

**Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича**

**Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів**

**Кафедра біохімії та біотехнології**

**СИЛАБУС**  
**навчальної дисципліни**

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ**  
**ПРОЦЕСІВ**  
обов'язкова

**Освітньо-професійна програма:** «Біотехнології та біоінженерія»

**Спеціальність:** 162 «Біотехнології та біоінженерія»

**Галузь знань:** 16 «Хімічна інженерія та біоінженерія»

**Рівень вищої освіти:** другий магістерський

**Назва факультету/інституту,  
на якому здійснюється  
підготовка фахівців:** навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів

**Мова навчання:** українська

**Розробники:** Олексій Худий, доцент кафедри біохімії та біотехнології, доктор біол. наук, доцент  
Лідія Худа, доцент кафедри біохімії та біотехнології

**Профайл викладача (-ів)** <http://ibhb.chnu.edu.ua/profile/user/80>

**Контактний тел.** +380372584838

**E-mail:** o.khudyi@chnu.edu.ua , l.khuda@chnu.edu.ua

**Сторінка курсу в Moodle** <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=7508>

**Консультації** Онлайн-консультації: понеділок та середа 16.00 до 17.00.  
Очні консультації: за попередньою домовленістю

### **1. Анотація дисципліни**

Сучасні біотехнологічні виробництва широко застосовують обчислювальну техніку та різноманітне програмне забезпечення. Навчальна дисципліна «Інформаційні технології, моделювання та аналіз біотехнологічних процесів» спрямована на поглиблення знань у сфері застосування інформаційних технологій у процесі проведення біотехнологічних досліджень, розвиток у здобувачів вищої освіти навичок із використання сучасних цифрових технологій для структурно-функціонального аналізу біомолекул, метаболічної активності, створення прогностичних моделей розвитку біологічних процесів, а також знайомить із сучасними статистичними підходами для інтерпретації результатів експериментальних досліджень в галузі біотехнології.

### **2. Мета навчальної дисципліни**

Метою дисципліни є набуття студентами знань про можливості застосування інформаційних технологій, принципи побудови прогностичних математичних моделей біотехнологічних процесів, а також сучасні підходи у проведенні статистичного аналізу результатів біотехнологічних досліджень.

### **3. Пререквізити**

«Інформаційні технології, моделювання та аналіз біотехнологічних процесів» спирається на знання, отримані здобувачами вищої освіти при прослуховуванні навчальних дисциплін на бакалавраті «Вища математика», «Обчислювальна математика та програмування», «Біофізика», «Загальна біохімія», «Метаболічна біохімія», «Загальна мікробіологія та вірусологія», «Молекулярна біологія», «Загальна біотехнологія», а також в магістратурі: «Біотехнологія продуктів мікробного синтезу», «Біотехнологія отримання вторинних метаболітів».

### **4. Результати навчання**

При засвоєнні дисципліни у студентів формуються наступні загальні та фахові компетентності, а також програмні результати навчання:

#### ***Загальні компетентності:***

ЗК 2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

#### ***Фахові компетентності:***

ФК 8. Здатність здійснювати пошук необхідної інформації в науковій і технічній літературі, базах даних та інших джерелах

ФК 9. Здатність відбирати та аналізувати релевантні дані, у тому числі за допомогою сучасних методів аналізу даних і спеціалізованого програмного забезпечення.

ФК 11. Здатність розробляти нові біотехнологічні об'єкти і технології та підвищувати ефективність існуючих технологій на основі експериментальних та/або теоретичних досліджень та/або комп'ютерного моделювання.

ФК 12. Здатність планувати і виконувати експериментальні роботи в галузі біотехнології з використанням сучасних обладнання та методів, інтерпретувати отримані дані на основі сукупності сучасних знань та уявлень про об'єкт і предмет дослідження, робити обґрунтовані висновки.

ФК 15. Здатність застосовувати сучасні методи системного аналізу для дослідження та створення ефективних біотехнологічних процесів.

ФК 16. Здатність застосовувати проблемно-орієнтовані методи аналізу та оптимізації біотехнологічних процесів, управління виробництвом, мати навички практичного впровадження наукових розробок

#### ***Програмні результати навчання***

ПР 4. Вміти обирати та застосовувати найбільш придатні методи математичного моделювання та оптимізації при розробленні науково-технічних проектів.

ПР 10. Упроваджувати найбільш ефективні біотехнологічні методи та прийоми у практичну виробничу діяльність на основі оцінки ефективності передових біотехнологій та врахування загальних тенденцій розвитку новітніх біотехнологій у провідних країнах.

ПР17. Оцінювати, аналізувати та обирати варіанти рішень з управління складними біотехнологічними процесами з урахуванням цілей, обмежень, прогнозів та ризиків.

За результатами вивчення дисципліни “ Інформаційні технології, моделювання та аналіз біотехнологічних процесів ” студент повинен

**знати:** .....

- основні біоінформаційні ресурси, їх призначення та використання для аналізу біотехнологічних процесів;
- методи відтворення й аналізу просторової організації біомолекул та прогнозування їх функціональної активності;
- основні принципи побудови комп'ютерних моделей, типи моделей, які застосовуються з прогностичною метою для аналізу біотехнологічних процесів;
- різні методи статистичної обробки даних експериментальних досліджень у сфері біотехнології;

• **вміти:** .....

- відбирати та аналізувати релевантні дані, у тому числі за допомогою сучасних методів аналізу даних і спеціалізованого програмного забезпечення.
- формулювати задачі моделювання, створювати моделі об'єктів біотехнологічних процесів із використанням математичних методів й інформаційних технологій;
- статистично обробляти експериментальні данні
- працювати з банками даних біологічних послідовностей і просторових структур, оперувати основними програмами аналізу.

## 5. Опис навчальної дисципліни

### 5.1. Загальна інформація

#### 5.1. Дидактична карта навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем                                                                        | Кількість годин                                                         |              |    |     |     |      |              |              |    |     |     |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------|----|-----|-----|------|--------------|--------------|----|-----|-----|------|
|                                                                                                      | денна форма                                                             |              |    |     |     |      | заочна форма |              |    |     |     |      |
|                                                                                                      | усього                                                                  | у тому числі |    |     |     |      | усього       | у тому числі |    |     |     |      |
|                                                                                                      |                                                                         | л            | пр | лаб | інд | с.р. |              | л            | пр | лаб | інд | с.р. |
| 1                                                                                                    | 2                                                                       | 3            | 4  | 5   | 6   | 7    | 8            | 9            | 10 | 11  | 12  | 13   |
| <b>Теми занять</b>                                                                                   | <b>Змістовий модуль 1. Основи моделювання біотехнологічних процесів</b> |              |    |     |     |      |              |              |    |     |     |      |
| Види моделей, їх класифікація. Вимоги до моделей. Застосування математичних моделей в біотехнології. | 7                                                                       | 2            |    |     |     | 5    |              |              |    |     |     |      |
| Біологічні моделі на основі послідовностей чисел, заданих рекурентно. Модель                         | 7                                                                       |              | 2  |     |     | 5    |              |              |    |     |     |      |

|                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                   |   |    |  |  |    |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|--|--|----|--|--|--|--|--|--|
| Мальтуса. Приклади застосування в біотехнології.                                                                                                                |                                                                                                                                                   |   |    |  |  |    |  |  |  |  |  |  |
| Біологічні моделі, що описуються кривою Ферхюльста. Приклади застосування моделі Лотки-Вольтера                                                                 | 7                                                                                                                                                 |   | 2  |  |  | 5  |  |  |  |  |  |  |
| Моделювання біохімічних процесів. Кінетичні моделі біохімічних реакцій. COPASI - універсальний програмний пакет для моделювання та симуляції біохімічних мереж. | 9                                                                                                                                                 | 2 | 2  |  |  | 5  |  |  |  |  |  |  |
| Стехіометричні математичні моделі. FBA (Flux Balance Analysis )- аналіз метаболічних потоків.                                                                   | 9                                                                                                                                                 | 2 | 2  |  |  | 5  |  |  |  |  |  |  |
| Модель розвитку епідеміологічної ситуації на прикладі епідемії грипу                                                                                            | 7                                                                                                                                                 |   | 2  |  |  | 5  |  |  |  |  |  |  |
| Разом за ЗМ1                                                                                                                                                    | 46                                                                                                                                                | 6 | 10 |  |  | 30 |  |  |  |  |  |  |
| <b>Теми занять</b>                                                                                                                                              | <b>Змістовий модуль 2. Використання програмного забезпечення Statistica MS Excell для статистичної обробки даних експериментальних досліджень</b> |   |    |  |  |    |  |  |  |  |  |  |
| Принципи групування первинних експериментальних даних. Оформлення електронних таблиць                                                                           | 10                                                                                                                                                | 2 | 2  |  |  | 6  |  |  |  |  |  |  |
| Вибір критеріїв достовірності різниці в біологічних дослідженнях.                                                                                               | 12                                                                                                                                                | 2 | 2  |  |  | 8  |  |  |  |  |  |  |
| Застосування однофакторного дисперсійного аналізу ANOVA для статистичної інтерпретації результатів досліджень                                                   | 12                                                                                                                                                |   | 2  |  |  | 10 |  |  |  |  |  |  |

|                                                                                                            |                                                                                    |           |           |  |  |            |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|
| Багатовимірний дисперсійний аналіз MANOVA                                                                  | 10                                                                                 |           | 2         |  |  | 8          |  |  |  |  |  |  |
| Застосування регресійного аналізу результатів біотехнологічних досліджень                                  | 10                                                                                 |           | 2         |  |  | 8          |  |  |  |  |  |  |
| Разом за ЗМ 2                                                                                              | 54                                                                                 | 4         | 10        |  |  | 40         |  |  |  |  |  |  |
| <b>Теми занять</b>                                                                                         | <b>Змістовий модуль 3. Інформаційні технології в біотехнологічних дослідженнях</b> |           |           |  |  |            |  |  |  |  |  |  |
| Основні бази даних біологічної інформації. Банки даних біологічних послідовностей і просторових структур   | 8                                                                                  | 2         |           |  |  | 6          |  |  |  |  |  |  |
| Аналіз нуклеотидних та амінокислотних послідовностей.                                                      | 10                                                                                 |           | 2         |  |  | 8          |  |  |  |  |  |  |
| Аналіз особливості просторової структури біомакромолекул. Методи передбачення структури та функцій білків. | 12                                                                                 | 2         | 2         |  |  | 8          |  |  |  |  |  |  |
| Інформаційні технології у пошуку і розробці ліків                                                          | 10                                                                                 | 2         | 2         |  |  | 6          |  |  |  |  |  |  |
| Оцінка метаболічної активності біомолекул та аналіз метаболічних шляхів.                                   | 10                                                                                 |           | 2         |  |  | 8          |  |  |  |  |  |  |
| Разом за ЗМ 3                                                                                              | 50                                                                                 | 6         | 8         |  |  | 36         |  |  |  |  |  |  |
| <b>Усього годин</b>                                                                                        | <b>150</b>                                                                         | <b>16</b> | <b>28</b> |  |  | <b>106</b> |  |  |  |  |  |  |
| <b>Підсумкова форма контролю</b>                                                                           | <i>іспит</i>                                                                       |           |           |  |  |            |  |  |  |  |  |  |

### 5.3. Зміст завдань для самостійної роботи

| № з/п | Назва теми                                                      |
|-------|-----------------------------------------------------------------|
| 1     | Фазові переходи у моделюванні біологічних процесів              |
| 2     | Самоорганізація та хаотичні системи в біології. Біохаоси        |
| 3     | Фрактали та динамічний хаос                                     |
| 4     | Модель брюсселятора                                             |
| 5     | Математична модель MAP-кіназного каскаду                        |
| 6     | Пошук параметрів моделі з використанням експериментальних даних |
| 7     | Структурне моделювання та моделювання за гомологією.            |

|    |                                                                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8  | Системний підхід та системний аналіз у моделюванні Аналіз структури, функціональних особливостей та стійкості систем |
| 9  | Застосування мікроагауs в біохімії та медицині.                                                                      |
| 10 | Кількісна протеоміка та її застосування в системній біології.                                                        |
| 11 | Побудова філогенетичних дерев                                                                                        |
| 12 | ДНК-баркодинг.                                                                                                       |
| 13 | Форми обліку результатів спостережень..                                                                              |
| 14 | Критерії нормальності розподілу експериментальних даних.                                                             |
| 15 | Статистичний аналіз власних наукових даних.                                                                          |

## 6. Освітні технології, методи навчання і викладання навчальної дисципліни

**Форми організації навчання:** лекції, практичні заняття, індивідуальне навчальне заняття, консультація.

**Методи навчання:** словесні (розповідь, пояснення, лекція, лекція-бесіда), наочні (демонстрація, ілюстрація), практичні (робота з комп'ютерними програмами, робота у групах, розв'язок практичних кейсів, навчальна дискусія).

## 7. Контроль та оцінювання результатів навчальних досягнень студентів з навчальної дисципліни

Оцінювання результатів навчання студентів здійснюється за накопичувальною системою, згідно якої на поточний контроль відводиться 60% набраних балів, ще 40% відсотків балів студент може отримати за результатами іспиту.

Максимальна кількість балів за курс – 200. Переведення у 100 бальну шкалу здійснюється з використанням коефіцієнту перерахунку, який дорівнює 2.

Для контролю засвоєних знань проводяться усні та письмові опитування, тестування, розв'язок практичних завдань.

Кількість балів за вказані види роботи, а також при оцінюванні самостійної роботи визначається своєчасністю виконання навчальних завдань; повнотою та якістю їх виконання; самостійністю і оригінальністю виконання.

**Підсумкова форма контролю – тестовий іспит.**

### *Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни*

#### ***Критерії оцінювання усної (письмової) відповіді:***

За усну відповідь на занятті студент може максимально отримати 5 балів.

Відповідь чітка, аргументована, з додатковою інформацією. Студент відмінно орієнтується у питанні, висловлює власне бачення проблеми – 5 б.

Відповідь правильна, стосується основних відомих наукових фактів, однак лише репродуктивного характеру – 4 б.

Відповідь загалом правильна, трапляються незначні помилки – 3 б.

Відповідь неповна, трапляються значні помилки – 2 б.

У відповіді наведені поодинокі факти, пояснень яких студент надати не може – 1 б.

Відповідь відсутня – 0 б.

#### ***Критерії оцінювання практичних задач (завдань):***

5 балів – задача розв'язана правильно, наведено детальне пояснення, дані вичерпні відповіді на всі поставлені питання;

4 - балів - завдання розв'язане правильно, дано повні відповіді на всі поставлені питання, але пояснення неповне, присутні окремі незначні помилки

3 -бали – завдання виконане неповністю, не на всі поставлені питання дано правильні відповіді, пояснення ходу вирішення фрагментарне, присутні суттєві помилки;

2 бали – завдання виконане частково, пояснення ходу вирішення фрагментарне, присутні суттєві помилки;

1 бал – завдання практично не виконане, відсутні пояснення;

0 балів – відповідь відсутня взагалі.

#### ***Критерії оцінювання тестування:***

На поточному комп'ютерному тестуванні студент отримує по 10 різнорівневих завдань (з однією правильною відповіддю, з кількома правильними відповідями. завдання на відповідність, тощо). Максимальну кількість балів за кожне завдання (0,5) студент отримує в разі, якщо всі вказані відповіді правильні.

#### ***Критерії оцінювання проміжних модульних контрольних завдань:***

В кінці 1-го модуля студент отримує контрольне індивідуальне завдання з двох задач. Кожне завдання оцінюється в 5 балів відповідно до критеріїв оцінювання практичних завдань (максимум – 10 балів).

В кінці 2-го модуля студент отримує контрольне індивідуальне завдання з трьох пунктів. Кожне завдання оцінюється в 5 балів відповідно до критеріїв оцінювання практичних завдань (максимум – 15 балів).

В кінці 3-го модуля студент отримує контрольне індивідуальне завдання з трьох пунктів. Кожне завдання оцінюється в 5 балів відповідно до критеріїв оцінювання практичних завдань (максимум – 15 балів).

На підсумковому тестуванні студент вирішує 40 тестових завдань ( по 2 бали за кожне правильно виконане завдання).

#### ***Розподіл балів, які отримують студенти***

| Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота) |        |        |        |        |        |                    |        |        |         |         |                    |         |         |         | Кількіст<br>ь балів<br>(іспит) | Сумарн<br>а<br>к-ть<br>балів |     |
|-----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------|--------------------------------|------------------------------|-----|
| Змістовий модуль 1                                  |        |        |        |        |        | Змістовий модуль 2 |        |        |         |         | Змістовий модуль 3 |         |         |         |                                |                              |     |
| Т<br>1                                              | Т<br>2 | Т<br>3 | Т<br>4 | Т<br>5 | Т<br>6 | Т<br>7             | Т<br>8 | Т<br>9 | Т1<br>0 | Т1<br>1 | Т1<br>2            | Т1<br>3 | Т1<br>4 | Т1<br>5 | Т1<br>6                        | 80                           | 200 |
| 5                                                   | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5                  | 5      | 5      | 5       | 5       | 5                  | 5       | 5       | 5       | 5                              |                              |     |
| МК1 10 б.                                           |        |        |        |        |        | МК2 15 б.          |        |        |         |         | МК3 15 б.          |         |         |         |                                |                              |     |
| 40 б.                                               |        |        |        |        |        | 40 б.              |        |        |         |         | 40 б.              |         |         |         |                                |                              |     |

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів.

Коефіцієнт перерахунку 100-бальну шкалу дорівнює 2.

#### ***Зарахування результатів неформальної освіти***

Зарахування результатів неформальної освіти проводиться згідно «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та / або інформальної освіти у системі формальної освіти)»

<https://www.chnu.edu.ua/media/3aykf41y/polozhennia-pro-vzaiemodiiu-formalnoi-ta-neformalnoi-osvity.pdf>

#### ***Політика курсу***

Впродовж семестру для перевірки знань студентів та контролю за самостійною роботою застосовують письмові роботи та тестовий контроль. При виконанні різних форм робіт студенти повинні дотримуватися принципів академічної доброчесності. Питання плагіату та академічної доброчесності регламентуються ЗУ «Про вищу освіту»

та локально-правовими актами ЗВО: Правила академічної доброчесності у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича <https://www.chnu.edu.ua/media/lnojdab4/pravyla-akademichnoi-dobrochesnosti.pdf>  
Положення про виявлення та запобігання плагиату у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича <https://www.chnu.edu.ua/media/n5nbzwgb/polozhennia-chnu-pro-plahiat-2023plusdodatky-31102023.pdf> та Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича <https://www.chnu.edu.ua/media/jxpbs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>

Для переведення накопичених студентом балів у національну шкалу та шкалу ECTS використовують запроваджену в Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича систему:

| Оцінка за національною шкалою | Оцінка за шкалою ECTS |                                                  |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
|                               | Оцінка (бали)         | Пояснення за розширеною шкалою                   |
| Відмінно                      | A (90-100)            | відмінно                                         |
| Добре                         | B (80-89)             | дуже добре                                       |
|                               | C (70-79)             | добре                                            |
| Задовільно                    | D (60-69)             | задовільно                                       |
|                               | E (50-59)             | достатньо                                        |
| Незадовільно                  | FX (35-49)            | (незадовільно) з можливістю повторного складання |
|                               | F (1-34)              | (незадовільно) з обов'язковим повторним курсом   |

## 8. Рекомендована література

### Основна

1. Комп'ютерне моделювання в біології / Упорядники О.В. Оглобля, М.С. Мірошніченко, С.О. Костерін. – К.: Видавничий центр «Азбука», 2012. – 120 с.
2. Практикум із системної біології. Математичне моделювання метаболічних процесів. // укл. О. І. Доценко. – Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2018. – 58 с.
3. Малюк В. Г., Борзенков Б. І. Моделювання в біології та медицині. – Харків: Наук.-метод. центр вищ. освіти, 2005. – 212 с.
4. Математичне моделювання та застосування ЕОМ в біотехнології. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямів 6.051401 - «Біотехнологія», / Укладач О.І. Литвин - Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. - 64 с.
5. Кузьменко Б.В., Лисенко В.П. Моделювання технологічних процесів з біологічними об'єктами. – К.: НАУ, 2002.- 83 с.
6. Задачин В. М. Моделювання систем : конспект лекцій / В. М. Задачин, І. Г. Конюшенко. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2010. – 268 с. 7.
7. Горват А.А., Молнар О.О., Мінкович В.В. Методи обробки експериментальних даних з використанням MS Excel: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ “Говерла”, 2019. – 160с.
8. Статистична обробка експериментальних даних: Навчальний посібник / О.П. Мельниченко, І.Л. Якименко, Р.Л. Шевченко – Біла Церква, 2006.– 34 с.
9. Томашевський О. В. Комп'ютерні технології статистичної обробки даних: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / О. В. Томашевський, В. П. Рисіков.– Запоріжжя: ЗНТУ, 2006. – 174 с.



10. Кеца О.В. Основи біоінформатики: Навчально-методичний посібник. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2018. – 192 с.

11.

#### **Додаткова**

12. Оцінка медичних технологій: від теорії до практики математичного моделювання : навч. посіб. / С. О. Соловійов, Н. А. Білоусова, В. В. Трохимчук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024. – 140 с.

13. Швець Е.Я., Кісарін О.О. Комп'ютерне моделювання фізіологічних систем людини. – Запоріжжя, 2009. – 175 с.

14. Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум :навчальний посібник [Електронний ресурс] / Під ред. В.Б. Мокіна. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 84 с

15. Конспект лекцій з дисципліни «Математичне моделювання в біології та медицині» для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 163 – Біомедична інженерія / Уклад. Д. Х. Штофель. – Вінниця : ВНТУ, 2020. 55 с.

16. Марценюк В.П., Цяпа Н.В., Кучвара О.М, Андрущак І.Є. Компартментні моделі розвитку епідемій грипу з урахуванням доепідемічної вакцинації та протівірусного лікування. Медична інформатика та інженерія, № 3, 2010. С. 54-57.

17. Computational Modeling of Biochemical Networks Using COPASI / P. Mendes, S. Hoops, S. Sahle, R. Gauges, J. Dada, U. Kummer. // Methods in Molecular Biology, Systems Biology. — Vol. 500. — 2. — P. 17—59.

18. Stanford N. J. Kinetic modelling of metabolic pathways. / N. J. Stanford, K. Smallbone. // The Bioinformatics Knowledgeblog. <http://bioinformatics.knowledgeblog.org/2011/06/21/kinetic-modelling-of-metabolic-pathways/>

19. Kauffman K. J. Advances in flux balance analysis / K. J. Kauffman, P. Prakash, J. S. Edwards // Curr. Opin. Biotechnol. — 2003. — 14. — P. 491—496.

20. von Kamp A. Use of CellNetAnalyzer in biotechnology and metabolic engineering / A. von Kamp, S. Thiele, O. Hädicke, S. Klamt // Journal of Biotechnology. — 2017. — V. 261, 10. — P. 221—228.

#### **9. Інформаційні ресурси**

1. <https://copasi.org/> - COPASI: Biochemical System Simulator

2. Genbank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)

3. Protein Data Bank (<http://www.rcsb.org>)

4. xPASy Proteomics Server (<http://us.expasy.org/>)

5. European Bioinformatics Institute (<http://www.ebi.ac.uk/>)

6. SCOP (<http://scop.mrc-lmb.cam.ac.uk/scop/>)

7. CATH (<http://www.biochem.ucl.ac.uk/bsm/cath/>)

8. PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>)

9. PubMed Central (<http://www.pubmedcentral.nih.gov/>)

10. Metabolic Pathways of Biochemistry at George Washington University (<http://www.gwu.edu/~mpb/>)

11. Chemistry Biology Information Center at ETH Zurich ([http://www.infochembio.ethz.ch/links/en/biochem\\_metabolismus.html](http://www.infochembio.ethz.ch/links/en/biochem_metabolismus.html))

12. Main Metabolic Pathways on the Internet (<http://home.wxs.nl/~pvsanten/mmp/main.htm>)

13. Enzyme Structures Database (<http://www.ebi.ac.uk/thornton-srv/databases/enzymes/>)