



КРІОГЕННЕ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ У БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	16 «Хімічна інженерія та біоінженерія»
Спеціальність	162 «Біотехнології та біоінженерія»
Освітня програма	Біотехнології
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Денна
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити (120 годин) в т.ч. лекцій – 36 годин, практичні роботи – 18 годин, лабораторні --8 СРС – 58 годин.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / ДКР, МКР
Розклад занять	На сайтах http://roz.kpi.ua та https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	д.т.н., проф, зав. каф БТта І Мельник Вікторія Миколаївна 044-204-94-51, melnick.viktorij@iit.kpi.ua Практичні: ас. Косова Віра Петрівна 044-204-94-51, kosova.vera@iit.kpi.ua
Розміщення курсу	Е-Кампус, Платформа дистанційного навчання «Сікорський»

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Кріогенна техніка та технологія, або як її інакше називають кріогеніка (з грецької *krýos* – холод, *-genes* – породження) – наука про одержання (кріогенна техніка) та використання (кріогенна технологія) низьких температур. Об'єктом її дослідження є кріогенні системи. Кріогенною системою називають групу компонентів, що взаємодіють між собою та перебувають при кріогенних температурах.

Кріогеніка займається розробленням та вдосконаленням низькотемпературних технологій, процесів та обладнання. Тісно пов'язаними з нею є ряд інших наук: кріофізика (займається фундаментальними дослідженнями у кріогенній області), кріобіологія (досліджує властивості біологічних об'єктів при кріогенних температурах), кріомедицина (розробляє методи лікування з використанням кріотехнологій). Використовують кріогенні технології і у харчовій промисловості – розроблені системи безмашинного охолодження з використанням кріорідин, кріогенні методи надшвидкого заморожування, сублімаційного висушування, кріоподрібнення, кріогрануляції та ін.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є:

- Особливості поведінки біологічних матеріалів (клітин, тканин, біомолекул) при кріоконсервації.
- Конструкція, принципи роботи та застосування кріогенних систем, таких як:
 - Кріостати.
 - Кріокамери.
 - Обладнання для виробництва та зберігання рідких газів (азот, гелій, кисень).
- Технології зберігання біологічних матеріалів при низьких температурах.
- Системи контролю та регулювання температурних режимів.
- Кріоконсервація клітин, ембріонів, органів і тканин.
- Використання кріогенних технологій у виробництві вакцин, ферментів, антитіл та інших біопродуктів.
- Регенерація біологічних матеріалів після кріозберігання.
- Роль кріогенної техніки у забезпеченні стерильності та збереженні біологічної активності продуктів.
- Застосування кріогенного обладнання у фармацевтичній та харчовій промисловості.
- Методи запобігання аварійним ситуаціям, пов'язаним із низькими температурами та високим тиском.
- Вплив кріогенних умов на здоров'я людини.
- Розробка нових матеріалів та покриттів, стійких до низьких температур.
- Перспективи використання кріогенної техніки у сучасних біотехнологіях.
- Інтеграція кріогенних технологій із цифровими системами управління.

Мета вивчення дисципліни: навчити студентів основам проектування, експлуатації та використання кріогенного обладнання в біотехнологічних процесах, забезпечуючи високу якість продукції та збереження біологічних матеріалів.

Відповідно до мети підготовка бакалаврів за даною спеціальністю вимагає посилення сформованих у студентів компетентностей:

- здатність розуміти, проектувати та використовувати технології, пов'язані з низькотемпературними процесами, для збереження біологічних матеріалів, таких як клітини, тканини, органи або мікроорганізми.
- здатність працювати з обладнанням для біологічних експериментів та трансплантології, фазових переходів води, утворення кристалів льоду та їх впливу на клітинні структури.
- Здатність організувати логістику для зберігання і транспортування біологічних зразків у кріогенних умовах.
- Здатність управління ризиками: оцінка можливих ризиків під час роботи з кріогенним обладнанням (наприклад, ризик утворення льоду, витік зріджених газів) та впровадження заходів безпеки.
- Здатність експлуатації установок для кріоконсервації, кріостатів, ліофілізаторів, систем зрідження газів
- Здатність регулювати параметри (температура, тиск, швидкість охолодження) для мінімізації пошкоджень біологічних структур.
- Здатність інтегрувати кріогенні технології у виробництво: Розробка та впровадження кріогенного етапу в біотехнологічні процеси, такі як зберігання вакцин, транспортування біопрепаратів або тривале зберігання генетичного матеріалу

*Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни **Кріогенне обладнання та технології у біотехнологічних виробництвах**, студенти після її засвоєння мають продемонструвати такі програмні результати навчання:*

- Вміти оцінювати вплив кріогенних умов на біологічні об'єкти (клітини, білки, ДНК, органели).

- Вміти застосовувати процедурні основи кріозбереження клітин, тканин і мікроорганізмів, зокрема контрольованого заморожування та відтавання.
- Вміти застосовувати математичні моделі для прогнозування та покращення роботи кріогенних систем.
- Вміти використати знання про основи кріогенної техніки: принципи роботи з низькотемпературними системами, зберігання біологічних матеріалів при кріогенних температурах.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна **Кріогенне обладнання та технології у біотехнологічних виробництвах**, допомагає інтегрувати знання, отримані при вивченні фахових дисциплін та природничо-наукової підготовки (біологія, фізика, хімія, , процеси і апарати біотехнологічних виробництв) і використовувати їх у майбутній професійній діяльності. Вказана дисципліна є одною з визначальних у підготовці майбутнього бакалавра з біотехнології і біоінженерії: знання, одержані при вивченні цієї дисципліни, знадобляться для подальших досліджень у біотехнологічній галузі.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ. Кріоушкодження біоб'єктів при низьких температурах. Кріогенні системи.

- Тема 1.1. Кріошкодження клітин при повільному та швидкому замороженні.
- Тема 1.2. Вода в температурній стабілізації біополімерів, клітин та тканин.
- Тема 1.3. Структура та фізико-хімічні властивості льоду.
- Тема 1.4. Заморожування біоб'єктів: механізми та динаміка процесів кристалоутворення.
Зворотні термодинамічні цикли.
- Тема 1.5. Кріопротектори і кріоконсерванти.
- Тема 1.6. Кріобіохімія ферментів та ферментних систем.
- Тема 1.7. Низькотемпературні зміни плазматичних мембран.
Структура, функції та моделі мембран.
Модифікація мембранних білків.
Модифікація ліпідів мембран.
Температурно-залежні зміни мембран внутрішньоклітинних органел.
Температурний шок клітини.
Методи дослідження мембран.

Розділ 2. Кріоконсервація клітинних суспензій людини та тварини. Компресійні холодильні машини.

- Тема 2.1. Кріоконсервація клітин крові. Зберігання та транспортування термолабільних лікарських засобів, біоматеріалів та кріорідин.
- Тема 2.2. Кріоконсервація імунокомпетентних клітин.
- Тема 2.3. Кріоконсервація репродуктивних клітин тварин.
- Тема 2.4. Низькотемпературна консервація мікроорганізмів та низших еукаріот.
- Тема 2.5. Методи оцінки життєздатності деконсервованих клітин.
- Тема 2.6. Методи відігріву заморожених біоб'єктів.

Розділ 3. Консервація тканин та органів. Кріогенне обладнання в біотехнології.

- Тема 3.1. Гіпотермічна консервація тканин та органів.
- Тема 3.2. Низькотемпературна консервація органів.
- Тема 3.3. Апаратура для консервації органів.
- Тема 3.4. Методи оцінки життєздатності консервованих органів і тканин.
- Тема 3.5. Основи сублімаційної консервації.
Заморожування біоматеріалу.
Сублімаційне сушіння.

Технологічний процес сублімаційної консервації.
Апаратура та обладнання сублімаційного сушіння.

Базова література

1. Кріогенна техніка: основи теорії і розрахунку циклів кріогенних установок : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв, В. М. Козін. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 272 с
2. Холодильні технології [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. В. Шутюк, О. С. Бессараб, О. В. Бендерська (Дущак), В. І. Ємцев ; Нац. ун-т харч. технологі. Київ : НУХТ, 2022. 172 с. : іл., табл. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONANT.2058459>
3. Техніка і технологія транспортування та зберігання зріджених газів (Основи теорії та розрахунку циклів транспортних низькотемпературних машин) [Електронний ресурс] : навч. посіб. до практ. занять та самост. роботи / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, А. В. Мошкатюк ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. кріогенної техніки. — Одеса: ОНТУ, 2022. — 98 с. — Електрон. Текст. <https://elc.library.ontu.edu.ua/libraryw/DocumentDescription?docid=OdONANT.1813689>
4. Морозюк Л.І., Соколовська-Єфименко В.В, Гайдук С.В., Грудка Б.Г. Холодильні машини спеціального призначення: посібник до практичної та самостійної роботи. – Одеська національна академія харчових технологій, 2018. – 45 с.

Додаткова

1. Біляков В.П. Кріогенна техніка та технологія.- Київ:Колос,2004 - 272 с. Архаров А.М. Кріогенні системи,- Київ: Висш. шк., 2004 - 464 с
2. Мікулін Є.І. Кріогенна техніка.- Київ:Наук.думка, 1998.- 270 с.
3. Глізманенко Д.Л. Отримання кисню.- Київ:Наук.думка, 1990.- 750 с.
4. Головка Г.А. Установки для виробництва інертних газів.- Київ:Колос,2006.-384 с.
5. Алтунін В.В. Теплофізичні властивості CO₂.- Київ:Наук.думка,1994.- 551 с.
6. Фастовский В.Г. Кріогенна техніка, - Київ:Наук.думка, 2007.- 496 с.
7. Баррон Р.Ф. Кріогенні системи.- Київ:Колос,2006.- 408 с.

Інформаційні ресурси

1. <https://ecotech.news/iryna-kovalchuk.html>
2. https://ecotech.news/technology/383-shtuchnij-intelekt-neminuche-stane-novim-vidom-rozumnikh-istot.html#google_vignette

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни **Кріогенне обладнання та технології у біотехнологічних виробництвах**, рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі лекції творчої роботи студентів спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійно-ділових якостей і розвиток у них самостійного творчого мислення;

- формування у студентів необхідного інтересу та надання напрямку для самостійної роботи;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітко і адекватне їх формулюваннях);
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, по можливості їх з демонстрацією результатів і зразків;
- викладання матеріалів лекцій чіткою і якісною мовою з дотриманням структурно-логічних зв'язків, роз'яснення всіх нововведених термінів і понять;
- доступність для сприйняття даною аудиторією.

4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань	Годин
1	Розділ 1. Вступ. Кріоушкодження біоб'єктів при низьких температурах. Тема 1.1. Кріпошкодження клітин при повільному та швидкому замороженні. Лекція 1-2. Пусковий механізм кріпошкодження. Позаклітинна кристалізація. Внутрішньоклітинна кристалізація. Рекристалізація. Евтектична кристалізація. Механічні ушкодження. Ефекти концентрованих розчинів. Дегідратація – регідратація. Фазові переходи мембран. Зміна концентрації водневих іонів (рН). Електростатичні ефекти. Сульфгідрильна гіпотеза. Температурний шок. Постгіпертонічний лізис. Перекисне окислення. Двофакторна теорія кріпошкодження. СРС – Мультифакторна теорія кріпошкодження. Фактори кріпошкодження біоб'єктів	4
2	Тема 1.2. Вода в температурній стабілізації біополімерів, клітин та тканин. Тема 1.3. Структура та фізико-хімічні властивості льоду. Лекція 3. Властивості та агрегатні стани води. Структура води у рідкому стані. Стан води у біологічних об'єктах. Властивості води в біополімерах, мембранах, клітинах та тканинах. Дегідратація біоб'єктів. Дія низьких температур на обезводнені об'єкти. Евтектична точка розчинів та кристалізація. Кристалізація води при заморожуванні. Форми води у твердому стані. СРС – Механізми та особливості кристалізації води при різних швидкостях заморожування. Ефективність кріогенних систем	2
3	Тема 1.4. Заморожування біоб'єктів: механізми та динаміка процесів кристалоутворення. Зворотні термодинамічні цикли. Лекція 4. Основні швидкісні режими заморожування. Повільне заморожування. Технічне здійснення заморожування. Температурний аналіз процесу заморожування у часі. евтектика. Модифікація евтектики кріопротекторами. Швидке заморожування. Оптимальна швидкість охолодження. Відігрів. Особливості глибини заморожування. Устаткування для заморожування та кріоконсервації. СРС - Багатоетапне заморожування. Надшвидке заморожування. Вітрифікація (склювання).	2
4	Тема 1.5. Кріопротектори і кріоконсерванти Лекція 5. Класифікація кріопротекторів. Загальні властивості кріопротекторів. Характеристика ефективних кріопротекторів. Гліцерин. Диметилсульфоксид (ДМСО). Диметилацетамід (ДМАЦ). Пропіленгліколь (1,2-Пропандіол). Поліетиленгліколь (Поліетиленоксид). Декстран. Гідроксіетилкрохмаль (ГЕК). Оксиетильований гліцерин (ОЕГ). Загальні відомості про кріоконсерванти та	2

	підходи до їх створення. Кріоконсерванти для заморожування клітин крові. Кріоконсерванти для заморожування спермій тварин. Кріоконсерванти для заморожування мікроорганізмів. СРС – Кріоконсерванти для заморожування різних тканин та органів. Питома теплоємність речовин. Теплопровідність кріорідин	
5	Тема 1.6. Кріобіохімія ферментів та ферментних систем. Лекція 6. Вплив низьких температур на ізольовані ферменти. Кріочутливість ферментів у складі мембран та клітин СРС - Холодильні машини за циклом Лінде.	2
6	Тема 1.7. Низькотемпературні зміни плазматичних мембран. Лекція 7. Структура, функції та моделі мембран. Модифікація мембранних білків. Модифікація ліпідів мембран. Температурно-залежні зміни мембран внутрішньоклітинних органел. Температурний шок клітини. Методи дослідження мембран.	2
7	Розділ 2. Кріоконсервація клітинних суспензій людини та тварини. Компресійні холодильні машини. Тема 2.1. Кріоконсервація клітин крові. Лекція 8 Кріоконсервація тромбоцитів. Кріоконсервація лейкоцитів. Методи низькотемпературної консервації еритроцитів. Обладнання та склад кріоконсервантів для заморожування еритроцитів. СРС – Моделі кріоморозильних камер, їх використання, технічні характеристики	2
8	Тема 2.2. Кріоконсервація імунокомпетентних клітин. Тема 2.3. Кріоконсервація репродуктивних клітин тварин. Лекція 8-9. Кріоконсервування еритроцитів ссавців. Ціль кріоконсервування. Особливості структури та функцій. Особливості будови мембран. Форма еритроцитів. Кріопошкодження еритроцитів. Методи кріоконсервування еритроцитів тварин на основі проникаючих кріопротекторів. Методи кріоконсервування еритроцитів тварин на основі непроникних кріопротекторів. Кріоконсервування кісткового мозку. Клітинний склад кісткового мозку. Застосування кріоконсервованих ККМ у ветеринарії. Методи кріоконсервування ККМ. Отримання та процедура заморожування клітин кісткового мозку. Кріоконсервування ККМ під захистом гліцерину. Захисні властивості гліцерину. Кріоконсервування ККМ під захистом ДМСО. Кріоконсервування ККМ під захистом ПЕО-400. СРС - Ефективність кріопротекторів та чутливість популяцій клітин.	4
9	Тема 2.4. Низькотемпературна консервація мікроорганізмів та низших еукаріот. Лекція 10. Світ бактерій та його роль у життєдіяльності людини. Методи визначення життєздатності мікроорганізмів. Застосування кріоконсервування для депонування мікроорганізмів у колекціях. Кріоконсервування мікроорганізмів на етапах біотехнологічних виробництв. Кріоконсервування бактерій. Кріоконсервування грибів. СРС - Кріоконсервування вірусів.	2
10	Тема 2.5. Методи оцінки життєздатності деконсервованих клітин. Тема 2.6. Методи відігріву заморожених біоб'єктів. Лекція 11-12. Дія заморожування-обігріву на тканини та органи. Проблема заморожування органів. Кріоконсервування рогівки. Кріоконсервування кісткової тканини. Кріоконсервування хряща. Кріоконсервування шкіри.	4

	Кріоконсервування судин. Кріоконсервування кінцівок. Кріоконсервування ендокринних органів. Щитовидна залоза. Надниркові залози. Острівці Лангерганса. Чоловічі гонади. Оваріальна тканина. СРС - методи роботи заморожування та довгострокового зберігання біоматеріалу	
11	Розділ 3. Консервація тканин та органів. Кріогенне обладнання в біотехнології. Тема 3.1. Гіпотермічна консервація тканин та органів. Лекція 13. Трансплантація. Актуальність гіпотермічного зберігання. Два види низькотемпературних впливів та їх наслідки. Основні показники гіпотермії. Фізико-хімічні причини ушкоджень біоб'єктів при гіпотермії. Порушення біологічних властивостей. Глибина ушкоджень біоб'єктів при гіпотермії. Дія гіпотермії на клітини, тканини та органи. Основні причини ушкоджень. Дія гіпотермії на ферменти та метаболізм. СРС - Середовища та апаратура для гіпотермічного зберігання.	2
12	Тема 3.2. Низькотемпературна консервація органів. Лекція 14. Низькотемпературне зберігання органів та тканин. Просте гіпотермічне зберігання печінки. Просте гіпотермічне зберігання та гіпотермічна перфузія для нирок. Гіпотермія серця. Гіпотермічне зберігання рогівки. Гіпотермічне зберігання шкіри. СРС - Гіпотермічне зберігання кінцівок.	2
13	Тема 3.3. Апаратура для консервації органів. Лекція 15. Спеціальне обладнання, необхідне для забору органів, їх транспортування та гіпотермічного зберігання. Установка Бельцера, камера для консервації органів «Вікерс». Кріобанк. Інфраструктура кріобанку та етапи підготовки біоматеріалу. Система забезпечення безпеки криозберігання. Розвиток принципів організації та структури кріобанків. Обладнання та інвентар кріобанку. Судини Дьюара. Кріобанк ІПКіК. Кріобанк клітинних культур Національного Наукового Центру «Інститут експериментальної та клінічної ветеринарної медицини» НААН України, м. Харків. Кріобанк ННЦ «ІЕКВМ» «Колекції збудників інфекційних хвороб тварин». СРС - Контейнери для заморожування та зберігання біологічних зразків.	2
14	Тема 3.4. Методи оцінки життєздатності консервованих органів і тканин. Лекція 16. Вступ: Значення проблеми збереження органів і тканин. Роль трансплантології та біомедицини. Основні вимоги до методів оцінки життєзабезпечення. Біологічні основи життєзабезпечення органів: Метаболічні потреби клітин і тканин. Критичні параметри (кисень, температура, поживні речовини). Вплив часу зберігання на життєздатність. Фізіологічні показники оцінки: Споживання кисню та рівень вуглекислого газу. Баланс електролітів та рН середовища. Біоенергетичні параметри (АТФ, редокс-потенціал). Морфологічні методи: Мікроскопічні дослідження клітинної структури. Виявлення некрозу, апоптозу, дистрофічних змін. Використання гістологічних та імуногістохімічних методів. Біохімічні та молекулярні методи: Визначення активності ферментів. Дослідження маркерів ушкодження клітинних мембран. Аналіз експресії генів та білків, пов'язаних із виживанням клітин. Функціональні тести: Перфузійні моделі для оцінки органів. Відновлення функцій після розморожування чи трансплантації. Тестування скорочувальної, секреторної чи метаболічної	2

	активності. Фактори, що впливають на результати оцінки: Температура та умови консервації. Використання кріопротекторів. Час від забору до оцінки. Практичне значення методів оцінки: Підвищення ефективності трансплантацій. Оптимізація протоколів зберігання. Зменшення відсотка відторгнень. Комплексний підхід до оцінки життєздатності органів і тканин. СРС - Інструментальні та сучасні технології: Використання ультразвуку, МРТ, біосенсорів. Неінвазивний моніторинг життєздатності органів. Чіп-технології.	
15	Лекція 17. МКР	2
16	Тема 3.5. Основи сублімаційної консервації. Лекція 17. Заморожування біоматеріалу. Сублімація – поняття та термінологія. Основні визначення та термінологія. Переваги сублімаційного сушіння Традиційні галузі застосування сублімаційного сушіння. Теоретичні основи сублімаційного сушіння. Фізичні принципи сублімаційного сушіння. Заморожування біологічного матеріалу. Висушування. Умови, що визначають тривалість сублімаційного сушіння. Технологічний процес. Основні етапи технологічного процесу сублімаційного сушіння. Заморожування як етап підготовки матеріалу до подальшого сушіння сублімацією. Сублімаційне сушіння матеріалу. Інтенсифікація процесу сушіння. Досушування продукції. Технологічні вимоги до упаковки готової продукції та умов зберігання. Технічна база реалізації технології сублімаційного сушіння. Загальні принципи конструкції та порядок роботи апаратів для сублімаційного сушіння. Керовані параметри процесу сушіння сублімації. Контролює вакуум і температуру в установках для сублімаційного сушіння. СРС — Сублімаційне висушування	2
	Всього годин	36

Практичні заняття

У системі професійної підготовки студентів по дисципліні ***Кріогенне обладнання та технології у біотехнологічних виробництвах***, практичні заняття займають 35 % аудиторного навантаження. Будучи доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра по спеціальності біотехнології. Зміст цих занять і методика їх проведення повинні забезпечувати розвиток творчої активності особистості. Вони розвивають наукове мислення і здатність користуватися спеціальною термінологією, дозволяють перевірити знання, Тому даний вид роботи виступає важливим засобом оперативного зворотного зв'язку.

Основні завдання циклу практичних занять:

- допомогти студентам набутти навичок розрахунку холодильної та кріогенної техніки
- вміння проектувати кріотрубопроводи.
- застосовувати сучасні методи тепломасообміну при заморожуванні та збереженні харчових продуктів;
- вміння розраховувати та проектувати кріогенні системи скраплення та розділення газових сумішей;
- розрахункові моделі на моделювати перспективі конструкції та схеми;
- допомогти студентам систематизувати, закріпити і поглибити знання теоретичного характеру в області Кріогенного обладнання та проектування біотехніки біотехнологічних виробництвах;

- *формувати вміння вчитися самостійно, тобто опановувати методами, способами і прийомами самонавчання, саморозвитку і самоконтролю.*

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	Розділ 1. Вступ. Кріоушкодження біооб'єктів при низьких температурах. Кріогенні системи. Тема 1.4. Заморожування біооб'єктів: механізми та динаміка процесів кристалоутворення. Зворотні термодинамічні цикли. Практичне заняття 1. Оцінювання ексергетичної ефективності циклів підвищувальних термотрансформаторів [2]	2
2	Практичне заняття 2. Розрахунок системи зрідження з одноразовим дроселюванням і попереднім охолодженням [2]. СРС - розрахунок системи Клода	2
3	Практичне заняття 3. Розробка протоколу низькотемпературного кріоконсервування. Загальні напрямки [2]	2
4	Практичне заняття 4. Тепловий розрахунок посудини Дюара [2]	2
5	Практичне заняття 5. Фазові перетворення, що відбуваються в кріозахисних середовищах на етапах охолодження-нагрівання [2]	2
6	Розділ 2. Кріоконсервація клітинних суспензій людини та тварини. Компресійні холодильні машини. Тема 2.1. Кріоконсервація клітин крові. Зберігання та транспортування термолабільних лікарських засобів, біоматеріалів та кріорідин Практичне заняття 6. Модифікація структурно-функціонального стану клітин після кріоконсервування	2
7	Практичне заняття 7. Розрахунок кріогранулятора	2
8	Практичне заняття 8. Проектування конструкції та розрахунок гелієвих кріостатів [1, 5].	2
9	Розділ 3. Консервація тканин та органів. Кріогенне обладнання в біотехнології. Тема 3.5. Основи сублімаційної консервації. Практичне заняття 9. Сублімаційне сушіння. Розрахунок обладнання для сублімаційного сушіння. [1, 5]	2
	Всього годин	18

Лабораторні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	Розділ 2. Кріоконсервація клітинних суспензій людини та тварини. Компресійні холодильні машини. Тема 2.1. Кріоконсервація клітин крові. Зберігання та транспортування термолабільних лікарських засобів, біоматеріалів та кріорідин. Лабораторне заняття 1. Аналіз ризиків. Контроль температури в кріогенних системах. Вимірювання стабільності температурного режиму [2]	2
2	Лабораторне заняття 2-3. Калібрування та точність вимірювань у наднизьких температурних діапазонах. Ознайомлення з кріобіологічним обладнанням. Ознайомлення з безпечними умовами експлуатації. Дослідження впливу циклів заморожування-розморожування на біооб'єкти	4
3	Розділ 3. Консервація тканин та органів. Кріогенне обладнання в біотехнології. Тема 3.5. Основи сублімаційної консервації. Лабораторне заняття 4. Сублімаційне сушіння. [1, 5].	2
	Всього годин	8

5 Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 45 % часу вивчення кредитного модуля, включаючи і підготовку до заліку. Головне завдання самостійної роботи студентів – це опанування знань в областях, що не увійшли у перелік лекційних питань шляхом особистого пошуку інформації, формування активного інтересу до творчого підходу у навчальній роботі.

– Метою виконання домашньої роботи студентів в рамках підготовки майбутнього фахівця зі спеціальності 162 – Біотехнології та біоінженерія є удосконалення їх практичної підготовки, набуття та поглиблення навичок активної технологічної роботи.

На прикладі розрахунків типового обладнання майбутні спеціалісти мають забезпечувати інтеграцію кріогенних технологій у виробництво, проводити розробки та забезпечувати впровадження кріогенного етапу в біотехнологічні процеси, такі як

зберігання вакцин, транспортування біопрепаратів або тривале зберігання генетичного матеріалу.

Виконання ДКР дасть змогу студентам самостійно проводити розрахунки та конструювання обладнання.

Питання, що винесені на самостійне вивчення, орієнтовані на розвиток інтелектуальних умінь, професійних здатностей, підвищення творчого потенціалу студента і полягає в самостійному пошуку, аналізу та структуруванні, науково технічної інформації.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
	Мультифакторна теорія кріпошкоджень. Фактори кріпошкоджень біооб'єктів	10
	Механізми та особливості кристалізації води при різних швидкостях заморожування. Ефективність кріогенних систем. Термодинамічні засади кріогенної техніки	10
	Багатоетапне заморожування. Надшвидке заморожування. Вітрифікація (склювання).	10
	– Кріоконсерванти для заморожування різних тканин та органів. Питома теплоємність речовин. Теплопровідність кріорідин. Кріогенні рідини та їх властивості	10
	Компоненти систем зрідження	4
	Кріогенезис	4
	ДКР	8
	Підготовка до МКР	2
	Підготовка до заліку	2
	Всього годин	58

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять та поведінки на заняттях

Відвідування занять є важливим компонентом оцінювання. Студенти по можливості повинні брати активну участь в навчальному процесі, не спізнюватися на заняття та не пропускати їх без поважної причини, не заважати викладачу проводити заняття, не відволікатися на дії, що не пов'язані з навчальним процесом.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

- заохочувальні та штрафні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань

У разі виникнення заборгованостей з навчальної дисципліни або будь-яких форс-мажорних обставин, студенти мають зв'язатися з викладачем по доступних (наданих викладачем) каналах зв'язку для розв'язання проблемних питань та узгодження алгоритму дій для відпрацювання.

Політика академічної доброчесності

Неприпустимі вживання у списку використаної літератури російські джерела (при виконанні індивідуальних самостійних завдань (ІСЗ) тощо).

Плагіат та інші форми не доброчесної роботи неприпустимі. До плагіату відноситься відсутність посилань при використанні друкованих та електронних матеріалів, цитат, думок інших авторів. Неприпустимі підказки та списування під час написання тестів, проведення занять; здача заліку за іншого студента; копіювання матеріалів, захищених системою авторського права, без дозволу автора роботи.

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Заборонено використання джерел російського походження та російськомовних джерел.

При виявленні плагіату у зданій ДКР дана робота не зараховується, але здобувач може отримати нове завдання.

Політика академічної поведінки і етики

студенти мають бути толерантним, поважати думку оточуючих, заперечення формулювати в коректній формі, конструктивно підтримувати зворотний зв'язок на заняттях.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Студенти мають дотримуватимуться правил Академічної доброчесності – як їх викладено на сайті КПП ім. Ігоря Сікорського, див. <https://kpi.ua/academic-integrity>, <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf>. При виявленні плагіату у МКР чи ДКР студента така робота не зараховується і студент не отримує балів за цей вид робіт. Студент може отримати для переробки МКР чи ДКР інше завдання виключно у випадку, якщо сума семестрових балів є меншою за допускову до написання залікової роботи (менше 40 балів).

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочим навчальним планом:

Семестр	Начальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	кредити	акад. год.	Лекції	Практичні	лабораторні	СРС	МКР	ДКР	Семестрова атестація
7	4	120	36	18	8	58	1	1	залік

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за:

- 1) Робота на лекції. У семестрі передбачено 18 лекцій – 18 балів.
- 2) Виконання та захист 9-ти задач на практичних заняттях – 27 балів.
- 3) Виконання та захист 3-х лабораторних робіт – 18 балів.
- 4) ДКР – 27 балів
- 5) МКР – 10 балів.

Система рейтингових балів

1. Робота на лекційних заняттях.

Ваговий бал – 1. Максимальна кількість балів на лекціях становить: $18 \times 1 = 18$ балів.

- «відмінно» - виконання 100% задач під час заняття та самостійної роботи студента (CPC) – 0,95 - 1 балів.
- «добре» - виконання 80% задач під час заняття та CPC – 0,75– 0,94 балів.
- «задовільно» - виконання $\geq 50\%$ задач під час заняття та CPC – 0,6 – 0,74 балів.
- «незадовільно» - невиконання задач (CPC) – 0 балів.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів на практичних заняттях дорівнює $9 \times 4 = 36$ бали.

- «відмінно» - виконання 100% задач під час заняття та самостійної роботи студента (CPC) – 2,85 - 3 балів.
- «добре» - виконання 80% задач під час заняття та CPC – 2,25– 2,84 балів.
- «задовільно» - виконання $\geq 50\%$ задач під час заняття та CPC – 1,8 – 2,44 балів.
- «незадовільно» - невиконання задач (CPC) – 0 балів.

3. Робота на лабораторних заняттях

Ваговий бал – 6. Максимальна кількість балів на лабораторних заняттях дорівнює $6 \times 3 = 18$ бали.

- «відмінно» - виконання 100% задач під час заняття та самостійної роботи студента (CPC) – 5,7 - 6 балів.
- «добре» - виконання 80% задач під час заняття та CPC – 4,5 – 5,7 балів.
- «задовільно» - виконання $\geq 50\%$ задач під час заняття та CPC – 3,6 – 4,4 балів.
- «незадовільно» - невиконання лабораторної – 0 балів.

4. Домашня контрольна робота:

Ваговий бал – 27. Кількість контрольних робіт – 1. Максимальна кількість балів -27 балів.

- «відмінно», повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 90% потрібної інформації) – 25,65-27 балів;
- «добре», достатньо повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 20,25 – 25,64 балів;
- «задовільно», неповне виконання завдань контрольної роботи (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 16,2– 20,24 бали;
- «незадовільно», невиконання завдань контрольної роботи (не відповідає вимогам на 16,19 балів) – 0 балів.

5. МКР

Ваговий бал – 10. Кількість контрольних робіт – 1. Максимальна кількість балів -10 балів.

- «відмінно», повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 90% потрібної інформації) – 9,5-10 балів;
- «добре», достатньо повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 7,5 – 9,49 балів;
- «задовільно», неповне виконання завдань контрольної роботи (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6– 7,49 бали;
- «незадовільно», невиконання завдань контрольної роботи (не відповідає вимогам на 6 балів) – 0 балів.

За результатами навчальної роботи за перші 5 тижнів «ідеальний студент» має набрати 25-балів. На першій атестації (7-й тиждень) студент отримує «зараховано»,

якщо його поточний рейтинг не менше 36 балів. За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 79 балів.

Максимальна сума балів складає 100. Необхідною умовою допуску до заліку є рейтинг не менше 40 балів, виконання та захист всіх практичних та лабораторних робіт.

За умови виконання умов допуску до заліку та рейтингу від 60 балів студент отримує залікову оцінку «автоматом».

Якщо студент має стартовий рейтинг, нижче від 0,4 RC, студент повторно виконує один з видів робіт (МКР чи ДКР) для підвищення стартового рейтингу до 0,4RC і ця рейтингова оцінка є остаточною.

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Приблизний перелік питань, які виносяться на МКР

1. Як впливають концентрації ДМСО на збереженість ядерних клітин у кріоконтексті
2. Як будуються автоматизовані системи для кріоконсервації репродуктивних тканин.
3. Опишіть загальні технологічні принципи кріоконсервації.
4. Проаналізуйте конкретні біоматеріали і технологічні схеми кріоконсервації.
5. Які ви знаєте типи кріопротекторів.
6. Опишіть механізм дії кріопротекторів.
7. Який відбувається вплив води в механізмах кріопошкоджень.
8. Як фази кристалізації визначають рівень кріоураження біомолекул.
9. Яким чином процеси заморожування та відтавання впливають на біологічні об'єкти.
10. Як різні швидкості охолодження впливають на збереження клітин у біотехнології.
11. Які сучасні технології використовуються для контролю ролі води у кріозбереженні.
12. Чому швидке затвердження води утворює дрібніші кристали.
13. Як різна швидкість кристалізації змінює механізм росту кристалів.
14. Який вплив має температура на швидкість і форму кристалів води.

15. Як контроль швидкості кристалізації може покращити якість льоду для замороження.

16. Як швидкість кристалізації впливає на розмір і форму кристалів води.

17. Чому різні фази кристалізації води мають різний вплив на біомолекули.

18. Яким чином швидке заморожування зменшує кріоураження біомолекул.

19. Що таке кріобанки та які їх основні функції.

20. Які кріопротектори використовують для захисту клітин при заморожуванні.

21. Як здійснюється оживлення клітин після зберігання у кріобанках.

22. Які технології відновлення клітин застосовують після їх оживлення у кріобанках.

23. Як холодова технологія впливає на структуру та функціональність біоматеріалів.

24. Які молекулярні механізми пошкодження клітин при кріотривалій дії.

25. Як висока концентрація іонів кальцію сприяє кріопошкодженням.

26. Чому пероксидне окиснення ліпідів є ключовим фактором при кріоушкодженнях.

27. Які біологічні процеси пошкоджуються під час гіпотермічного зберігання.

28. Чому зниження температури до 4°C важливе для довгострокового зберігання клітин.

29. Які тканини або клітини найкраще витримують гіпотермічне зберігання.

30. Технологія низькотемпературного очищення повітря від домішок методом виморожування.

31. Технологія виробництва «сухого» льоду методом виморожування із газових суміші.

32. Опишіть конструкції теплообмінників, використовуваних у кріогенних системах (змійовикові, пластинчасто-ребристі та ін.).

33. Як кріоконсервування клітин крові зберігає їх життєздатність та функції.

34. Які кріопротектори є найбільш ефективними для кров'яних клітин.

35. Які основні технічні виклики при кріоконсервуванні кордової крові.

36. Які основні етапи підготовки винограду до кріоконсервації включає протокол.

37. Які параметри контролюються під час заморожування та відтавання винограду.

38. Яке Ви знаєте сучасне обладнання для зберігання біологічних зразків у рідкому азоті.

39. Назвіть загальні підходи до кріоконсервування мікроорганізмів; протоколи для бактерій, мікроводоростей, грибів та дріжджів.

40. Як зміна концентрації мікроелементів сприяє виживанню клітин після кріосховища

41. Які особливості підготовки живильних середовищ для анаеробних бактерій

Домашня контрольна робота

Завдання

Сублімаційна сушарка виконана у вигляді горизонтального циліндру з діаметром $d = 500 \text{ мм}$. В ній встановлено три горизонтальні, нагріваючі плити. Суспензія заливається в кювети розміром $12 \times 20 \text{ мм}$, висота кювет складає 12 мм , висота розчину в кюветі – 8 мм . Провести тепловий та конструктивний розрахунок (технологічні параметри згідно варіанту).

Виконати розрахунки та накреслити (схематично) конструкцію сублімаційної сушарки.

У висновках детально описати чи підходить даний тип сушарки для вашого варіанту та вказати на можливість використання інших видів апаратів.

Варіант	Параметри								
	Кількість вологи, яку потрібно випарити за один цикл	Початкова концентрація суспензії, що поступає на	Тривалість одного циклу сушіння	Температура в сушарці	Температура замороженого конденсату	Питома теплота сублімації	Ступінь чорноти плит	Ступінь чорноти продукту сушіння	Тиск в апараті
	G_H кг / цикл	a_H %	год	°С	°С	r кДж / кг			Мпа
1	3,2	75	18	-40	-52	2759	0.9	0.96	13.3
2	2,6	82	19	-45	-48	2759	0.85	0.96	12.8
3	2,8	85	17	-38	-48	2759	0.9	0.96	13.0
4	3.1	69	18	-39	-49	2759	0.9	0.96	12.9
5	3.4	85	17	-45	-50	2759	0.85	0.96	13.2
6	2,6	80	16	-43	-39	2759	0.9	0.96	13.3
7	2,8	75	18	-40	-52	2759	0.9	0.96	12.8
8	3.1	82	18	-45	-48	2759	0.85	0.96	13.0
9	3.4	85	19	-38	-48	2759	0.9	0.96	12.9
10	3,8	69	17	-39	-49	2759	0.9	0.96	13.2
11	3,5	85	18	-45	-50	2759	0.85	0.96	13.3
12	3,4	80	17	-43	-39	2759	0.9	0.96	12.8
13	2,7	78	16	-40	-50	2759	0.85	0.96	13.0

Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Як швидкість кристалізації води впливає на її кристалічну структуру.
2. Як саме гіпотермічне зберігання збережує життєздатність клітин і тканин.
3. Як зміни в рості кристалів води спричиняють механічні пошкодження біомолекул.
4. Чому вода є ключовим фактором у запобіганні кріопшкоджень при кріоконсервації
5. Як працює процес заморожування біоматеріалів у кріобанках.
6. Як вибираються оптимальні кріопротектори для винограду на різних етапах.
7. Назвіть основні компоненти сучасного кріоблоку для ембріонів.
8. Як проходить підготовка середовищ для кріоконсервації окремих мікроорганізмів.
9. Як електролітно-осмотичний дисбаланс веде до руйнування клітин.
10. Як сучасні методи кріоконсервування покращують регенеративну медицину.
11. Як саме кріобанки забезпечують збереження життєздатності клітин.
12. Як саме мікроелементи впливають на стабільність клітин при кріовилученні.
13. Чому баланс мікроелементів важливий для збереження клітин у кріоконсервації.
14. Які мікроелементи потрібні для оптимального збереження клітин у кріохолодженні.
15. Низькотемпературні технології транспортування продуктів споживання.
16. Холодильні камери зберігання продуктів споживання
17. Біологічні аспекти зберігання плодів та овочів в умовах модифіцированого газового середовища.
18. Конструктивні особливості медичних «кріосаун».
19. Технології використання скидного холоду.
20. Класифікація кріостатів.
21. Який час перебування клітин у кріозахисному середовищі до початку процесу охолодження
22. Які види теплоізоляційних конструкцій використовують у кріорезервуарах? Вкажіть переваги та недоліки кожного виду.
23. Опишіть теплоізоляційні конструкції кріотрубопроводів. У яких випадках використовують неізольовані кріотрубопроводи?
24. У чому полягають особливості арматури кріотрубопроводів? Що таке заохолодження кріотрубопровода?
25. Що таке кріорефрижератор? У яких випадках їх застосовують? Наведіть схему та опишіть принцип дії кріорефрижератора Лінде.
26. Наведіть схему та опишіть принцип дії кріорефрижератора Філіпса.
27. Що є основою для довготривалого зберігання генофонду і подальшого використання у селекції та біотехнології.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

Зав. кафедри, д.т.н., професор Мельник В.М.

асистент Косова В.П.

Ухвалено кафедрою біотехніки та інженерії (протокол № 13

від 24.06._____ 2026 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету біотехнології і біотехніки (протокол № 6 від 26.06.2026 р.)