез нуклеотидів. Біосинтез жирних кислот. Утворення вуглеводів – компонентів клітинної стінки.

### **14. Механізми поглинання субстратів**

Пасивна дифузія. Полегшена дифузія. Активний транспорт. Перенесення груп (транслокація груп). Транспорт заліза (сідерофори).

Типи бродіння. Загальна характеристика процесу бродіння. Регенерація АТФ при бродінні.

Роль процесів бродіння у балансі природи. Спиртове бродіння (утворення етанолу дріжджами та бактеріями). Молочнокисле бродіння і родина *Lactobacillaceae* (характеристика молочнокислих бактерій; гомоферментативне та гетероферментативне молочнокисле бродіння; використання молочнокислих бактерій). Пропіоновокисле бродіння та пропіоновокислі бактерії. Мурашинокисле бродіння та родина *Enterobacteriaceae* (характеристика ентеробактерій; продукти бродіння та метаболічні шляхи). Маслянокисле та ацетано-бутилове бродіння (характеристика бактерій роду *Clostridium*; зброджування глюкози клостридіями; зброджування клостридіями субстратів, відмінних від глюкози; клостридії – збудники захворювань). Гомоацетатне бродіння: CO<sub>2</sub> як акцептор водню. Зброджувані та незброджувані природні сполуки.

### **15. Перенесення електронів в анаеробних умовах (анаеробне дихання)**

Денітрифікація та відновлення нітрату (денітрифікуючі бактерії). Утворення сірководню при відновленні сульфату (сульфатредуючі бактерії). Утворення метану при відновленні карбонату (метаногенні бактерії). Утворення ацетату при відновленні карбонату (ацетогенні бактерії). Утворення сукцинату при відновленні fumarату. Відновлення іонів Fe (III) до Fe (II).

### **16. Використання неорганічних донорів водню: аеробні хемолітотрофні бактерії**

Окислення аміаку та нітриту. Нітрифікуючі бактерії (бактерії, які окислюють аміак; бактерії, які окислюють нітрит; роль процесів нітрифікації в ґрунті). Окислення відновлених сполук сірки. Бактерії, які окислюють сірку та її сполуки. Окислення двовалентного заліза. Визолування металів з руд. Окислення молекулярного водню. Водневі та карбоксидобактерії. Фіксація CO<sub>2</sub> (цикл Кальвіна-Бассама; анаеробний ацетил-КоА-шлях; відновлювальний цикл трикарбонових кислот).

### **17. Фіксація молекулярного азоту**

Фіксація азоту симбіотичними (бульбочковими) бактеріями. Фіксація азоту вільно існуючими бактеріями. Біохімія азотфіксації.

### **18. Фототрофні бактерії та фотосинтез**

Характеристика та особливості метаболізму пурпурових та зелених фототрофних бактерій.

Розповсюдження фототрофних бактерій. Ціанобактерії. Процеси фотосинтезу (оксигенний та аноксигенний фотосинтез). Використання світлової енергії галобактеріями.

### **19. Регуляція метаболізму**

Регуляція синтезу ферментів: індукція та репресія. Індукція субстратом (послідовна та координувана).

Індукція проміжними продуктами реакцій. Репресія кінцевим продуктом. Катаболітна репресія. Регуляція активності ферментів (інгібування кінцевим продуктом – ретроінгібування; інгібування за типом зворотнього зв'язку).

Механізми регуляції синтезу ферментів (індукція лактозного оперону; репресія триптофанового оперону кінцевим продуктом).

Механізми регуляції активності ферментів (алостерична регуляція; ковалентна модифікація ферментів).

## ЛІТЕРАТУРА

### Основна:

1. Мікробіологія : підручник / М.Г. Сергійчук, В.К. Позур, Т.М. Фурзікова та ін. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. – 541 с.
2. Пирог Т.П. Загальна мікробіологія: Підручник. — К.: НУХТ, 2010. — 623 с.
3. Практична мікробіологія: навчальний посібник / С.І. Климнюк, І.О. Ситник, В.П. Широбоков; за заг. ред.: В.П. Широбокова, С.І. Климнюка. – Вінниця : Нова книга, 2018. – 576 с.
4. Гудзь С.П., Перетятко Т.Б., Павлова Ю.О. Загальна вірусологія Навчальний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. – 264 с.
5. Загальна мікробіологія та вірусологія. Лабораторний практикум [Електронне видання] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Біотехнології» спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Л. Б. Орябінська, Л. П. Дзигун, Л. О. Тітова. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.7 МБ, pdf). – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 121 с. - Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48861>
6. Мікробіологія з технікою мікробіологічних досліджень, вірусологія та імунологія : підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів I-III рівнів акредитації / В.А. Люта, О.В. Кононов. - Київ : Медицина, 2017. - 574 с.

### Допоміжна:

7. Мікробіологія : підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів I-III рівнів акредитації / В.А. Люта, О.В. Кононов. - Київ : Медицина, 2012. - 454 с. : іл.
8. Мікробіологія : навч. посіб. / Г.Б. Рудавська, Б.О. Голуб, В.І. Мандрика ; МОН України, Київський нац. торговельно-економічний ун-т. - Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. - 296 с.
9. Загальна мікробіологія і вірусологія: навч. посібник / Л.С. Ястремська, І.М. Малиновська. – К.: НАУ, 2017. – 232 с.
10. Чорна Т. М. Мікробіологія : навчальний посібник / Т. М. Чорна ; Університет державної фіскальної служби України. – Ірпінь : УДФСУ, 2020. – 412 с.
11. Загальна мікробіологія, вірусологія, імунологія. Вибрані лекції: Навч. посібник / П. З. Протченко. — Одеса: Одес. держ. ун-т, 2002. — 298 с. — (Б-ка студента-медика). Іл. 54. Табл. 22. Бібліогр. 33 назв.
12. Мікробіологія : підручник для студентів вищих навчальних закладів / Н.І. Філімонова, Л.Ф. Сілаєва, О.М. Дика, О.Г. Гейдеріх, Н.Ю. Шевельова [та 5 інших] ; за загальною редакцією Н.І. Філімонової ; Міністерство охорони здоров'я України, Національний фармацевтичний університет. - Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2019. - 674 сторінок, 8 сторінок кольорових фотоілюстрацій ; рисунки, таблиці
13. Векірчик К.М. Мікробіологія з основами вірусології. – К.: Либідь, 2001. – 312 с.
14. Kurtzman C.P. Systematics and Taxonomy of Yeasts. In: Dimorphism in Human Pathogenic and Apathogenic Yeasts / Ed. E.J.F. Schmidt. - Contrib. Microbiol. Basel. Karger. – 2000. – Vol. 5. – P. 1 – 14.
15. *The Prokaryotes*. An evolving electronic resource for the microbiological community / Eds.: M.Dvorkin, S.Falkow, E.Rosenberg, K.H.Schleifer, E.Stackebrandt. – 3<sup>rd</sup> ed. – Online version. Springer Link, 1999.

# ТИПОВА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ГЕНЕТИКА» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»

## 1. Матеріальні основи спадковості.

**Предмет, методи та історія розвитку генетики.** Предмет і завдання генетики. Основні етапи розвитку генетики. Методи сучасних генетичних досліджень. Значення генетики для вирішення проблем біотехнології, селекції, охорони природи, медицини.

**Будова та функції хромосом.** Клітина як основа спадковості і відтворення. Клітинні та неклітинні форми організації живого: акаріоти, прокаріоти, еукаріоти. Докази ролі ядра і хромосом у явищах спадковості.

Каріотип. Специфічність морфології і числа хромосом. Будова хромосом. Зміни в організації та морфології хромосом під час мітозу та мейозу. Подвоєння хромосом. Політенія. Гігантські хромосоми.

**Нуклеїнові кислоти як носії генетичної інформації.** Докази генетичної ролі нуклеїнових кислот. Структура ДНК і РНК. Модель ДНК Уотсона і Кріка. Функції нуклеїнових кислот у реалізації генетичної інформації. Реплікація. Молекулярна та надмолекулярна організація хромосом еукаріотів і прокаріотів.

### Мітоз, мейоз, гаметогенез.

Клітинний цикл і фази мітозу. Мейоз та утворення гамет. Генетична роль мітозу і мейозу. Розмноження організмів. Статеве розмноження. Безстатеве розмноження. Поняття про життєвий цикл. Чергування гаплоїдної та диплоїдної фаз, його значення у життєвому циклі еукаріотів. Амфіміксис та апоміксис. Успадкування при різних типах апоміксису.

## 2. Закономірності успадкування та принципи спадковості.

**Моногібридні та полігібридні схрещування.** Закономірності успадкування при моногібридному схрещуванні, відкриті Менделем. Алелі як структурні різновидності гена. Типи взаємодії алельних генів. Множинний алелізм. Факторіальна гіпотеза спадковості Г. Менделя та правило чистоти гамет, сформульоване У. Бетсоном. Гомозиготність і гетерозиготність. Поняття про генотип і фенотип. Статистичний характер розщеплення.

Закономірності успадкування в ди- та полігібридних схрещуваннях. Значення мейозу в реалізації правила чистоти гамет та закону незалежного успадкування.

Умови, які забезпечують та лімітують виконання законів Менделя.

**Взаємодія неалельних генів.** Моногенне та полігенне успадкування. Плейотропна (множинна) дія генів. Типи взаємодії неалельних генів. Гени-модифікатори. Особливості успадкування кількісних ознак.

Уявлення про генотип як складну систему алельних і неалельних взаємодій. Пенетрантність та експресивність.

**Хромосомне визначення статі і успадкування ознак, зчеплених зі статтю.** Статеві хромосоми, гомо- та гетерогаметна стать, типи хромосомного визначення статі. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю. Успадкування при нерозходженні статевих хромосом. Дозова компенсація генів X-хромосоми. Ознаки, обмежені статтю.

**Типи, механізми та значення кросинговеру.** Хромосомна теорія спадковості Т. Моргана. Кросинговер. Типи кросинговеру. Мітотичний кросинговер. Генетичні карти, принципи їхньої будови в еукаріотів. Інтерференція, її типи. Молекулярний механізм кросинговеру. Генна конверсія. Цитологічні карти. Співставлення генетичних та цитологічних карт. Фактори, що впливають на частоту кросинговеру. Значення кросинговеру як одного з механізмів виникнення комбінативної мінливості.

**Закономірності нехромосомного успадкування.** Закономірності нехромосомного успадкування. Материнський ефект цитоплазми. Пластидна спадковість. Мітохондріальна спадковість. Цитоплазматична чоловіча стерильність у рослин. Інфекційні фактори позаядерної спадковості.

Взаємодія ядерних та позаядерних генів. Поняття про керуючу систему клітини. Значення вивчення нехромосомного успадкування.

**Особливості успадкування у прокаріотів.** Організація генетичного апарату бактерій. Генетична рекомбінація у прокаріотів. Кон'югація у бактерій. Статевий фактор у кишкової

палички, його роль. Генетична рекомбінація при трансформації. Трансдукція у бактерій. Використання кон'югації, трансформації та трансдукції для генетичного картування. Уявлення про плазмиди, епісоми, мігруючі елементи генома (інсерційні послідовності, транспозони), їхня роль у перенесенні генетичної інформації. Успадкування через інфекцію. Плазмідне успадкування.

### **3. Мінливість.**

**Типи мінливості. Спадкова мінливість.** Поняття про спадкову і неспадкову мінливість.

Модифікаційна мінливість. Комбінативна мінливість, механізми її виникнення, роль у еволюції і селекції.

Мутаційна мінливість. Мутаційна теорія Г. де Фріза. Класифікації мутацій. Спонтанний та індукований мутаційний процес.

**Генні і хромосомні мутації.** Класифікація генних мутацій. Загальна характеристика молекулярної природи виникнення генних мутацій. Класифікація хромосомних перебудов та механізми їх виникнення. Особливості мейозу при різних типах хромосомних перебудов. Ефект положення гена. Вплив різних типів перебудов на життєздатність організмів та їх значення для еволюції геномів.

**Геномні мутації.** Геномні зміни: поліплоїдія, гаплоїдія, анеуплоїдія. Механізми виникнення, особливості мейозу та характер успадкування при різних типах геномних мутацій. Автополіплоїдія, алополіплоїдія. Використання поліплоїдів, гаплоїдів, анеуплоїдів у селекційному процесі.

**Генетичні процеси на рівні організму та популяції.**

**Генетика розвитку.** Онтогенез як реалізація спадково детермінованої програми розвитку.

Стабільність генома й диференціальна активність генів у процесі індивідуального розвитку. Тканиноспецифічна активність генів. Функціональні зміни хромосом у онтогенезі. Фактори, що визначають прояв ознак у онтогенезі.

**Популяційна та еволюційна генетика.** Поняття про частоти генів і генотипів в популяції. Закон Харді-Вайнберга, можливості його використання. Генетична гетерогенність популяцій. Фактори динаміки генетичного складу популяції. Поняття про внутрішньопопуляційний генетичний поліморфізм і генетичний тягар. Значення генетики популяцій для медичної генетики, селекції, вирішення проблем збереження генофонду і біосфери.

### **4. Молекулярна організація генетичних процесів.**

**Структура і функції гена.** Розвиток уявлень про складну будову гена. Функціональний і рекомбінаційний критерії алелізму. Множинний алелізм.

Ген як одиниця функції, одиниця мутації та рекомбінації. Тонка будова генів та молекулярно-генетичні підходи в її дослідженні. Перекриття генів на одній ділянці ДНК. Інtron-екзонна організація генів еукаріотів.

**Молекулярна організація геномів.** Загальний принцип організації генетичного матеріалу. Параметри, за якими характеризують організацію геному. Геноми вірусів. Бактеріальні геноми. Геноми еукаріотів. Нуклеосома та її будова. Особливості компактизації геномів прокаріотів та еукаріотів.

Надлишковість геному еукаріотів. Типи нуклеотидних послідовностей, що трапляються в геномі еукаріотів. ТанDEMні повтори послідовностей ДНК. Паліндроми. Теломераза. Сателітна ДНК. Кластери генів, псевдогени. Складні локуси. Регуляторні послідовності. Спейсери. Поняття про біоінформатику або комп'ютерну молекулярну генетику.

**Механізми реалізації генетичної інформації.** Транскрипція. Промотори і термінатори. Транскриптон. Цикл ДНК-залежної транскрипції. Процесинг первинних транскриптів. Механізми сплайсингу, альтернативний сплайсинг, транссплайсинг. Особливості реплікацій-транскрипції геномів РНК-вірусів.

Трансляція. Молекулярна організація рибосом. Механізми трансляції.

**Механізми контролю та регуляції молекулярно-генетичних процесів.** Генетичний контроль і молекулярні механізми реплікації. Полігенний контроль процесу реплікації. Схема подій у реплікаційній вилці. Поняття про реплікон. Особливості організації та реплікації

хромосом еукаріотів. Система рестрикції та модифікації.

Проблеми стабільності генетичного матеріалу. Типи репараційних процесів. Механізми ексцизійної і постреплікаційної репарації. Фотореактивація та репаративний синтез ДНК. Роль репараційних систем у забезпеченні генетичних процесів.

Генетичний контроль мутаційного процесу. Механізми спонтанного мутагенезу, гени мутатори й антимутатори. Механізм дії аналогів азотистих основ, азотистої кислоти, акридинових фарб, важких металів та інших хімічних мутагенів.

Різноманітність молекулярних механізмів регуляції дії генів. Основні шляхи регуляції транскрипції. Оперонні системи регуляції. Порівняння принципів регуляції дії генів у прокариотів і еукаріотів. Транскрипційно-активний хроматин. Регуляторна роль гістонів, негістонових білків, гормонів. Особливості організації регуляторних областей генома у еукаріот.

Посттранскрипційні рівні регуляції синтезу білків.

**Позахромосомні фактори спадковості.** Розміри та структура плазмідних ДНК. Реплікація плазмід та її регулювання. Класифікація плазмід. Роль плазмід в еволюції бактерій.

Мобільні генетичні елементи (МГЕ) бактерій, їх номенклатура, розповсюдженість, будова МГЕ. IS-елементи. Вплив МГЕ на експресію генів.

Транспозони еукаріотів, їх структурні та функціональні особливості. Ретротранспозони еукаріотів.

Використання МГЕ в генетичному аналізі та конструюванні еукаріотів. Походження та еволюційне значення МГЕ.

## **5. Генетика як теоретична основа селекції та біотехнології.**

**Генетичні основи селекції.** Селекція як наука. Предмет і методи дослідження. Генетика як теоретична основа селекції. Вчення про вихідний матеріал у селекції. Поняття про сорт, породу, штам. Особливості селекції мікроорганізмів. Системи схрещування в селекції рослин і тварин. Методи добору. Генетичні маркери та їх застосування у селекції. Досягнення світової селекції та успіхи вітчизняних селекціонерів у створенні нових високопродуктивних штамів мікроорганізмів, сортів рослин і порід тварин.

**Генетична інженерія мікроорганізмів, рослин та тварин.** Мета та методологія генетичної інженерії. ДНК-технології. Основні напрями генетичної інженерії мікроорганізмів, рослин та тварин. Значення генетичної інженерії для розв'язування задач медицини, сільського господарства та біотехнології. Соціальні та етичні аспекти генетичної інженерії.

## **ЛІТЕРАТУРА**

### **Базова література**

1. Тоцький В.М. Генетика.- Одеса: Астропринт, - 2008.-712 с.
2. Молекулярна генетика та технології дослідження генома: навч. посіб./ М.І.Гиль, О.Ю.Сметана, О.І.Юлевич та ін. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015.-320 с.
3. Січняк О.Л. Генетика. - Херсон:ОЛДІ-ПЛЮС, 2018.-148 с.
4. Генетика: підручник/ А.В. Сиволоб, С.Р.Рущковський, С.С.Кир'яченко та ін.; за ред. А.В.Сиволоба. - К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 320 с.
5. Карпов О.В., Демидов С.В., Кир'яченко С.С. Клітинна та гена інженерія: Підручник - К.: Фітосоціоцентр, 2010. – 208 с.
6. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Кунах В. А. Біотехнологія рослин : підручник. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2003. - 520 с.

### **Допоміжна**

7. Генетика: навчально-методичний посібник / укладач І.О. Комарова. 2021р., 83с. <http://surl.li/ckqqlg>
8. Зінченко М. О. Генетика з основами селекції: методичні вказівки для практичних занять, 2020. - [https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/18689/1/genet\\_metod\\_2020.pdf](https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/18689/1/genet_metod_2020.pdf).
9. Зарицька О. "Спадкові захворювання, причини їх виникнення та методи дослідження." (2018).- <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/20157/1/Zarytska.pdf>
10. Молекулярна біологія: підручник/ А.В.Сиволоб. - К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 287 с.

11. Молекулярна організація хромосом: навч. посіб./А.В.Сиволоб, К.С.Афанасьєва. – К.:Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2014. – 287 с.
12. Орлюк А.П. Генетичний аналіз (в рослинництві). - Херсон:ОЛДІ-ПЛЮС, 2019.-218 с.
13. Стрельчук С.І., Демідов С.В., Бердишев Г.Д., Голда Д.М. Генетика з основами селекції. – Київ: Фітосоціоцентр, - 2000.-292 с.
14. Терновська Т.К. Генетичний аналіз: навч. прсіб. З курсу «Загальна генетика». – к.: Вид.дім «Києво-Могилянська академія», 2010. – 335 с.
15. Шевчук Т. Я., Коржик О.В., Коцан І.Я. "Сучасні проблеми спадковості: Конспект лекцій." (2020). - <http://surl.li/ckqlr>
16. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология. М., Мир, 2002.
17. Russel R.J. Essential Genetics. Pearson Education, - 2003.-614 p.
18. Weaver R., Hedrick W. Genetics: Third edition. – Wm. C. Brown Publishers, - 1997.-638 p.



**ТИПОВА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**«ПРОЦЕСИ, АПАРАТИ ТА УСТАТКУВАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**  
**ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»**

**Частина 1. Основні процеси і апарати технологічних виробництв**

**1. Вступ**

Зміст і завдання дисципліни. Класифікація основних технологічних процесів. Основні закони, яким підпорядковані технологічні процеси. Загальні принципи аналізу та розрахунку процесів і апаратів. Основи раціональної побудови апаратів. Методи інтенсифікації процесів біотехнологічних виробництв. Технології, що застосовуються в біотехнологічних виробництвах

**2. Моделювання та оптимізація процесів і апаратів.**

Класифікація моделей. Теореми і критерії подібності. Способи опрацювання експериментальних даних. Суть, переваги та недоліки математичного моделювання.

**3. Основи гідравліки.**

Гідростатика. Основні поняття та визначення. Фізичні властивості рідини. Розподіл тиску по об'єму рідини. Закон Паскаля. Диференційні рівняння рівноваги Ейлера. Основне рівняння гідростатики. Практичне застосування основного рівняння гідростатики. Гідродинаміка. Основні поняття та визначення. Характеристики руху рідин. Рівняння нерозривності потоку. Диференційні рівняння руху Ейлера та Нав'є-Стокса. Рівняння Бернуллі. Практичне застосування рівняння Бернуллі. Визначення витрат рідини і середньої швидкості в круглій трубі. Формула Пуазейля. Гідродинамічна подібність. Гідравлічний опір в трубопроводах. Рух тіл в рідинах. Турбулентний рух. Структура потоку. Товщина в'язкого підшару. Втрати напору по довжині. Гідравлічна шорсткість труб. Особливості гідравлічного розрахунку трубопроводів для транспортування рідин. Гідравлічний удар в трубах. Рух рідини через зернисті та пористі шари. Гідродинаміка киплячих зернистих шарів.

**4. Переміщення рідин та газів.**

Гідравлічні машини та їх класифікація. Схема насосної установки. Насоси. Основні параметри насосів. Будова і принцип дії відцентрових та поршневих насосів. Визначення робочих точок. Регулювання подачі рідини відцентровим насосом. Поршневі ротаційні, водокільцеві насоси, принцип їх дії, розрахунок продуктивності, ККД. Типи вентиляторів, газодувок, компресорів. Загальні відомості.

**5. Механічні та гідромеханічні процеси.**

Механічні процеси та їх класифікація. Подрібнення, сортування, пресування, гранулювання. Основні типи і принцип роботи подрібнювачів (дробарок).

Гідромеханічні процеси. Перемішування. Механічне перемішування. Оцінка ефективності, поточне і пневматичне перемішування. Будова і розрахунок мішалок. Витрати енергії на перемішування. Класифікація неоднорідних систем і способи їх розділення. Осадження. Загальна характеристика. Загальне рівняння швидкості осідання (Рівняння Архімеда, Ляшенка, Стокса). Закономірності осаджування у відцентровому полі. Фактор розділення. Періодичні та безперервні відстійники, їх розрахунок. Принцип роботи відстійних і фільтрувальних центрифуг. Фільтрування. Класифікація способів фільтрування. Основні рівняння фільтрування. Конструкції фільтрів. Конструкції та розрахунок фільтрів. Розрахунок продуктивності за сталої швидкості фільтрування і за сталому перепаді тисків. Центрифугування. Відцентрове фільтрування. Відцентрова сила і фактор розділення. Процеси у відстійних та фільтрувальних центрифугах. Будова надцентрифуг та рідинних сепараторів. Розрахунок центрифуг. Очищення газів. Класифікація газових неоднорідних систем і способи їх розділення. Фільтрування газів (димів). Механічне, мокре і електричне очищення. Скрубер Вентурі.

**6. Теплові процеси.**

Методи поширення тепла в просторі. Теплові баланси. Передача тепла теплопровідністю, тепловим випромінюванням. Конвективний теплообмін. Теплопередача. Нестационарний теплообмін. Нагрівання. Способи нагрівання, гріючі агенти. Охолоджувальні агенти. Способи охолодження та конденсації. Конструкції теплообмінників. Гідравлічний розрахунок теплообмінників. Одноходові, багатходові кожухотрубні, трубчасті, типу «труба в трубі», змійовикові, зрошувальні та пластинчасті теплообмінники. Особливості конструкції та розрахунок теплообмінних апаратів. Випарювання. Однокорпусні випарні установки.

Матеріальні та теплові баланси. Плівкові та роторні випарні установки. Розрахунок випарних установок.

## **7. Масообмінні процеси.**

Масообмінні процеси. Основні закони дифузії (молекулярна, конвективна). Способи інтенсифікації. Масовіддача і масопередача. Рівновага при масопередачі. Швидкість масопередачі. Рушійна сила. Масопередача з твердою фазою. Сорбція, абсорбція. Загальні відомості. Конструктори абсорберів. Адсорбція, іонообмінні процеси. Загальні відомості. Перегонка та ректифікація. Види перегонки. Проста перегонка. Дефлегмація. Флегмове число. Матеріальний баланс простої перегонки. Ректифікаційні апарати. Азеотропна ректифікація. Екстракція в системі рідина-рідина. Рівновага в системі рідина-рідина. Методи екстракції. Будова та розрахунок екстракційних апаратів. Екстракція в системі «тверде тіло-рідина». Мацерація (статична екстракція) та екстракція в атмосфері газів (вуглекислий, азот, аргон). Способи розчинення та вилуговування. Конструкції та розрахунок екстракційних апаратів. Сушіння. Основні параметри вологого повітря. I-X діаграма вологого повітря. Рівновага при сушінні. Матеріальний і тепловий баланс сушіння. Визначення параметрів повітря і тепла на сушіння. Варіанти процесів сушіння. Швидкість сушіння. Конструкції та розрахунок сушарок (сублімаційні, пневматичні, розпилювальні.) Кристалізація та розчинення. Загальні відомості. Способи ведення та інтенсифікація процесу.

## **Частина 2. Інженерна реалізація технологічних процесів.**

### **1. Вступ**

Класифікація біотехнологічних процесів за технологічними ознаками, способи їх реалізації. Загальні методи біотехнології та апаратура для процесів біосинтезу.

### **2. Реалізація процесів біосинтезу**

Статика процесів біосинтезу. Розрахунок матеріальних балансів процесів біосинтезу. Інтегральні стехіометричні рівняння процесів. Математичні моделі росту біомас і синтезу цільових продуктів. Розрахунок об'ємів ферментаційної апаратури за моделями Мальтуса, Моно-Ієрусалімського, Ферхюльста у періодичних процесах, а також безперервних процесах (одно- і багатоступеневе гомогенне культивування, від'ємно-доливний спосіб, культивування з рециркуляцією біомаси). Розрахунок теплового ефекта біосинтезу. Розрахунок теплової потужності, що виникає при синтезі біомаси (визначення тепловиділень, що виникають при синтезі біомаси, у статистиці і динаміці). Тепловий ефект від перемішування культуральної рідини і розрахунок потрібної площі теплообміну. Експериментальні методи визначення теплової потужності. Розрахунковий метод визначення теплової потужності, що передається культуральній рідині від перемішувального пристрою на основі його розрахунку залежно від потреби в кисні. Пневматичне перемішування: Розрахунок енергії, що передається на перемішування з газовою фазою. Масштабування процесів перемішування. Типи та розрахунок теплообмінних пристроїв ферментерів. Порядок розрахунку теплообмінного пристрою ферментера.

### **3. Особливості масоперенесення кисню під час біосинтезу**

Схема транспорту кисню з повітря у клітину. Рівняння матеріального балансу ферментера за киснем і його розв'язання. Вплив концентрації кисню на швидкість росту мікроорганізмів. Поняття про критичну концентрацію кисню. Шляхи інтенсифікації процесу біосорбції кисню. Методи вимірювання концентрації розчиненого кисню. Об'ємний коефіцієнт масопередачі за киснем під час культивування мікроорганізмів, експериментальні методи його визначення (динамічний, інтегральний, балансовий, дегазування, сульфідний). Час гомогенізації. Мікро- і макроперенесення. Вплив питомої поверхні контакту фаз (газ-рідина, рідина-клітина) на швидкість сорбції кисню. Особливості масоперенесення під час барботажної аерації і пневмомеханічного перемішування. Критерії масштабування ферментаторів.

### **4. Передферментаційні процедури**

Типова апаратура для підготовки поживних середовищ. Типове обладнання для транспортування і дозування сипких матеріалів. Обладнання для транспортування і дозування рідких матеріалів. Стерилізаційні процедури. Теоретичні основи загибелі мікроорганізмів у процесі теплового оброблення поживних середовищ. Періодична і безперервна стерилізація. Інженерна реалізація способів стерилізації апаратури та комунікації. Вибір лінії УНС і технологічні розрахунки лінії. Апаратура для стерилізації поживних середовищ, що

використовуються для поверхневої ферментації. Методи стерилізації повітря під час культивування мікроорганізмів. Розрахунок потреб культури продуцента БАР у розчиненому повітрі. Механізми зсідання частинок, які забезпечують тонке очищення повітря: інерційний, дифузійний, захоплення, седиментація, електроосадження. Розрахунок коефіцієнтів осаження для різних механізмів осаження. Типи фільтрувальних матеріалів для стерилізації повітря, їх вибір. Розрахунок висоти набивного фільтра для стерилізації повітря залежно від обраного критерію стерилізації, фільтрувального матеріалу і швидкості руху повітря у фільтрі. Апаратура для стерилізації аераційного повітря. Вирощування посівного матеріалу. Апарати для вирощування інокуляту.

### **5. Основні конструкційні схеми ферментаційної апаратури**

Ферментаційне обладнання. Типи ферментерів за особливістю процесу біосинтезу. Класифікація ферментерів за конструкцією, способом введення енергії та перемішування. Реактори ідеального змішування і витиснення. Конструкції ферментерів ємкісного типу з електроперемішувальними пристроями. Ферментери з пневматичним перемішуванням. Інші конструкції ферментерів для глибинного культивування продуцентів. Типова обв'язка ферментера для глибинної ферментації. Схеми ферментарів для поверхневої ферментації. Проблема створення апаратів великої одиничної потужності для аеробного культивування мікроорганізмів.

### **6. Піноутворення і піногасіння, регулювання рівня піни**

Фізико-хімічні методи піногасіння. Механічні методи піногасіння.

### **7. Концентрування та відділення цільових продуктів біосинтезу**

Відділення біомаси від нативного розчину. Відстоювання. Звичайне фільтрування. Оптимізація процесу фільтрування. Типові конструкції ємнісних фільтрувальних апаратів циклічної дії. Фільтр-преси з ручним вивантаженням осаду. Автоматичні фільтр-преси. Барабанні вакуум-фільтри. Стрічкові вакуум-фільтри. Інші конструкції фільтрів. Установки для зневоднення біошроту. Осадження. Центрифугування, звичайні центрифуги.

Сепарація: трубчасті сепаратори, тарілчасті сепаратори. Флотування.

### **8. Концентрування нативних розчинів**

Випарювання: технологічний розрахунок трубчастого вакуум-випарного апарата з висхідною плівкою, роторні вакуум-випарні апарати, скляні випарні апарати періодичної дії для концентрування цільових продуктів мікробіологічного синтезу. Мембранні процеси концентрування і розділення: мікрофільтрування, ультрафільтрування, нанофільтрування, зворотний осмос. Поняття про селективність і проникливість мембран. Теорія рівноваги Доннана. Класифікація мембран. Існуючі і перспективні конструкції апаратів для баромембранних процесів очищення і концентрування продуктів мікробіологічного синтезу. Дифузійні і електродифузійні процеси очищення розчинів, що містять ферменти.

### **9. Сорбційні методи вилучення цільових продуктів**

Поняття про рідинну хроматографію. Іонообмінні смоли та апаратура для іонного статичного і динамічного іонообміну. Афінна хроматографія для вилучення білків.

### **10. Оброблення нативних розчинів методами рідинної екстракції та осаження**

Апаратура для рідинної екстракції (ємнісні екстрактори з перемішуванням, системи "інжектор-розділовий сепаратор", екстракційні машини, диференційно-контактного екстрактори Подбілляка). Виділення цільових продуктів з нативних розчинів шляхом осаження.

### **11. Оброблення біомас і твердофазова екстракція**

Дезінтеграція біомас та подальша обробка дезінтегрованої біомаси. Твердофазова екстракція: апаратура (ємнісні екстрактори з перемішувальним пристроєм, перколятори тощо) та технологічні розрахунки.

### **12. Сушіння продуктів мікробіологічного синтезу**

Пневматичні, аерофонтанні сушарки і сушарки у псевдозрідженому стані. Розпилювальні сушарки, циклони. Сублімаційне сушіння. Вакуум-сушільні шафи. Вальцові сушарки. Інші типи сушарок, які застосовують в мікробіологічній промисловості. Технологічні розрахунки

сушильної апаратури.

### **13. Кондиціонування і фасування товарних продуктів мікробіологічного синтезу, допоміжні процеси і апарати**

Спеціальне подрібнення, гранулювання, змішування порошків. Автомати для фасування і упакування. Короткі відомості про машини для стискання повітря. Холодильні машини. Трубна арматура в стерильному виконанні.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

##### **Базова література**

1. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування [Текст]/Навч. посібник / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков. – Львів: «Інтелект-Захід», 2008. – 736 с.
2. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв [Текст]. Ч.І. Ферментація: Навч. посібник / Ю. І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 240 с.
3. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв [Текст]/ Ч.ІІ. Оброблення культуральних рідин: Навч. посібник/ Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 296 с.
4. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-Ч.1-416с.
5. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-Ч.2-416 с.
6. Чепурний М. М. Тепломасообмін в прикладах і задачах : навчальний посібник / М. М. Чепурний, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 128 с.
7. Лабай В. Й. Тепломасообмін / Лабай В. Й. – Львів : Тріада Плюс, 2004. – 258 с.
8. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник / М.В. Стасевич, А.О. Милянч, Л.С. Стрельников та ін.– Львів: «Новий Світ-2000», 2017. – 410 с.
9. Ружинська Л.І. Проектування реакторів змішувачів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв. Навч. посібник/Укладачі: Л.І. Ружинська, І А Буртна, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 130.
10. Карлаш Ю.В. Основи проектування біотехнологічних виробництв. [Електронний ресурс]: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» освітньо-професійної програми «Біотехнологія» денної та заочної форм навчання /Ю.В. Карлаш, Є.О. Омельчук - К: НУХТ, 2019. – 252 с. <http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/69.135.pdf>
11. Українець А.І. Проектування типового і спеціального устаткування мікробіологічної, фармацевтичної та харчової промисловості: Навч. посібник /А.І. Українець, О.Т. Богорош, В.М. Поводзинський; За заг. ред. проф. О.Т. Богороша- К.: НУХТ, 2007.-148 с.

##### **Додаткова**

1. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник / М.В. Стасевич, А.О. Милянч, Л.С. Стрельников та ін.– Львів: «Новий Світ-2000», 2017. – 410 с.
  2. Ружинська Л.І. Проектування реакторів змішувачів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв. Навч. посібник/Укладачі: Л.І. Ружинська, І А Буртна, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 130
  3. Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв. Лабораторний практикум (Частина 1) [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ., які навчаються за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія», освітньої програми «Біотехнології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. І. Ружинська, М. В. Шафаренко, О. В. Воробйова. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,31 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 76 с. (3,8 ав. арк) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41330>
- Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-2. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» освітньої програми «Біотехнології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. І. Ружинська, М. В. Шафаренко, О. В. Воробйова. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,40 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 66 с. (3,3 ав. арк) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/359>