

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ВИСОКИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Завідувач кафедри молекулярної біотехнології та біоінформатики

доц. Олексій Юрійович Нипорко

Протокол № \_\_\_\_ засідання кафедри

від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕНДЕНЦІЙ  
ПІДГОТОВКИ МАГІСТРІВ В ГАЛУЗІ БІОТЕХНОЛОГІЇ В  
ПРОВІДНИХ УНІВЕРСИТЕТАХ СВІТУ**

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра

студентки спеціальності 091 Біологія

ОП «Біологія (високі технології)»

**Яремчук Ірини Олександрівни**

Науковий керівник

Завідувач кафедри молекулярної біотехнології

та біоінформатики

доц. **Олексій Юрійович Нипорко**

Оцінка захисту роботи

---

Київ – 2023 р.

## АНОТАЦІЯ

Яремчук І. О. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ПІДГОТОВКИ МАГІСТРІВ В ГАЛУЗІ БІОТЕХНОЛОГІЇ В ПРОВІДНИХ УНІВЕРСИТЕТАХ СВІТУ. – Випускна кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 091 Біологія ОП «Біологія (високі технології)».

У роботі проведено аналіз основних тенденцій в освітніх планах магістерських програм у галузі біотехнологій. Встановлені основні тренди у підготовці спеціалістів у різних напрямках біотехнології: дослідження, біотехнологічна промисловість, інженерія, бізнес, фармацевтична промисловість тощо. Проведений аналіз по ключових словах для оцінки змісту навчальних дисциплін, що виносять як обов'язкові або елективні. Доведена залежність академічної успішності університету від широкого набору факторів, що включають міжнародну співпрацю, рівень викладання, можливості практичної та науково-дослідної роботи тощо. Отримані результати можуть бути використані для покращення поточних навчальних програм та адаптації змісту навчальних дисциплін.

**Ключові слова:** освітня програма; біотехнології; дослідження.

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

URAP – University Ranking by Academic Performance

RUR – Round University Ranking

## ЗМІСТ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. Огляд літератури.....</b>   | <b>7</b>  |
| 1.1. Глобальний вплив біотехнологій .....  | 7         |
| 1.2. Інтеграція вивчення етики та бізнесу у біотехнологічні курси....                                    | 9         |
| 1.3. Кар’єрні перспективи у біотехнологічних галузях.....  | 13        |
| 1.4. Важливість міждисциплінарного підходу .....   | 18        |
| 1.5. Варіанти покращення освітніх програм .....  | 20        |
| <b>РОЗДІЛ 2. Аналіз програм освітнього рівня "Магістр" у провідних<br/>    університетах світу .....</b> | <b>26</b> |
| 2.1. Збір та попередній аналіз даних .....   | 26        |
| 2.2. Аналіз предметів у магістерських навчальних програмах з<br>біотехнологій.....                       | 33        |
| 2.3. Дослідження залежності кількості запропонованих предметів від<br>інших змінних .....                | 37        |
| 2.4. Аналіз рейтингів університетів .....  | 43        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>   | <b>48</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>  | <b>51</b> |
| <b>ДОДАТКИ.....</b>  | <b>56</b> |

## ВСТУП

Протягом останніх десятиліть галузь біотехнології стала ключовим рушієм інновацій, наукового прогресу та економічного зростання в усьому світі. Оскільки попит на кваліфікованих професіоналів у галузі біотехнології продовжує зростати, є актуальними аналіз та оцінка магістерських програм, які пропонують провідні університети. Ця робота має на меті забезпечити всебічний аналіз магістерських програм біотехнології в провідних університетах світу, зосереджуючись на різних аспектах, таких як зміст навчального плану, галузеве співробітництво, етичні міркування та міждисциплінарні підходи.

Біотехнологія, як багатодисциплінарна галузь, охоплює різноманітні галузі, такі як генна інженерія, фармацевтика, біоінформатика та сільськогосподарські науки. Магістерські програми з біотехнології відіграють вирішальну роль у забезпеченні випускників необхідними знаннями та навичками для вирішення складних завдань галузі. Однак, з огляду на швидкий розвиток і динамічний характер галузі, важливо оцінити, наскільки ці програми відповідають галузевим вимогам і тенденціям.

Одним із ключових факторів, що впливають на ефективність програм з біотехнологій, є включення курсів з бізнесу та етики. Оскільки біотехнологічні підприємства все більше переплітаються з комерціалізацією та підприємництвом, випускникам необхідно чітко розуміння принципів ведення бізнесу та етичних міркувань, щоб успішно орієнтуватися в галузі. У цій роботі буде досліджено, наскільки магістерські програми інтегрують курси з бізнесу та етики у свій навчальний план, і дослідить їхній вплив на підготовленість випускників до сценаріїв реального світу.

Галузева співпраця та стажування відіграють ключову роль у подоланні розриву між наукою та промисловістю. Тісні партнерські відносини між

університетами та біотехнологічними компаніями сприяють практичному навчанню, передачі знань і дослідницькій співпраці.

Крім того, міждисциплінарний характер біотехнології вимагає цілісного підходу до розробки програм. Інтеграція різних наукових дисциплін, включаючи біологію, хімію, інженерію та інформатику, сприяє інноваціям і дозволяє випускникам вирішувати складні біотехнологічні проблеми. У цій роботі буде досліджено, як магістерські програми з біотехнології включають міждисциплінарний підхід і оцінять його вплив на здатність студентів застосовувати знання в різних галузях.

Завдяки комплексному аналізу змісту навчального плану, галузевої співпраці, етичної інтеграції та міждисциплінарних підходів ця робота має на меті надати розуміння сильних і слабких сторін магістерських програм з біотехнологій у провідних світових університетах. Результати цього дослідження сприятимуть постійним зусиллям наукових кіл та промисловості щодо підвищення якості та актуальності біотехнологічної освіти, тим самим виховуючи кваліфіковану робочу силу, здатну стимулювати інновації та формувати майбутнє біотехнологічної галузі.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### *1.1. Глобальний вплив біотехнологій*

Поле можливостей біотехнологій швидко розширюється, що зумовлює сприйняття цієї галузі урядами світу як головного двигуна економічного зростання. Еволюція нових біотехнологій і біотехнологічної промисловості позитивно впливає на розвиток галузі як унікального кластера мереж, розвиток інших існуючих технологій та галузей, а також показує вплив компаній, що впроваджують біотехнології, на інші компанії [1].

Галузь біотехнологій переживає вражаючий ріст, що призвів до виникнення низки міжнародних викликів та суперечок. Основна причина конфліктів полягає у спробах урядів забезпечити збалансованість між забезпеченням доступу до переваг технологій та винагороди за інновації. Незважаючи на інтенсивні дискусії, практично всі експерти згодні, що біотехнології мають величезний потенціал і знаходяться на початковому етапі технологічної кривої [2]. Вони належать до області проривних технологій та можуть сприяти економічному зростанню та соціальному благополуччю.

Біотехнологія пропонує безліч нових можливостей у виробництві ліків. Сучасний прогрес в цій галузі викликав значний інтерес у науковому світі та на ринку лікарських засобів. Один з головних внесків біотехнології в сферу виробництва ліків - це можливість створювати терапевтичні засоби, що мають більш точний та тривалий ефект на молекулярному рівні. Дослідники знаходять нові біомаркери, які можуть бути використані для пошуку нових ліків та розробки нових підходів до лікування захворювань. Одним з основних напрямків досліджень у біотехнології є розробка біологічних препаратів. Біологічні препарати – це ліки, які виготовляються з біологічних матеріалів, таких як білки, антитіла або генетичний матеріал. Досягнення у

цій галузі дозволяють виробляти нові терапевтичні засоби для лікування раку, вірусних та інших інфекційних захворювань, серцево-судинних та неврологічних захворювань. Прогрес в генетиці та геномній медицині також дозволяє наочно продемонструвати переваги біотехнології в сфері виробництва ліків. За допомогою геномної медицини вчені можуть розробляти індивідуальні ліки, які будуть ефективнішими та безпечнішими для конкретного пацієнта.

Проте біотехнологія не обмежується розробкою та виробництвом ліків. Вона охоплює широкий спектр галузей, від рослинництва та тваринництва до медичних приладів. Використання біотехнології у сільському господарстві дозволяє отримувати високоякісні культури, стійкі до шкідників та хвороб, збільшувати врожайність та ефективність вирощування тварин. Іншим напрямком застосування біотехнології є розробка нових матеріалів. Біоматеріали, такі як біополімери, можуть бути використані для створення біорозкладних пакувань та інших продуктів, які є більш екологічно чистими та стійкішими до розкладу, ніж традиційні матеріали. Медична технологія також використовує біотехнологію для створення нових медичних приладів та засобів лікування. Наприклад, біотехнологічні методи дозволяють створювати біосенсиори, які можуть виявляти захворювання на ранніх стадіях та допомагати вчасно встановлювати діагнози.

Світовий ринок біотехнологій наразі оцінюється в 550 мільярдів доларів, а до 2025 року очікується, що він досягне 727 мільярдів доларів, незважаючи на пандемію COVID-19. Трьома найбільшими напрямками зростання очікуються онкологія, протидіабетичні та протиревматичні засоби [3, 4].

Як і будь-яка революційна технологія [5], біотехнологія несе з собою ряд проблем, які необхідно вирішити. Маніпуляція життям на молекулярному рівні провокує складніші дилеми, ніж будь-яка технологія раніше, за винятком атомної [6]. Одним із головних питань є забезпечення

того, щоб переваги цієї технології були доступні всім, незалежно від економічного статусу чи місця розташування. Уряди повинні працювати разом, щоб знайти баланс між просуванням інновацій і забезпеченням доступу до переваг біотехнології.

### ***1.2. Інтеграція вивчення етики та бізнесу у біотехнологічні курси***

У другій половині 20 століття видатні прориви в молекулярній біології, генетиці, клітинній біології та біохімії призвели до вибуху надзвичайних досягнень, які змінили спосіб життя людства. Біотехнології, що виникли в результаті, проникли в усі аспекти життя. Однак прийняття, впровадження та управління будь-якою конкретною біотехнологією затьмарюється серйозними суспільними проблемами та часто ускладнюється складними та взаємозалежними питаннями екологічних, правових, соціальних, політичних, економічних та етичних проблем. Примітно, що Управління оцінки технологій США в 1981 році, яке оцінювало вплив сучасних технологій на соціальні проблеми, визнало біотехнологію галуззю, яка спричинятиме найскладніші політичні виклики [7].

Постійний прогрес у біотехнології створює нові можливості, які можуть значно покращити життя людей у різних сферах, таких як охорона здоров'я, сільське господарство, енергетика та промисловість. Однак застосування біотехнології підлягає громадському контролю, оскільки воно потенційно може призвести до непередбачуваних і ненавмисних наслідків. Як наслідок, наукове співтовариство, політики та широка громадськість повинні брати участь у суворому дискурсі, щоб розглянути етичні, правові та соціальні наслідки розвитку біотехнології. Крім того, необхідно створити нормативно-правову базу для забезпечення того, щоб розробка та впровадження біотехнології відповідали стандартам етики, безпеки та екологічності. Вкрай важливо вирішити ці виклики, щоб забезпечити використання біотехнології на благо суспільства та мінімізацію будь-яких

потенційних ризиків, а також важливо забезпечити обізнанність населення щодо етичних проблем, пов'язаних з даною галуззю.

Одним із таких спірних питань, що виникло в контексті біотехнології, є протидія трансгенним сільськогосподарським культурам. У своїй роботі Кріспелс зазначив [8], що розвиток генетично модифікованих (ГМ) культур має важливе значення для вирішення проблеми недоїдання та голоду, особливо серед бідних верств населення, яких у 2025 році все ще може бути близько 600 мільйонів, незважаючи на переваги зеленої революції. Тим часом, оскільки біотехнологічні галузі продовжують розвиватися, стає все більш очевидним, що вони суттєво відрізняються від традиційних галузей. Наприклад, харчова промисловість стикається з проблемами коротшого життєвого циклу продукції та жорсткої конкуренції на ринку [9]. Традиційні методи розробки продукту методом проб і помилок є занадто трудомісткими для задоволення вимог ринку, тому у галузі зростає потреба у прогнозованих знаннях. Нові методи, в тому числі ті, що базуються на харчовій фізиці та молекулярній біології, у поєднанні з комп'ютерними технологіями обіцяють перехід від описових ноу-хау до використання можливостей прогнозованих моделей [10].

Крім того, шляхи розвитку біотехнології мають далекосяжні наслідки для загального розвитку суспільства, і всі зацікавлені сторони несуть соціальну відповідальність. Біотехнологія є потужним інструментом, який вимагає відповідального використання та управління. Слід ретельно розглянути економічні, соціальні та етичні наслідки розвитку біотехнології, приділяючи особливу увагу таким питанням, як генетичне різноманіття, інтелектуальна власність і біобезпека. На ринку потрібні фахівці для ведення обґрунтованою і всебічною політики в цій сфері.

Вищі навчальні заклади відіграють важливу роль у вихованні соціальної відповідальності у студентів, які згодом стають кваліфікованими професіоналами в різних секторах. Роль вищої освіти в розвитку суспільства

була значною, але зростає думка, що університети стали просто «сторожами» для власників ступенів і викладачів і мало приділяють уваги нагальним проблемам у сферах соціальних, економічних і моральних проблем [11].

Незважаючи на зусилля, спрямовані на розширення доступу до формальної освіти, зростає диспропорція між кількістю та якістю доступної освіти, особливо коли мова йде про задоволення постійно зростаючих потреб економіки, що базується на знаннях [9]. Це підкреслює необхідність критичного аналізу існуючих систем освіти та навчання, щоб визначити їхню ефективність у вирішенні викликів, пов'язаних із вибухом знань. У світлі цього вкрай важливо розглянути інноваційні підходи до освіти, які можуть встигати за темпами змін і озброїти студентів необхідними навичками для досягнення успіху в сучасному світі. Це вимагає узгоджених зусиль освітніх закладів, політиків та інших зацікавлених сторін для того, щоб освіта була не лише доступною, але й високоякісною.

Вчені та інженери, як правило, зосереджуються на технічних аспектах біотехнології, приділяючи мало уваги її етичним і суспільним наслідкам. З іншого боку, гуманітарії та соціологи, які добре розбираються в етичних і суспільних питаннях, що стосуються біотехнології, часто не мають необхідних наукових знань для прийняття обґрунтованих рішень. Ця прогалина в знаннях створює потенціал для непередбачених наслідків і ризиків, пов'язаних з розвитком біотехнології. Для вирішення цієї проблеми потрібна співпраця та спілкування між дисциплінами. Це забезпечить врахування етичних і суспільних наслідків у розвитку біотехнології, що призведе до більш відповідальних інновацій.

Університети також стикаються з унікальним викликом у підготовці магістрів, які прагнуть увійти в індустрію біотехнологій. Ця проблема впливає з дуже вузьких спеціалізацій освітніх програм і невеликого вибору додаткових предметів. Магістри, що спеціалізуються в природничому аспекті біотехнологій, як правило, мають обмежені знання з бізнес-дисциплін, таких

як маркетинг, фінанси та стратегія. Бізнес-магістрам часто не вистачає необхідних наукових знань, необхідних для розробки продукту та прориву в біотехнологічній галузі. Біотехнологічна галузь є місцем, де підприємництво відіграє центральну роль, а наука та бізнес тісно пов'язані. Таким чином, завдання для освіти в галузі біопідприємництва полягає в тому, щоб подолати цей розрив між наукою та знаннями про бізнес і підготувати магістрів до складної та динамічної індустрії біотехнологій. Ефективна освіта в галузі біопідприємництва повинна забезпечувати всебічне розуміння взаємодії між наукою та бізнесом і озброїти студентів необхідними навичками, щоб успішно керувати цією взаємодією. Майбутній успіх біотехнологічної галузі залежить від здатності університетів підготувати випускників, які зможуть вивести інновації та підприємництво на передній план галузі [12].

Інтеграція вивчення бізнесу в біотехнологічну галузь створює значні проблеми як для підприємств, так і для освітніх програм, які спрямовані на їх підтримку. Біотехнологічна галузь характеризується складністю, високими витратами, тривалими термінами розробки та невпинним ризиком протягом життєвого циклу від ідеї до продукту. Цій сфері потрібні випускники, які мають хист до підприємництва і здатні адаптуватися до динамічного середовища, яке постійно змінюється. Забезпечуючи повне розуміння галузі, біопідприємницька освіта може краще підготувати студентів до процвітання в динамічній і складній індустрії.

Освітні програми з біопідприємництва є новою областю освіти, яка дотримується різноманітних освітніх стратегій. Враховуючи фундаментальну необхідність наукових знань та інновацій у наукових дослідженнях, більшість дійсних освітніх програм вимагають наукової кваліфікації та спрямовані на включення бізнес-аспектів біопідприємства. Університет Джона Хопкінса пропонує широкий спектр програм підприємництва для випускників, включаючи ступінь магістра з біотехнологічного

підприємництва, подвійний ступінь магістра з біотехнології та сертифікат з біотехнологічного підприємництва. Освітня програма розроблена для того, щоб навчити розуміння процесів біотехнологічних підприємств, а також унікальних міркувань, пов'язаних з біотехнологічною галуззю. Випускники володітимуть інструментами та знаннями, необхідними для комерціалізації своїх ідей продукту або управління біотехнологічною організацією [13]. Проте проблема поєднання науки та бізнесу в життєвому циклі від науки до продукту залишається нерозв'язаною, що вимагає додаткових освітніх стратегій для задоволення конкретних потреб студентів, які прагнуть досягти успіху в біотехнологічній галузі.

### ***1.3. Кар'єрні перспективи у біотехнологічних галузях***

Сфера біотехнології зазнала значного зростання завдяки комерціалізації та індустріалізації, що призвело до високого попиту на кваліфікованих працівників. Приблизна оцінка зайнятості в різних секторах біотехнології, таких як фармацевтичні фірми, державні лабораторії та приватні дослідницькі установи складає 800 000 осіб в США, де найбільше біотехнологічних компаній, а світовий рівень зайнятості спеціалістів очікує зростання на 5% між 2019 і 2029 [14]. Наразі є потреба у більш стратегічному підході до розвитку робочої сили, щоб задовольнити прогнозовані потреби сучасної індустрії біотехнологій.

Оскільки біотехнологічні компанії переходять від невеликих стартапів до великих виробничих фірм, вимоги до людських ресурсів також змінюються. Однак існує значна проблема щодо задоволення попиту на кваліфіковану робочу силу в галузі біотехнологій, особливо в країнах, що розвиваються. Незважаючи на те, що університети випускають значну кількість біотехнологів, лише невеликий відсоток може знайти роботу через брак необхідних навичок і знань. Біотехнологічні фірми в цих регіонах

можуть прийняти лише близько 10% випускників через прогалини в навичках [15, 16, 17].

Біотехнологічна галузь є мультидисциплінарною сферою, яка виходить за рамки науки та техніки. Для цього потрібні люди з різноманітним набором навичок, щоб гарантувати, що продукти та послуги відповідають стандартам якості, нормативним вимогам та стандартам безпеки. Крім того, бізнес-розвиток біотехнологій вимагає різноманітних голосів у маркетингу, фінансах, ціноутворенні ліків, виробництві, операційній діяльності, логістиці та підключенні.

З появою «проривних територій», орієнтованих на технології, які створюють нові ринки та можуть зрештою зруйнувати існуючі ринки, індустрія біотехнологій пропонує широкий спектр можливостей для розробників, інформатиків і професіоналів із галузей, які зазвичай не пов'язані з фармацевтичними дослідженням. Наприклад, наука про біомедичні дані відіграє вирішальну роль у відкритті та розробці ліків [18], керуючи скринінгом нових ліків і надаючи інформацію про захворювання та поведінку населення за допомогою аналізу великих масивів даних.

Більше того, у світлі складних нормативних та етичних міркувань, пов'язаних із біотехнологічною галуззю, у процесах управління необхідним є різноманітний спектр точок зору. Це особливо правильно в таких сферах, як клінічні випробування, де можуть виникнути проблеми з інформованою згодою, конфіденційністю даних і доступом до терапії. Різноманітні голоси необхідні для того, щоб у процесі прийняття рішень враховувалися всі точки зору [19].

Щоб задовольнити зростаючий попит на кваліфіковану робочу силу, необхідний багатовимірний підхід до розвитку робочої сили. Це може включати співпрацю між академічними колами, гравцями галузі та державними органами для забезпечення навчальних та освітніх програм, які

озброюють людей навичками та знаннями, необхідними для задоволення потреб індустрії.

Ринок роботи в біотехнологіях досить фрагментований, і попит на конкретні навички може значно відрізнятись залежно від стану галузі та потреб роботодавця. Наприклад, молекулярні біологи та інженери-хіміки відіграють важливу роль у біотехнологічній галузі, але їхній попит може коливатися залежно від характеру розробки продукту. Це означає, що певні набори навичок можуть мати високий попит в один час, але стати менш актуальними в інший час, незважаючи на загальне зростання ринку праці. Таким чином, біотехнологія слідує моделі зростання робочих місць у «ніші», що відображає вузькоспеціалізований характер галузі.

Розробка нового біотехнологічного продукту вимагає різноманітної групи професіоналів, включаючи вчених, інженерів, спеціалістів з регулювання і бізнесменів. На відміну від інших високотехнологічних галузей, таких як інформаційні технології, біотехнологія вимагає широкого спектру вузькоспеціалізованих робіт. Ця складність необхідна для забезпечення того, щоб процес розробки продукту відповідав нормам, стандартам безпеки та відповідності. Вузькоспеціалізований характер біотехнологічної галузі може створити труднощі для шукачів роботи, які повинні орієнтуватися на складному ринку праці, щоб знайти відповідні можливості. Крім того, спеціалісти повинні постійно вдосконалювати свої навички та знання, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку праці.

Щоб подолати ці виклики, спеціалісти повинні застосовувати проактивний підхід до розвитку кар'єри. Це може включати пошук можливостей навчання та освіти, які можуть допомогти їм розвинути спеціальні навички, необхідні для роботи в біотехнологіях. Крім того, випускники повинні бути в курсі галузевих тенденцій і нових технологій, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку праці.

Девід Єнсен у результаті опитування рекрутерів виділив такі перспективні напрямки на ринку праці в галузі біотехнологій [20]:

- Відкриття ліків (біоінформатика, протеоміка, високопродуктивний скринінг, розробка аналізів, медичні хіміки).
- Розробка ліків (інженери з розробки процесів, спеціалісти з ферментації, спеціалісти з очищення білків, хіміки-технологи, спеціалісти з рецептур, спеціалісти з доставки ліків).
- Операції (виробництво, контроль/забезпечення якості, спеціалісти з валідації, біоаналітики).
- Регулятивні та клінічні (співробітники клінічних досліджень, спеціалісти з регулювання, спеціалісти з хімічного виробництва та контролю, керівники проектів).
- Бізнес (розвиток бізнесу, ліцензування, трансфер технологій, адвокати з інтелектуальної власності).

Розглядаючи дослідження і розробку фармацевтичних препаратів, варто відмітити, що це є складним процесом, який включає два основних етапи: відкриття ліків і розробку ліків. Ці етапи розділені початком клінічних випробувань. За оцінками, відкриття та розробка успішного нового фармацевтичного продукту займає в середньому від 10 до 15 років [21, 22]. Такий процес вимагає залучення великих міждисциплінарних проектних груп. На початкових етапах відкриття ліків увага приділяється біологічно орієнтованим дослідженням, які переважно відбуваються в лабораторії. У міру просування процесу хімічний досвід стає вирішальним для фармацевтичних відкриттів, тоді як досвід біотехнології та біоінженерії життєво важливий для відкриття та перевірки біологічних продуктів, таких як протеїнові препарати та вакцини. Характеристика молекул вимагає лабораторних випробувань їхніх фармакологічних властивостей, щоб передбачити їхню ефективність у людей як для відкриття фармацевтичних,

так і для біологічних продуктів. З початком клінічних випробувань необхідний досвід у біостатистиці, дизайні клінічних випробувань, біоетиці та нормативних питаннях.

Лю та Шмід оцінили різні типи робочих місць, доступних у фармацевтичній та біотехнологічній промисловості, як у великих, так і в малих компаніях [23]. Результати показують, що на категорію «Лабораторія» припадає приблизно 17% вакансій, розміщених у компаніях, які мають продукцію на ринку, незалежно від їх розміру. Решта позицій були в основному зосереджені на проведенні продуктів через процес регулювання та їх комерціалізації, причому категорія «Клінічна/регуляторна діяльність» складала 25%, категорія «Маркетинг/продаж» становила 27%, категорія «Виробництво» становила 7%, а категорія загальних та адміністративних - 24%.

Результати дослідження, наведені вище, допомагають оцінити, чи поточний навчальний план вищої освіти для спеціальностей наук про життя відображає реальність посад, які ці студенти отримують. Незважаючи на збільшення кількості студентів, які отримують вчені ступені з біологічних наук, дослідження свідчать про те, що належним чином підготовлених працівників важко знайти [24,25,26].

Дослідження, проведені за участю старших спеціалістів, які працюють у фармацевтичній та біотехнологічній сферах, свідчать про те, що мати вищу освіту недостатньо для працевлаштування в цих галузях [27]. У ряді робіт підкреслена потреба в тому, щоб випускники володіли як науковими знаннями, так і діловими навичками [28, 29, 30, 31]. Країни Європи та США намагаються подолати цю прогалину в навичках, Великобританія запровадила серію ініціатив [24]. У США організації, такі як W.M. Keck Foundation і A.P. Sloan Foundation, запускають програми для випускників, які наголошують на ефективній комунікації, вирішенні проблем, підприємстві та технічних інноваціях, включаючи програми стажування в промисловості

[30, 31]. Було визначено ключові робочі навички, такі як розуміння правових, нормативних і міжнародних аспектів науково обґрунтованих продуктів і послуг, які є вирішальними для успіху в біотехнологічній і фармацевтичній промисловості. У той час як традиційна підготовка вищих навчальних закладів у галузі наук про життя в основному зосереджена на лабораторних дослідженнях, понад 80% посад, які зараз доступні в біотехнологічній та фармацевтичній промисловості, займають нелaboratorні посади, такі як комунікації, маркетинг, розвиток бізнесу, право, управління проектами, регуляторні питання, або виробництво. Це свідчить про те, що науковим колам необхідно переглянути свої навчальні програми, щоб вони відповідали поточному складу посад у цих галузях. Такі програми, як ступінь магістра професійних наук, можуть забезпечити необхідну підготовку для багатьох посад у фармацевтичній та біотехнологічній галузях [32].

#### ***1.4. Важливість міждисциплінарного підходу***

Цінність біотехнологічної освіти широко визнається багатьма країнами, також відзначається збільшення кількості вступників на біотехнологічні програми навіть у країнах, що розвиваються [33]. Біотехнологія за своєю суттю є мультидисциплінарною галуззю з численними спеціалізованими підгалуззями, включаючи промислову біотехнологію, нанотехнологію, медичну нанотехнологію, медичну біотехнологію, сільськогосподарську біотехнологію, морську біотехнологію, біоінформатику, нейронауки, клінічні дослідження, інженерію біопроектів, мікробіологію, біохімічну інженерію, ветеринарну біотехнологію, розведення тварин, генетику та інші.

Традиційна організаційна структура університетів створює проблеми для проведення мультидисциплінарних досліджень через адміністративну автономію академічних факультетів і інститутів, конкуренцію між відділами за контракти та гранти, а також відсутність інтеграції між дослідженнями та викладанням. Одним успішним прикладом є створення міждисциплінарних центрів та інститутів у США, які пропонують основні лабораторні засоби,

доступні для всіх членів академічної спільноти [34]. Ці центри забезпечують лабораторне обладнання для дослідження студентів, а також можливості для співпраці з аспірантами та докторантами з інших відділів. Як наслідок, вони служать основою для мультидисциплінарних дослідницьких ініціатив у багатьох університетах. Оскільки ефективний діалог між науковцями з різних дисциплін необхідний для виховання мультидисциплінарних науковців, ці центри та інститути є одними з найбільш вигідних організаційних структур для підтримки та просування мультидисциплінарних досліджень.

Однак робота над науковою роботою в міждисциплінарній галузі може створити кілька проблем для студентів. Тим, хто займається такими дослідженнями, часто доводиться записуватися на більше курсів, які пропонують різні відділи, порівняно з їхніми колегами, що збільшує навантаження на курсову роботу. Крім того, проведення мультидисциплінарного дослідження вимагає від студента набуття досвіду в різних областях, що вимагає балансу між глибиною та широтою знань. Це може виявитися особливо складним, оскільки студенту, можливо, доведеться взаємодіяти з викладачами з різних професій, що може призвести до потенційного непорозуміння або перевищення академічних норм. Крім того, випускникам із міждисциплінарним досвідом може бути важче знайти роботу, оскільки роботодавці можуть вважати їхні знання занадто широкими або недостатньо глибокими в певній галузі інтересів. Також поширення результатів дослідження може бути проблемою, оскільки міждисциплінарні дослідження можуть не бути широко прийнятими або визнаними традиційними академічними виданнями. Поточна академічна інфраструктура, включно з системою перебування на посаді, також може бути недостатньо обладнаною для розміщення наступного покоління міждисциплінарного факультету через повільні темпи змін в університетах.

Найбільш захоплюючі та продуктивні сфери науково-технічних інновацій наразі відбуваються на стику різних дисциплін, таких як

нанотехнології, нанобіотехнології та синтетична біологія. Хоча глибокі спеціалізовані знання є важливими для прогресу, також стає все більш важливим мати вчених, які можуть спілкуватися кількома науковими мовами, робити внесок у різні галузі досліджень, а також виявляти та використовувати синергію між ними. Крім того, зростає потреба в особах, які можуть поєднати науку, соціальні науки, етику та політику для застосування досліджень і розробок у суспільстві. Здатність об'єднати ці різні галузі життєво важлива для наступного покоління науково-технічних інноваторів і активістів за умови, що вони отримають для цього необхідну освіту та підготовку. Спостерігаються позитивні результати програм, які навчають науковців працювати в різних дисциплінах, про що свідчить існування таких галузей, як нанобіотехнологія. Однак навчальним закладам все ще потрібно досягти більшого прогресу, щоб подолати давні бар'єри на шляху ефективної мультидисциплінарної освіти [35]. Дисциплінарна ідентичність, вимоги до терміну перебування та неадекватна навчальна інфраструктура можуть зробити міждисциплінарне навчання важким і часто не вигідним процесом.

### ***1.5. Варіанти покращення освітніх програм***

Університети мають можливість контролювати, яка інформація поширюється та скільки її поширюється. Традиційні методи освіти та навчання часто зосереджуються на передачі величезної кількості знань і навичок. Університети трансформували навчальну програму за останні десятиліття, щоб включити нові науки молекулярної біології, генетики та геноміки; познайомили студентів з деталями рецепторів і протеоміки [36]. Однак цей підхід має недоліки, оскільки неможливо встигати за постійною та безпрецедентною швидкістю, з якою інформація розмножується, що призводить до інформаційного перевантаження. Щоб вирішити цю проблему, найпростішим рішенням для магістерських програм може бути скорочення змісту курсу.

Ще один важливий фактор, що потрібно розглядати при розробці змісту курсів — це постійно мінливий характер навичок співробітників. Співробітники постійно навчаються та вдосконалюються протягом своєї кар'єри, оскільки організації постійно змінюються. Адаптація до змін, вихід на нові ринки, розробка нових продуктів, розуміння споживчих тенденцій, що розвиваються, і орієнтування в мультиетнічному, мультикультурному світі – все це каталізатори для нового способу навчання [9]. Тому важливо визначити пріоритетність знань, необхідних для конкретного контексту, а не просто передавати знання на основі предмета. У центрі уваги дизайну контенту та управління ним має бути релевантність, а не предмет.

У наступне десятиліття навички математики та природничих наук будуть необхідні для 80% робочих місць [37]. Це означає, що програми з біохімії та молекулярної біології повинні адаптувати та використовувати нові підходи до навчання, щоб підготувати студентів до кар'єри в різних міждисциплінарних галузях, таких як промисловість, наукові дослідження, освіта, інженерія та медичні професії. Щоб досягти цієї мети, студенти повинні цінуватися як особистості, а навчальна програма повинна інтегрувати останні відкриття з первинної літератури, експериментальних досліджень, аналізу даних і наукових робіт. Сучасна освіта з біохімії та молекулярної біології також повинна надавати пріоритет критичному мисленню, експериментальному тестуванню, обчислювальному моделюванню та логіці висновків. Для створення сприятливого навчального середовища вкрай важливо підтримувати постійні дослідження, надавати наставництво, доступ до необхідного обладнання та найсучасніших засобів. Зрештою, освіта має ґрунтуватися на передових дослідженнях та інтегруватися з ними.

Блек у 2020 році виділив такі ключові моменти трансформації навчальних програм [37]:

- Прагнення до досконалості як у викладанні, так і в дослідженні

- Заохочування дослідницької та творчої роботи, яка веде до відкриттів і просуває суспільство
- Започатковування дослідницької та творчої роботи як основи викладання та навчання
- Підготовка студентів до успішної кар'єри в біохімії та суміжних галузях за допомогою навчання, орієнтованого на учня
- Сприяння взаємодії з науковими, діловими та громадськими спільнотами в глобальному масштабі
- Підтримка різноманітності та інклюзивності в академічному середовищі.

У 2000 році благодійним фондом було проведено дослідження щодо зміни вищої освіти, в якому брали до уваги відгуки студентів [38]. Дослідження виявило, що студенти хотіли більше можливостей застосувати свої знання та навички в різних контекстах, і запропонували навчальну програму, засновану на моделі кількох наставників. Студенти також закликали до планування кар'єри, щоб включати питання викладання та навчального плану, а також до більш практичних способів зрозуміти актуальність їхньої освіти в глобальній економіці.

Підготовка студентів до майбутньої підприємницької діяльності в галузі біотехнологій є важливою проблемою в багатьох частинах світу, тому що більшість країн прагнуть отримати переваги від інвестицій в університетське навчання та дослідження через розвиток економіки, заснованої на знаннях, керованої висококваліфікованою робочою силою [39, 40]. Сучасні студенти біотехнології приєднуються до робочої сили в глобалізованому суспільстві, де вони повинні бути оснащені основними особистими навичками, такими як гнучкість, креативність і критичне мислення. Університети повинні розвивати ці навички у своїх студентів, щоб вони залишалися конкурентоспроможними на ринку праці. Просто любові до науки та навчання вже недостатньо. Зокрема, студентів біотехнології

необхідно навчити визначати комерційне застосування науки та зв'язки між наукою та бізнесом.

Найважливіша мета біотехнологічної освіти полягає в тому, щоб навчити студентів підприємницьких навичок як в академічному, так і в корпоративному середовищі [41]. Такий підхід дозволить студентам зрозуміти, як наукові інновації можна перетворити на бізнес-можливості, що необхідно для вирішення як освітніх потреб, так і економічних реалій країни. Щоб досягти цього, необхідно тісніше співробітництво між університетами та біотехнологічними галузями. Бізнес-спільнота повинна брати активнішу участь в освіті та дослідженнях на всіх рівнях, співпрацюючи з університетами для створення нових навчальних програм, які готують студентів-біотехнологів до переходу від академічного середовища до підприємницького світу. Ці програми повинні охоплювати широку обізнаність про індустрію біотехнологій, включаючи вплив патентів, можливості інтелектуальної власності, управління бізнесом та міждисциплінарну командну науку. Крім того, інновації та креативність також є важливими компонентами підприємництва. Хоча основною метою університетів є не випуск продукції на ринок, вони повинні розширити свою місію, щоб підтримувати як «фундаментальні дослідження, що надихають використання», так і стимулювати технологічні інновації [42, 43]. Крім того, слід розробити відповідні навчальні програми для сприяння бізнес-орієнтованому та підприємницькому мисленню серед дослідників-стажерів. Оскільки підготовка в університеті має сильний академічний акцент, випускники можуть мати вузьку спеціалізацію та бути погано підготовленими для адаптації до викликів технологій і підприємництва. Встановлення правильного балансу між спеціалізованою дослідницькою підготовкою та більш загальними професійними та кар'єрними навичками, такими як наука про команду, управління проектами та ефективне спілкування, є критичним питанням.

Значення стажування в програмі отриманні ступеню з біотехнології для сприяння біотехнологічному підприємництву викликає інтерес. Університет Case Western Reserve у Сполучених Штатах має програму магістра наук (MSc) з біотехнологічного підприємництва [44], яка є частиною Програм підприємництва в галузі науки та технологій (STEP) [45]. Програми STEP включають річне стажування, під час якого студенти готують бізнес-плани, пропонують гранти, оцінюють технології, досліджують потенціал ринку, а іноді й розробляють технології. Стажери STEP, як правило, високопродуктивні, і їхня робота часто генерує достатньо коштів для підтримки їхнього можливого працевлаштування в компанії. Однак успіх програми залежить від тривалості стажування. Спонсори стажування надають інформацію про ресурси та доходи, прямо чи опосередковано пов'язані з діяльністю стажерів STEP. За 2007-2011 роки 51 студент STEP разом зробили прямий внесок у розмірі 30 мільйонів доларів США та опосередковано внесли 95 мільйонів доларів у приймаючі організації [46]. Програма Case Western Reserve University передбачає розміщення стажерів в академічних лабораторіях для оцінки та комерціалізації технологій.

Для тих, хто хоче працевлаштуватися в біотехнологічній фірмі, було б доцільно пройти курс біохімії разом із курсами мікробіології та генетики. Хоча базові курси, такі як зоологія, ботаніка та загальна біологія, є передумовами для поглиблених курсів, таких як фізіологія, мікологія та ендокринологія, їх не слід уникати. Натомість ці початкові курси слід розглядати як базові та передумови перед тим, як заглиблюватись у більш просунуті курсові роботи.

Лабораторні навички також необхідні для багатьох біотехнологічних посад. Колишній професор, який зараз є віце-президентом біотехнологічної компанії рослин, розкритикував нинішніх і колишніх професорів, сміливо заявивши, що «студенти мало вчаться на лабораторних курсах» [47]. Можливо, тому багато потенційних роботодавців вважають за краще наймати

досвідчених співробітників, які вже працювали, а не нових випускників із високим середнім балом і без досвіду. Роботодавці також наголошують на важливості відповідного досвіду роботи на додаток до наукової роботи з біотехнології. Очевидно, що перед тим, як претендувати на посаду, необхідно мати відповідний досвід роботи.

Існують різні способи для студентів отримати досвід роботи, працюючи влітку, допомагаючи старшим науковцям, проходячи стажування або знаходячи роботу на рік або більше, перш ніж подавати заявку в біотехнологічні фірми. Також не варто випускати з уваги волонтерську роботу. Багато викладачів біологічного факультету наймають асистентів-дослідників. Професори-дослідники, які наймають асистентів, часто прагнуть швидко заповнити цю посаду, тому студенти повинні йти безпосередньо до своєї лабораторії зі своїм резюме, а не надсилати лист із запитом.

Біотехнологічні фірми зазвичай наймають осіб із відповідним досвідом роботи та науковою роботою з біохімії, молекулярної біології, загальної мікробіології, імунології та рекомбінантної ДНК. Біотехнологічні фірми використовують різні методи для заповнення посад, причому найбільш популярними є сайти для пошуку роботи, професійні публікації та прямі заявки. Майже половина фірм користується послугами університетських відділень практики [47].

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ПРОГРАМ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ «МАГІСТР» У ПРОВІДНИХ УНІВЕРСИТЕТАХ СВІТУ

#### 2.1. Збір та попередній аналіз даних

Основними критеріями для відбору університетів для аналізу були рейтинги URAP та RUR.

URAP (University Ranking by Academic Performance/Рейтинг Університетів за Академічною Успішністю) - це метод оцінки рейтингу університетів, що базується на академічній продуктивності університетів та їх впливі на наукове дослідження. Метод використовує широкий набір показників для оцінки рейтингу університетів. До основних показників входять наукова продуктивність, яка вимірюється кількістю наукових публікацій та цитуваннями, і вплив університету, який відображається через кількість цитувань, отриманих університетом [48]. URAP також враховує міжнародну співпрацю університетів, вимірюючи кількість спільних публікацій з міжнародними авторами. Крім того, метод оцінки враховує наукову різноманітність університету, що оцінюється за допомогою кількості наукових областей в публікаціях.

Метод RUR World University Rankings базується на комплексному підході до оцінки університетів, включаючи такі фактори [49]:

- Академічна репутація
- Рейтинг випускників: враховується успішність випускників університету, їхнє працевлаштування та кар'єрні досягнення.
- Наукові публікації та цитування: аналізується кількість наукових публікацій, які випускаються університетом, а також кількість цитувань цих публікацій іншими вченими.
- Співвідношення студентів: співвідношення студентів та викладачів

- Міжнародна співпраця: партнерства з іншими університетами, обмін студентами та викладачами тощо.

Вибірка університетів для аналізу зібрана методом convenience sampling (вибірка без вимог до репрезентативності), опираючись на зручність отримання повної інформації про навчальні програми, доступність навчальних планів, рейтингів та додаткової інформації. Ранжування рейтингів університетів по URAP у вибірці складає 1-1705, по RUR – 1-691.

Для аналізу обирались магістерські навчальні програми по напрямку «Біотехнологія» та інші варіації даної спеціалізації, представлені у передових університетах. Попередня інформація щодо програм була зібрана на науковому порталі <https://www.mastersportal.com/>. Подальший збір даних включав пошук програми на офіційних сайтах університетів, детальних аналіз освітніх планів, форматування даних у зведену таблицю, що включає:

- Рейтинг URAP
- Рейтинг RUR
- Країну знаходження університету
- Назву навчальної програми
- Університет
- Обов'язкові предмети
- Предмети на вибір
- Тривалість навчання (у місяцях)
- Вартість року навчання
- Кількість запропонованих спеціалізацій (якщо існує поділ)
- Інформацію щодо спеціалізацій.

Величина вибірки для аналізу становить 39 університетів, з них 33 не мають поділу на спеціалізації, а інші 6 пропонують від 2 до 6 напрямків. Також був здійснений поділ програм по основному фокусу, базуючись на обов'язкових предметах та предметах на вибір, що пропонуються для

магістрів. Такий поділ дозволяє проаналізувати тенденції більш детально, оскільки зміст освітніх програм із широкою назвою «Біотехнології» варіюється залежно від університету. Поділ включає такі підпункти:

- «Біотехнологічна індустрія» - основний наголос на підготовці спеціалістів для роботи на біотехнологічних підприємствах.
- «Загальна біотехнологія» - програми, що дозволяють студентам обирати курси з будь-якого напрямку (дослідження, індустрія, бізнес тощо) або надають загальні знання без фокусу на спеціалізації.
- «Бізнес» - основний наголос на комерціалізації результатів досліджень, діловодстві, патентах, менеджменті у сфері біотехнологій.
- «Інженерія» - основний наголос на прикладних біотехнологіях, хімічній та біологічній інженерії.
- «Біотехнології навколишнього середовища» - основний наголос на прикладному використанні біотехнологій для покращення стану навколишнього середовища, дослідження екосистем.
- «Фармацевтична індустрія» - основний наголос на підготовці дослідників нових фармацевтичних препаратів, роботі в лабораторіях різних рівнів, використанні біотехнологій у терапії та медицині.
- «Дослідження» - основний наголос на підготовці науковців. Такі програми включають поглиблене вивчення генетики, мікробіології, молекулярної біології, відводять велику частину програми на дослідження та лабораторну роботу та часто є міждисциплінарними.

На рисунку 1.1 зображений розподіл по напрямках аналізованих програм 33 університетів, що пропонують тільки один варіант магістерської програми з біотехнологій. Візуалізація свідчить про те, що майже половина

університетів (16 з 33) зосереджуються на підготовці науковців із наголосом на академічну чи науково-дослідну діяльність. Другим за поширенням напрямком є біотехнологічна індустрія, а третє та четверте місце посідають напрямки з фармацевтичним та бізнес нахилами.

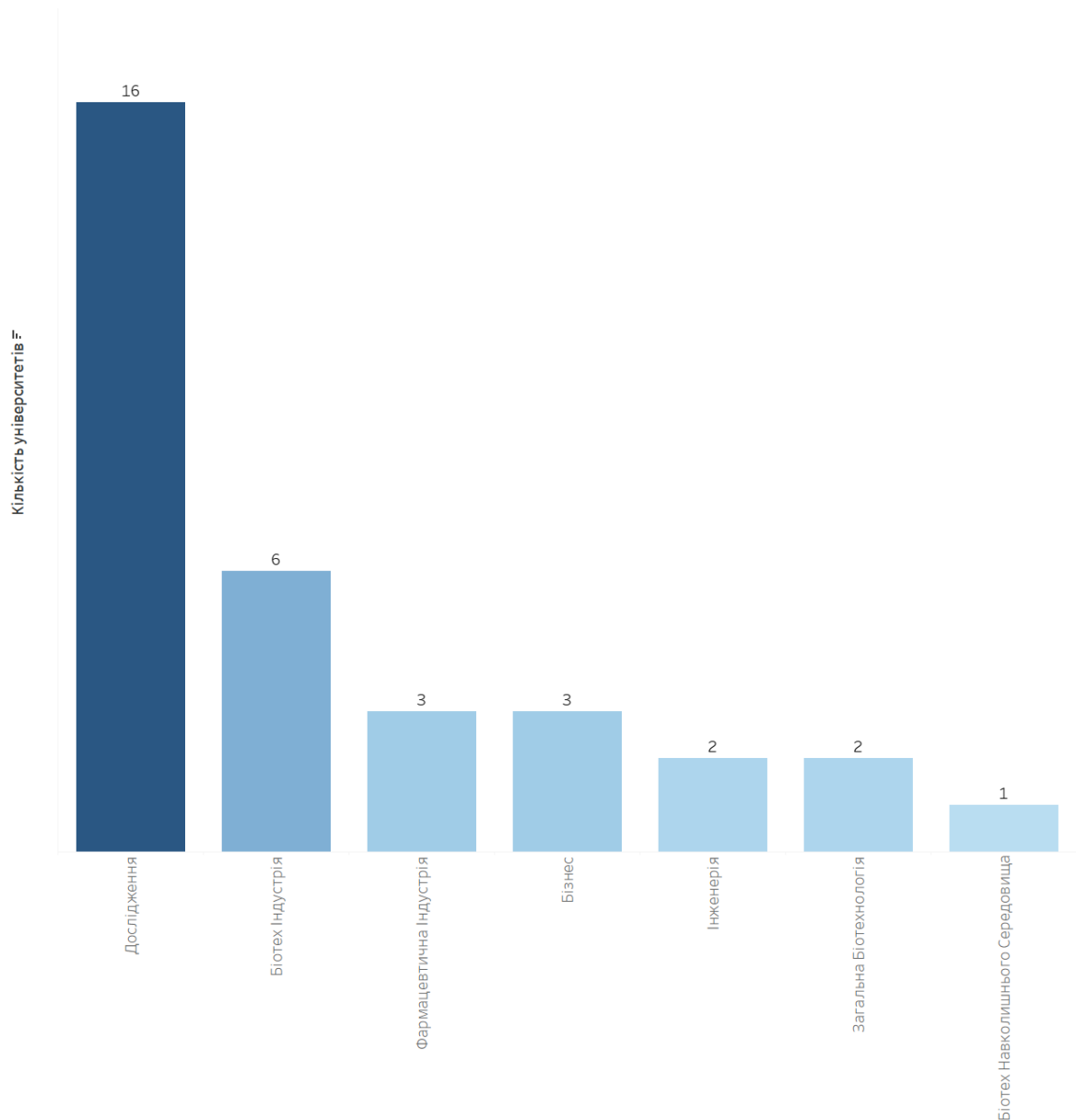


Рис. 1.1. Візуалізація розподілу основних напрямків навчальних програм університетів, що не пропонують спеціалізації

Аналіз шести університетів, що пропонують спеціалізації магістерських програм, свідчить про те, що основною метою цих університетів є підготовка фахівців у різних галузях (рисунок 1.2). Студенти

мають можливість обирати спеціалізацію, яка найкраще відповідає їхнім індивідуальним інтересам та професійним цілям. Проте деякі з досліджених університетів, такі як Джорджтаунський університет та Університет Західної Австралії, пропонують спеціалізації, які зосереджені на певних ключових напрямках, таких як комерціалізація біотехнології або дослідження екології та прикладне застосування біотехнологій для поліпшення навколишнього середовища.



Рис. 1.2. Результати дослідження основних напрямків навчання університетів, що мають поділ біотехнологічної магістерської програми на спеціалізації

У вибірці представлені університети країн Європи, Азії, Австралії та Північної Америки. Тривалість магістерських програм варіюється від 10 до 24 місяців навчання. Оплата за навчальні програми варіюється від 0 до 67 428 у фунтах стерлінгів/рік. Візуалізації розподілу даних зображені на рисунках 1.3-1.4.

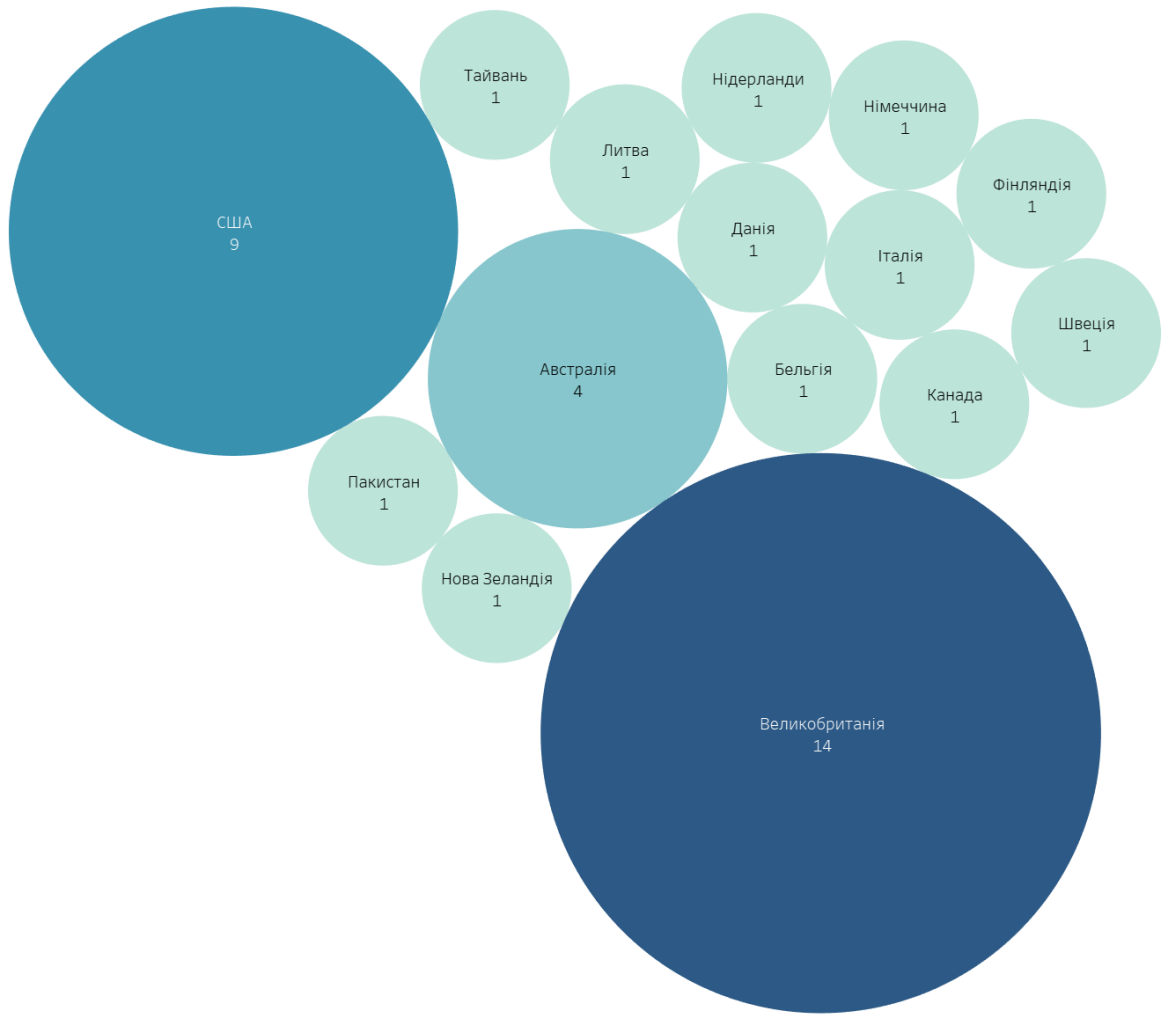


Рис. 1.3. Кількісний розподіл аналізованих університетів по країні місцезнаходження

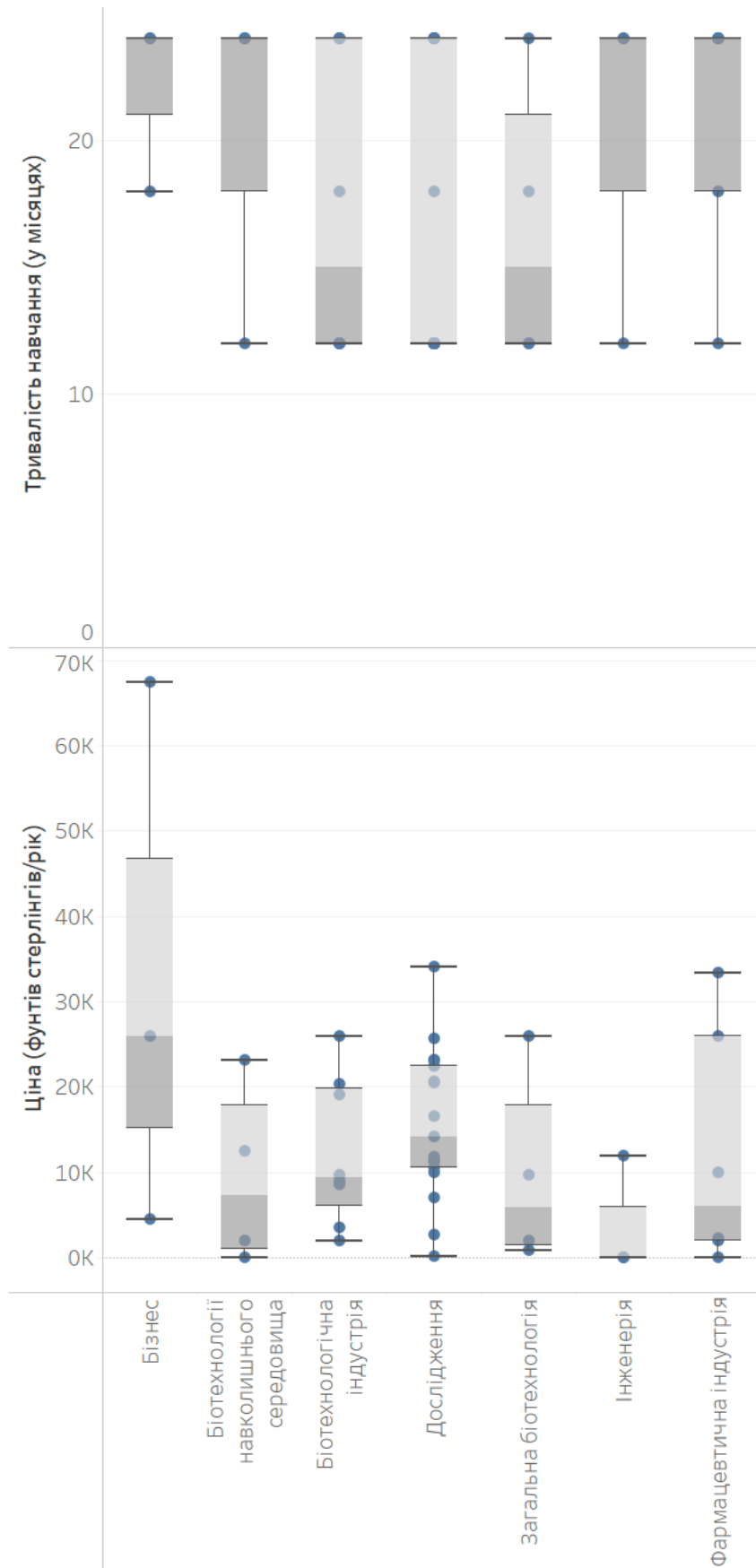


Рис. 1.4. Графік «ящик з вусами», що зображує розподіл даних щодо ціни та тривалості навчання по напрямках освітніх програм

## *2.2. Аналіз предметів у магістерських навчальних програмах з біотехнологій*

Зібрані дані щодо навчальних програм у вибраних провідних університетах світу були подалі досліджені для виявлення найпоширеніших наукових дисциплін, що пропонуються магістрам. Для знаходження тенденцій у навчальних планах, аналізу основних предметів та предметів на вибір був здійснений пошук по ключових словах за допомогою Python. Фрагменти коду винесені у додаток А.

Обмеження дослідження, що варто відзначити, включають відсутність переліку предметів на вибір у двох університетах з вибірки, оскільки студенти у Університеті Ла Тробе та Джорджтаунському університеті можуть обирати елективні курси з суміжних спеціальностей і їх перелік не представлений у програмах.

Спершу пошук по ключових словах був проведений для обов'язкових дисциплін. Було обрано 15 слів, що найчастіше зустрічались у назвах наукових дисциплін, які є обов'язковими у магістерських програмах. Результат пошуку представлений на рисунку 2.1. П'ятьма основними ключовими словами для таких дисциплін виявились «біотехнології», «дослідження», «молекулярна», «біологія» та «проект». Також дослідження показало, що серед обов'язкових предметів є переважно вступні та поглиблені курси, які охоплюють багато аспектів предмету і не є вузько спеціалізованими. Дослідження та проекти, що включають роботу над науковою роботою, лабораторні роботи та, власне, вивчення методів і аспектів досліджень, є обов'язковими в усіх програмах. Варто відзначити, що предмети, пов'язані з менеджментом і етикою, зустрічаються також часто і виносяться як основні курси. Також багато дисциплін зосереджені на прикладному використанні отриманих знань. Більш детальна таблиця з переліком навчальних дисциплін, що входять до кожної категорії ключового слова винесена у додаток Б.

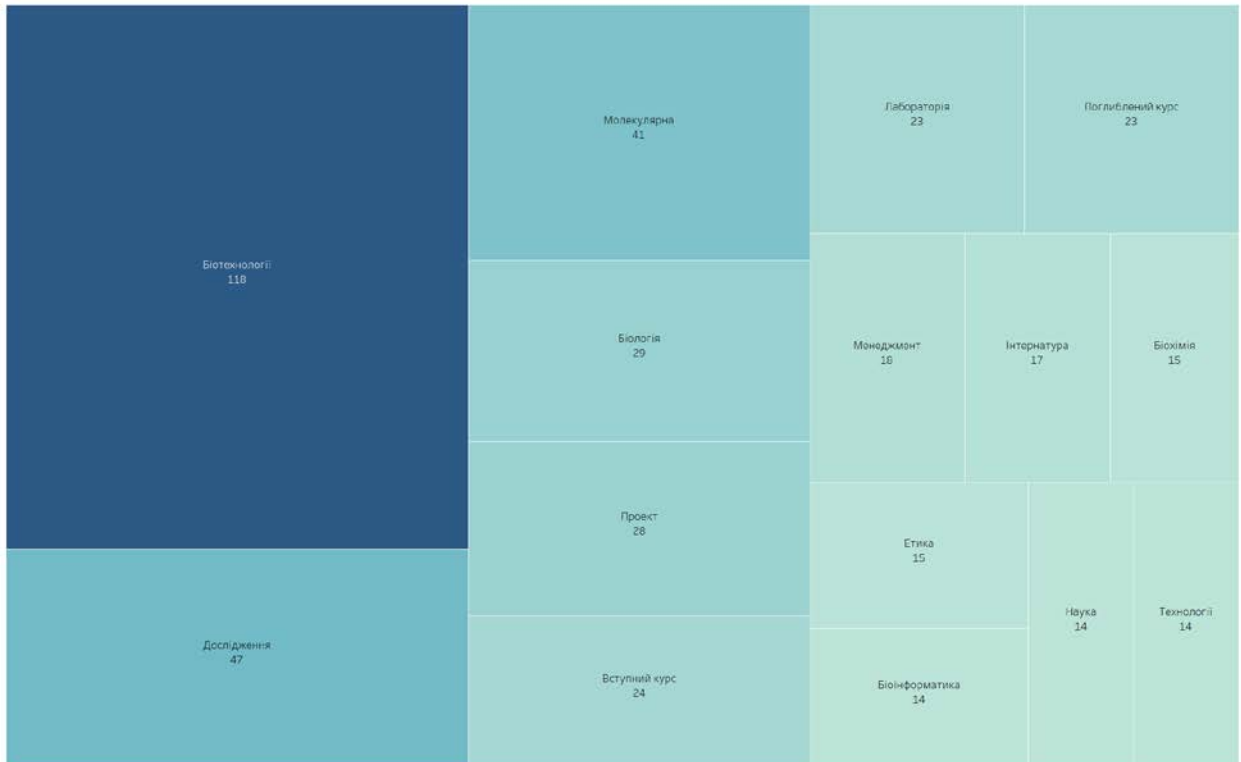


Рис. 2.1. Візуалізація частоти ключових слів у назвах обов'язкових навчальних дисциплін аналізованих магістерських програм

Наступним кроком були проаналізовані навчальні дисципліни на вибір. Запропоновані предмети переважно є вузькоспеціалізовані з нахилом на промислове або лабораторне застосування біотехнологічних аспектів, а також виділяється кластер додаткових дисциплін, що орієнтуються на біомедицину чи розробку ліків. «Біоінформатика» та «аналіз» зустрічаються частіше серед предметів на вибір, які зорієнтовані на прикладний аналіз даних, потрібний для наукових досліджень, бази даних для геноміки та програмування. Розподіл п'ятнадцяти найпоширеніших ключових слів зображено на рисунку 2.2, а детальний список предметів винесений у додаток Б.



Рис. 2.2. Візуалізація частоти ключових слів у назвах навчальних дисциплін на вибір

Подальший аналіз двох сетів навчальних дисциплін включав розрахунок схожості між ними, у першому випадку – відсоток збігів у переліках повних назв предметів, у другому – збіги окремих слів. Для знаходження збігів між повними назвами обов'язкових предметів та предметів на вибір був використаний алгоритм Реткліффа-Обершелпа, який шукає найдовшу підпоследовність, що співпадає в обох аналізованих текстах. Розташування предметів у списку було виключено з алгоритму. У результаті аналізу був отриманий відсоток схожості двох сетів як 4,396%. Для аналізу окремих слів список предметів був розділений на слова за виключенням сполучників і допоміжних слів. Статичний вимір, отриманий в результаті, визначає, як тісно пов'язані два сети даних, і дорівнює 42,748%. Вищий відсоток схожості між окремими словами, ніж між повними назвами предметів, доводить високий рівень схожості словника і вмісту сетів даних, проте відмінність у структурі.

Аналіз найпоширеніших п'ятнадцяти ключових слів у двох вибірках одночасно підтверджує наступні відмінності у курсах:

- Науково-дослідна і лабораторна робота виноситься в основному як обов'язковий предмет, в той час як студенти все ще мають можливість працювати над науковими роботами додатково;
- Фокус обов'язкових предметів падає на різні аспекти біотехнології, а інші розділи біології пропонуються як предмети на вибір;
- Магістрам потрібно обов'язково брати вступні курси з можливістю взяти поглиблений курс додатково, проте навчальні програми зі спеціалізацією пропонують поглиблені курси як обов'язкові;
- Предмети з нахилом на бізнес і управління виносяться як і в обов'язкові, так і у елективні;
- Провідні університети впроваджують вивчення етики у біотехнологіях як основні предмети;
- Підкреслюється важливість біоінформатики та аналізу даних, як і впровадженням цих дисциплін в основну програму, так і широким списком предметів на вибір для поглиблення знань;
- Науково-дослідна і проектна робота залишається основним напрямком підготовки магістрів.

Дані наведені у таблиці 2.1, фрагмент коду наведений у додатку В.

| Ключове слово    | Кількість: обов'язкові предмети | Кількість: предмети на вибір | % різниці |
|------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| Біотехнологія    | 114                             | 69                           | 39.47     |
| Дослідження      | 47                              | 21                           | 55.32     |
| Молекулярна      | 41                              | 57                           | 28.07     |
| Проект           | 27                              | 15                           | 44.44     |
| Біологія         | 24                              | 63                           | 61.90     |
| Вступний курс    | 24                              | 11                           | 54.17     |
| Поглиблений курс | 23                              | 31                           | 25.81     |
| Лабораторія      | 23                              | 11                           | 52.17     |
| Менеджмент       | 18                              | 20                           | 10.00     |
| Технології       | 14                              | 14                           | 0.00      |
| Біоінформатика   | 13                              | 26                           | 50.00     |

|             |    |    |       |
|-------------|----|----|-------|
| Біохімія    | 13 | 17 | 23.53 |
| Білок       | 13 | 9  | 30.77 |
| Етика       | 13 | 4  | 69.23 |
| Інтернатура | 13 | 2  | 84.62 |

Таблиця 2.1. Результат порівняльного аналізу ключових слів у двох вибірках навчальних дисциплін

### ***2.3. Дослідження залежності кількості запропонованих предметів від інших змінних***

Було висунуто гіпотезу, що кількість обов'язкових предметів та предметів на вибір пов'язана з напрямком програми. Тобто більш вузьконаправлена програма матиме велику кількість спеціалізованих обов'язкових предметів і невеликий вибір додаткових, і навпаки, загальні біотехнологічні програми дозволятимуть студентам обирати спеціалізацію за допомогою додаткових предметів, тому їх кількість має бути значно більшою.

Для попереднього аналізу даних про дисципліни було створено графіки «ящик з вусами», щоб оцінити їх розподіл. Варто відзначити, що до даного дослідження не входять програми Університету Ла Тробе і Джорджтаунського університету у зв'язку з відсутністю даних про точну кількість елективних курсів. Візуалізації розподілу даних наведені на рисунках 3.1 та 3.2 нижче. Медіана кількості обов'язкових дисциплін дорівнює 6, дисциплін на вибір – 13. Міжквартильний розмах, діапазон між першим та третім квартилем, є відповідно 4-10 та 5-24 предметів.

Викидами, тобто точками даних за межами вусиків, на графіку розподілу кількості обов'язкових дисциплін є Гарвардський університет з програмою бізнес нахилу (19 дисциплін), Університет Західної Австралії з програмою науково-дослідного нахилу (25 дисциплін) та Торонтський університет зі спеціалізованою програмою по фармацевтичній промисловості (26 дисциплін). Ці програми включають значно більшу кількість

обов'язкових предметів, ніж інші, і відхиляються від загального розподілу, тому були згадані окремо. Викидами на графіку розподілу кількості дисциплін на вибір є Гентський університет (67 дисциплін) та Гарвардський університет (77 дисциплін).

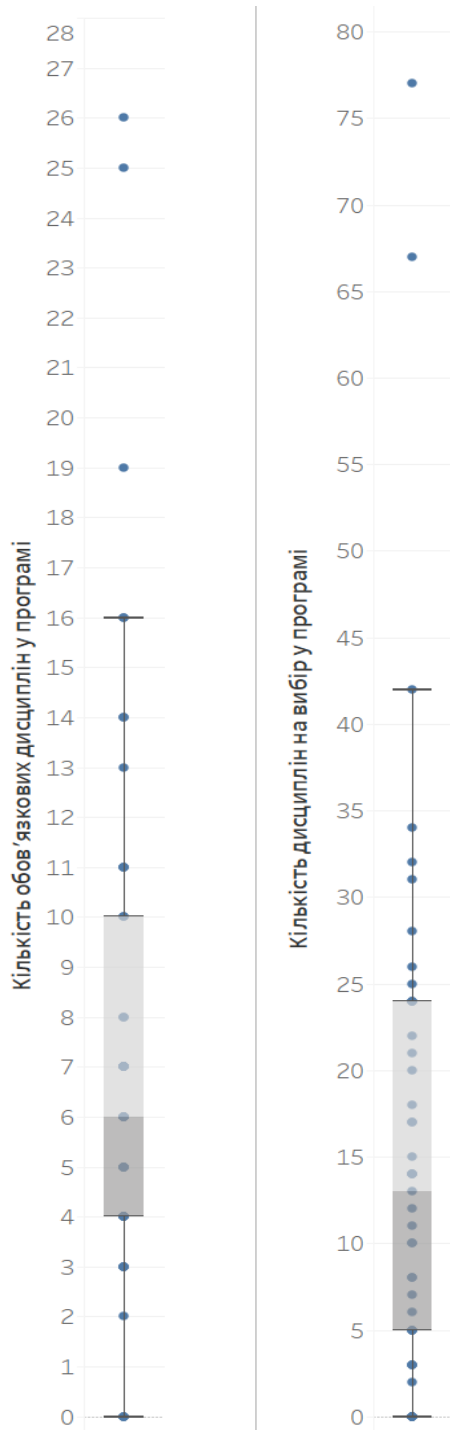


Рис. 3.1-3.2. Графік розподілу сумарної кількості запропонованих обов'язкових та додаткових навчальних дисциплін у програмах

Для детальнішої оцінки розподілу даних було доцільно проаналізувати графік «ящик з вусами» з поділом на основні напрямки магістерських програм. Видовженість ящика на графіку "ящик з вусами" надає інформацію про розкид або варіабельність даних. Чим більше ящик видовжений, тим більша варіабельність у наборі даних і вища дисперсія. Навпаки, якщо ящик на графіку короткий, це вказує на меншу варіабельність даних і звужену дисперсію. Це може вказувати на те, що дані відносно однорідні та мають малу різницю між значеннями.

Якщо порівнювати графіки «ящик з вусами» без поділу (рис. 3.1-3.2) і графіки з поділом на напрямки (рис. 3.3), то можна сказати, що кількість викидів значно менша при порівнянні кількості предметів серед програм одного напрямку. Також, велика дисперсія даних у певних напрямках пояснюється меншою кількістю програм цих напрямків у вибірці. Два найпоширеніші напрями – біотехнологічна промисловість та дослідження мають короткі ящики, що свідчить про дотримання одного «зразку» укладання навчальних програм, проте вони також є єдиними напрямками з викидами.

Цікаво відзначити, що досить часто зустрічаються нижчі значення вусів на рівні нуля, які означають відсутніх обов'язкових або елективних дисциплін у програмі.

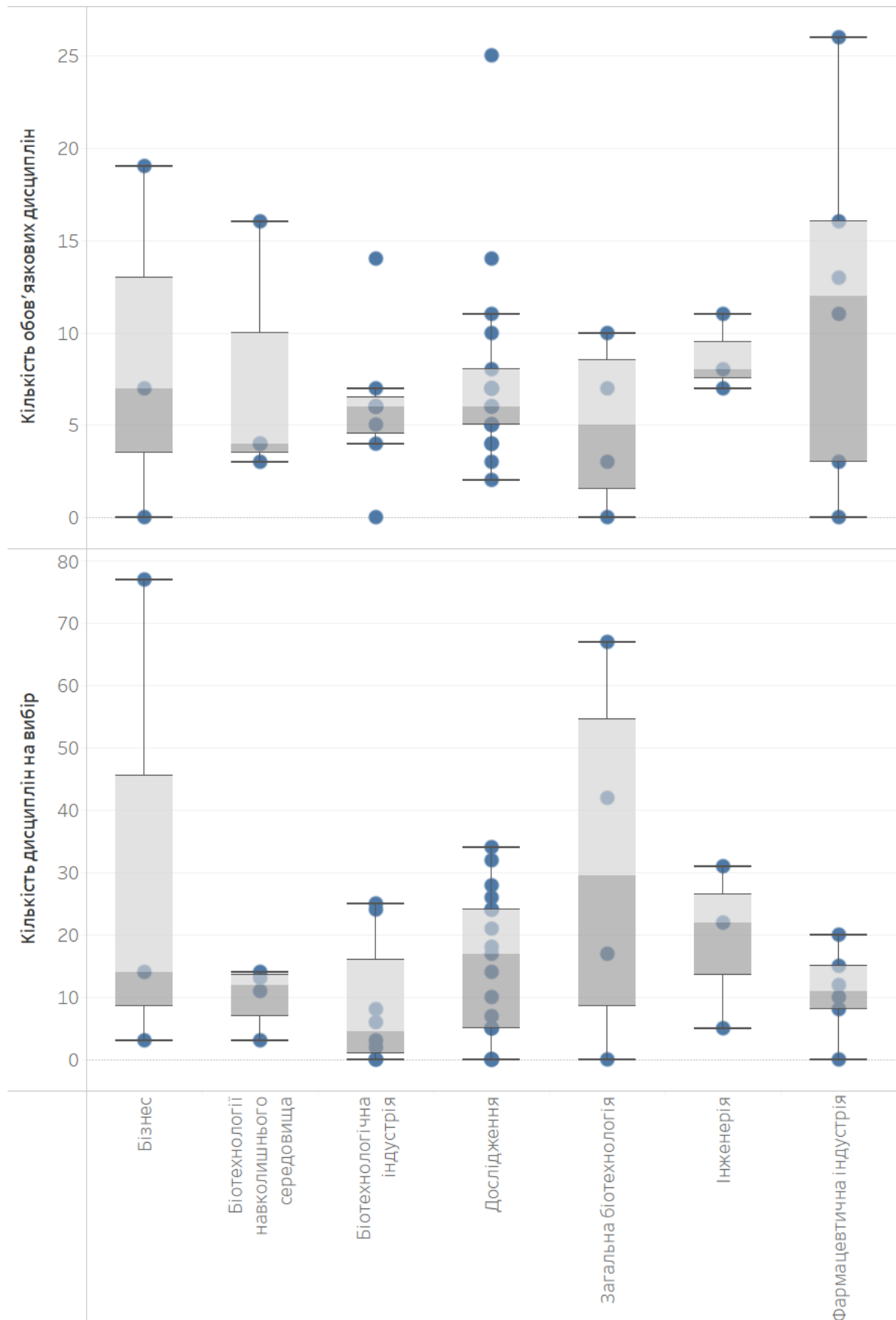


Рис. 3.3. Графічне зображення розподілу даних кількості предметів навчальних програм по напрямках за допомогою візуалізації «ящик з вусами»

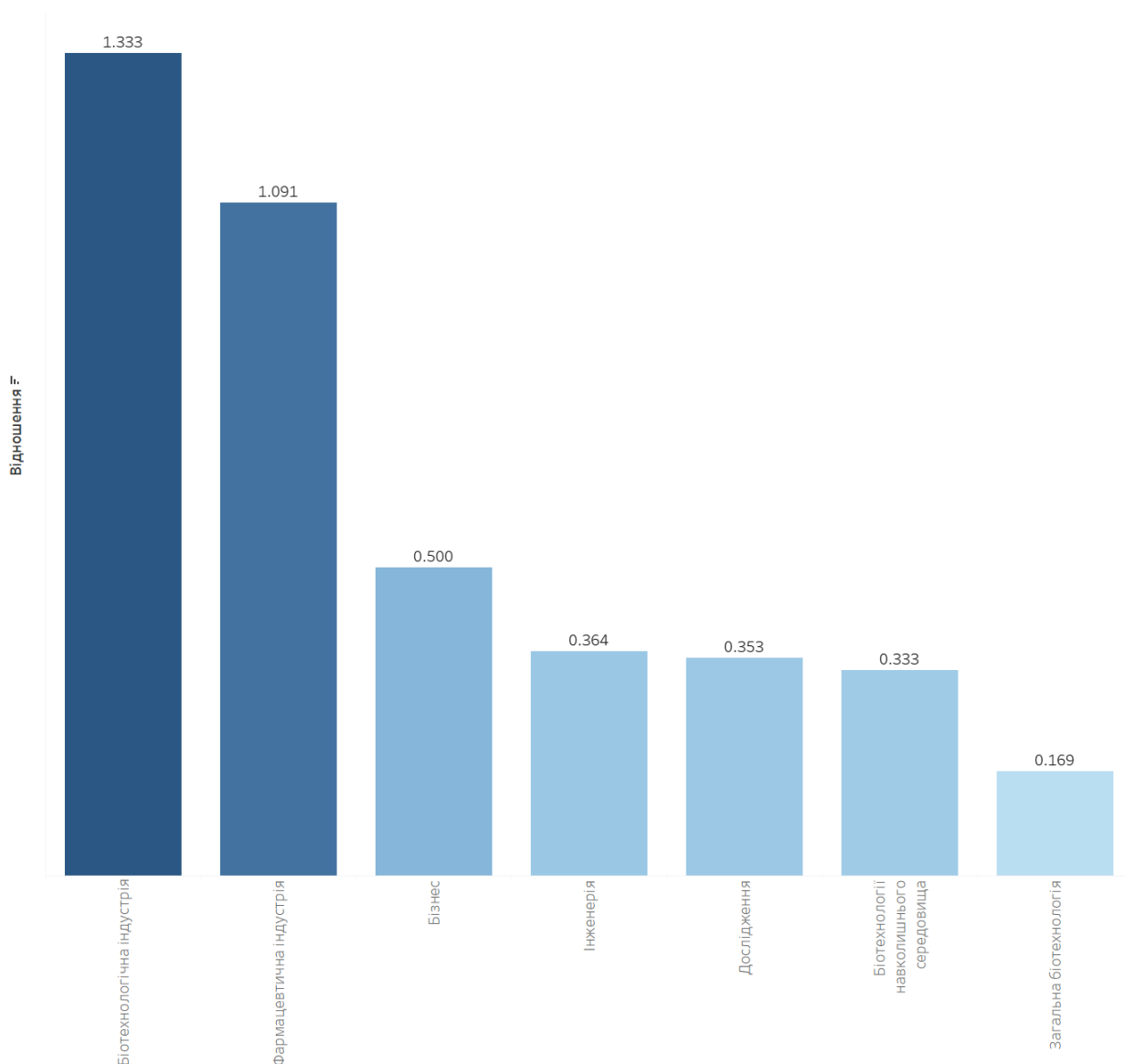


Рис. 3.4. Відношення медіан кількості обов'язкових дисциплін та дисциплін на вибір за напрямками навчальних програм

Проаналізувавши відношення медіан кількості обов'язкових дисциплін та дисциплін на вибір за напрямками навчальних програм (рис. 3.4), можна припустити, що попередньо наведена гіпотеза вірна. Програми, що спеціалізуються на підготовці фахівців для промислової та фармацевтичної біотехнологічної роботи мають найвищі значення, в той час як науково-дослідні напрямки та загальна біотехнологія мають низькі показники. Це пояснюється тим, що для працевлаштування у сфері промисловості чи розробки ліків потрібний конкретний набір навичок та знань, а студентам, що

бажають продовжувати кар'єрний шлях у науці дозволяється обирати предмети, що відповідають їх науковим інтересам.

Наступною гіпотезою було те, що кількість запропонованих предметів може варіюватись залежно від країни розташування університету у зв'язку із законодавчими нормами та тривалістю програм. На рисунку 3.4 зображений розподіл даних по кількості обов'язкових та елективних дисциплін, а також їх відношення відносно до країни розташування університету. Окрема точка даних відповідає одному університету. Для університетів зі спеціалізаціями біотехнологічної програми було взято середнє числове значення. Отриманий результат не дає можливості спростувати чи підтвердити гіпотезу у зв'язку з тим, що один університет у випадку більшості країн вибірки не може бути достатньою основою для доведення статистичної кореткності припущення. Проте, можна зробити попередній висновок про провідні університети Великої Британії та США. Університети Сполучених Штатів Америки, порівняно із іншими країнами, пропонують велику кількість як обов'язкових, так і елективних предметів, але в загальному показник їх відношення залишається низьким. Університети Великої Британії мають велику дисперсію відношень, проте чітко спостерігається тренд вузького вибору додаткових предметів. Залежності між кількістю навчальних дисциплін та тривалістю магістерської програми виявлено не було.

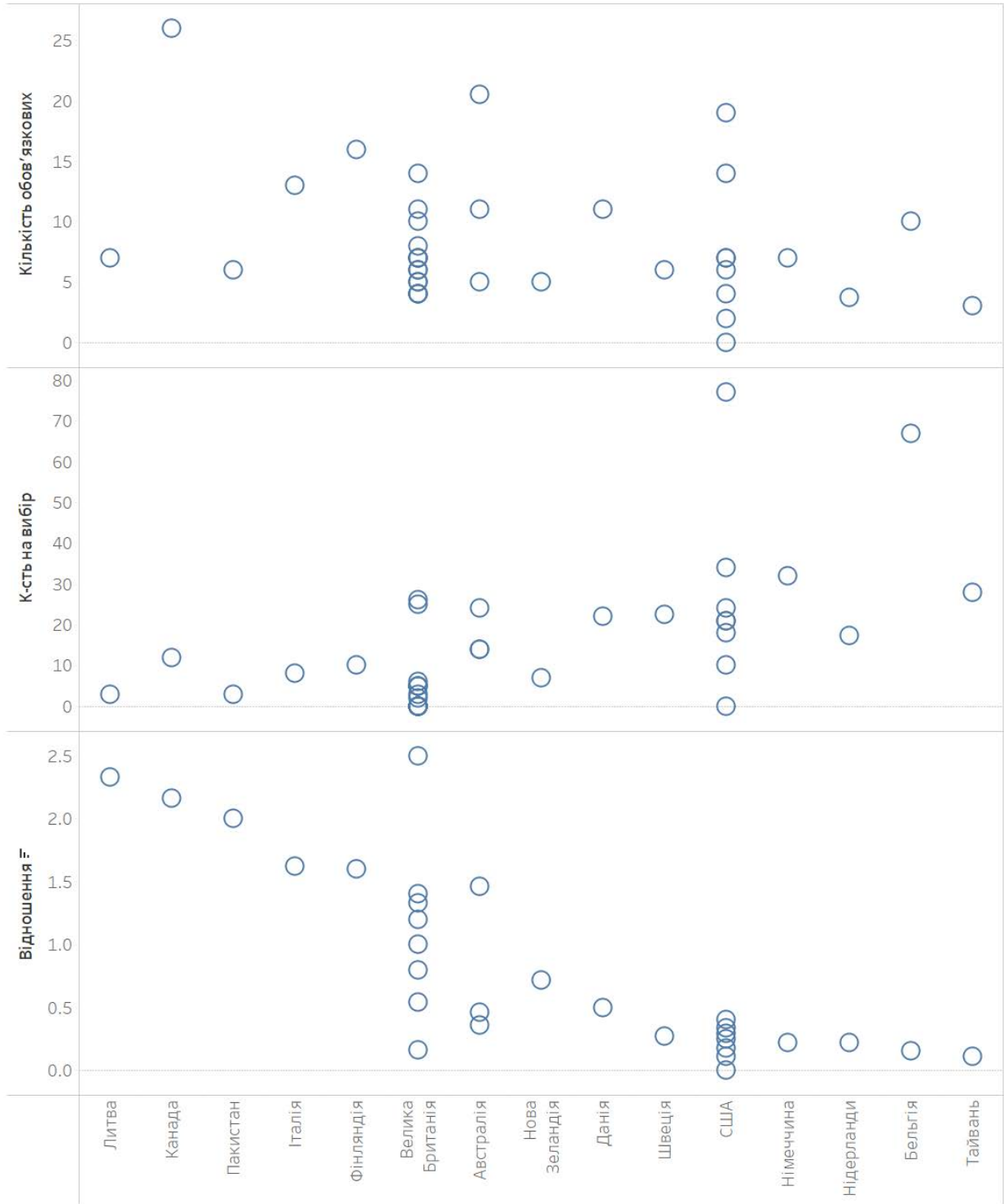


Рис. 3.4. Розподіл даних кількості обов'язкових та елективних дисциплін та їх відношення по країнах

**2.4. Аналіз рейтингів університетів**

Для вибірки було обрано дві різні системи рейтингів – RUR та URAP.

Як зазначено вище, дві системи мають на меті оцінити діяльність університетів, проте існує суттєва різниця у методології та критеріях. Рейтинг RUR враховує комбінацію факторів, включаючи якість викладання, інклюзивність, дослідницьку діяльність та фінансову стабільність, в той час як рейтинг URAP фокусується на оцінці науково-дослідної діяльності університетів.

Доцільно проаналізувати існування залежності між змінними за допомогою лінійної моделі, тобто чи ріст рейтингу за системою RUR означатиме одночасний ріст рейтингу за системою URAP. Показник кореляції двох змінних дорівнює 0.72357, що припускає досить високу позитивну залежність. За нульову гіпотезу було прийнято, що між двома рейтингами немає залежності, а одночасне зростання обох рейтингів одночасно відбувається випадково. Рівень статистичної значущості було обрано як 0.05. На рисунку 4.1 діаграма розсіювання ілюструє зв'язок між змінними X і Y, кожна точка даних представляє конкретний університет із вибірки. Діаграма показує чітку позитивну кореляцію між двома змінними, на що вказує лінія висхідного тренду, підігнана до точок даних. Це означає, що зі збільшенням змінної X – рейтингу за RUR змінна Y – рейтинг URAP також має тенденцію до збільшення. Крім того, діаграма розсіювання демонструє певну мінливість у точках даних навколо лінії тренду, вказуючи на те, що інші фактори також можуть впливати на зв'язок між змінними. Р-значення для моделі відповідає  $<0.0001$ , що дозволяє відкинути нульову гіпотезу і стверджувати, що одночасне зростання обох рейтингів відбувається не випадково. Тобто, високий рівень університету за сукупністю показників також призводить до високих позицій у рейтингу за науково-дослідними та академічними досягненнями.

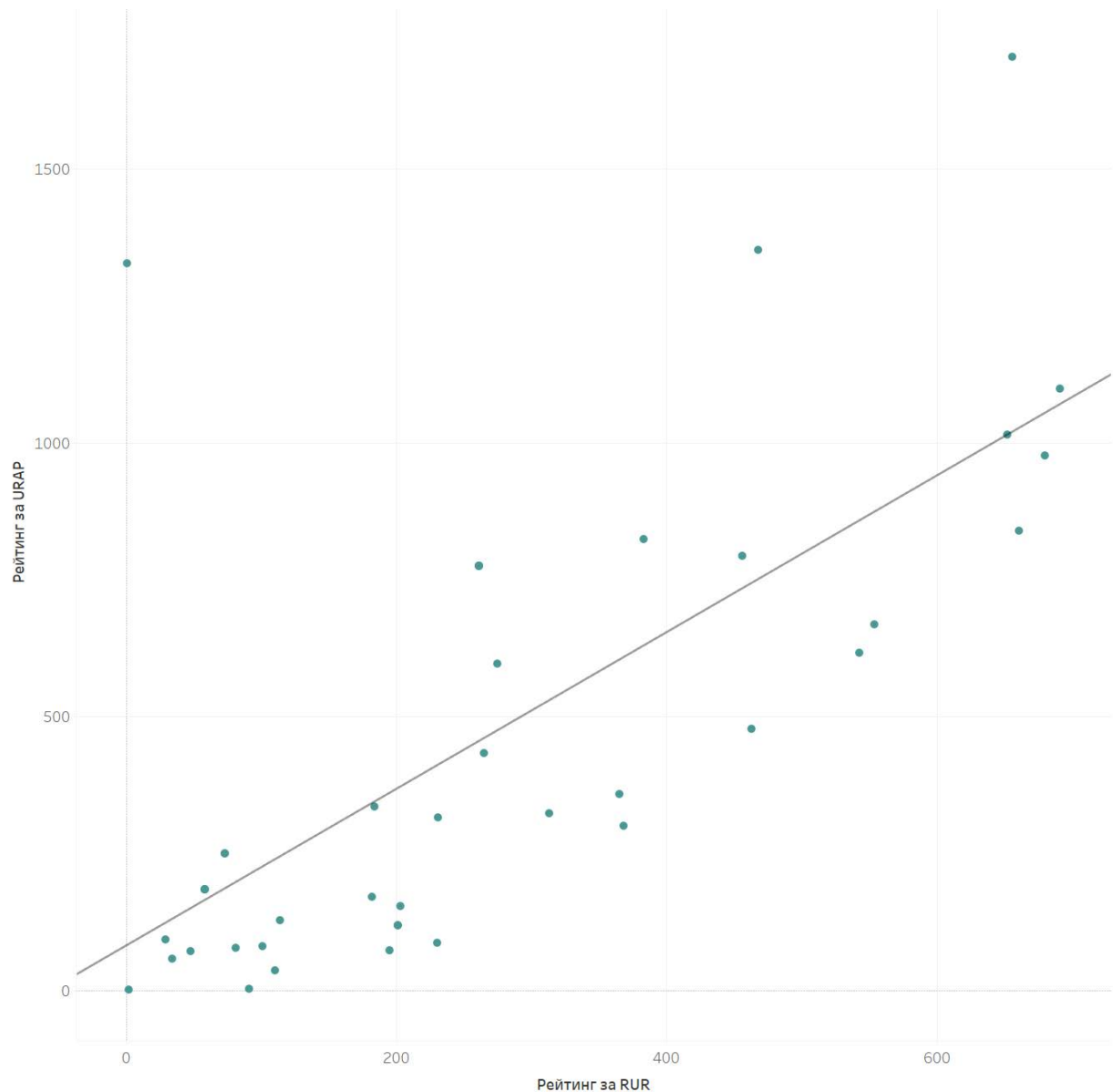


Рис. 4.1. Діаграма розсіювання, що ілюструє зв'язок між рейтингами за RUR та URAP, і висхідна лінія тренду

Далі було досліджено чи цей тренд спостерігається у всіх напрямках освітніх програм, чи виникають мікротренди і розбіжності із сукупним трендом. На рисунку 4.2 представлений результат дослідження залежності рейтингів за RUR та URAP при групуванні за напрямком навчальної програми. На рисунку 4.3 наведена детальна таблиця із статичними показниками запропованої моделі для окремих ліній тренду, представлений на рисунку 4.2. У такому підході до статистичного аналізу є обмеження, оскільки напрямки не представлені репрезентативно, а ступені вільності для

окремих ліній тренду є дуже низькими. Тому, оцінивши коефіцієнти ступенів вільності, стандартної помилки, t- та р-значень, не можна з високою точністю спростувати чи підтвердити нульову гіпотезу для наступних напрямків: фармацевтична індустрія, інженерія, загальна біотехнологія, біотехнології навколишнього середовища та бізнес. Для розрахунку точної моделі потрібно розширити вибірку за даними напрямками, щоб підтвердити наявність загального тренду одночасного зростання рейтингів у конкретній спеціалізації. З іншого боку, напрямки «дослідження» та «біотехнологічна індустрія» демонструють чітку позитивну кореляцію між двома системами рейтингів, і у випадку цих напрямків можна спростувати нульову гіпотезу.

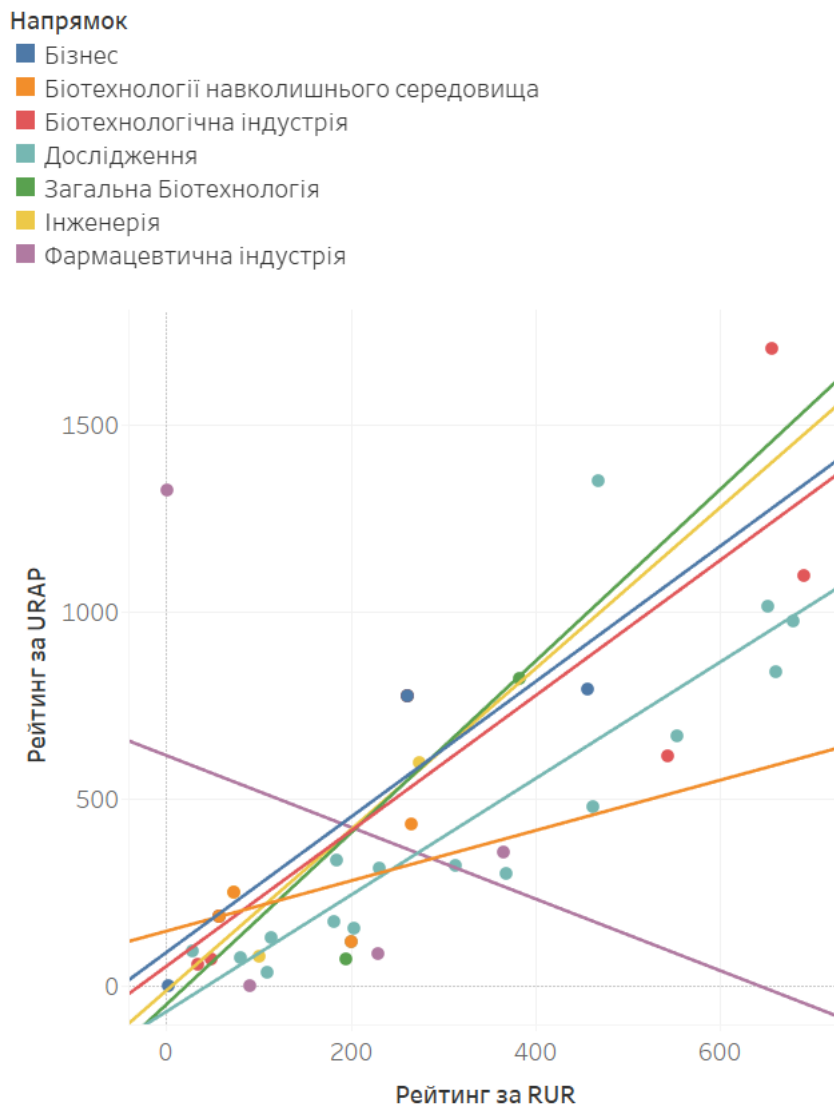


Рис. 4.2. Діаграма розсіювання та лінії тренду за окремими напрямками навчальних програм, зв'язок між за рейтингами за RUR та URAP

| Individual trend lines: |          |  |              |    |           |           |          |            |           |
|-------------------------|----------|--|--------------|----|-----------|-----------|----------|------------|-----------|
| Panes                   | Colour   | Line                                   | Coefficients |    |           |           |          |            |           |
| Row                     | Column   | Focus Topic                            | p-value      | DF | Term      | Value     | StdErr   | t-value    | p-value   |
| URAP Rank               | RUR Rank | Фармацевтична індустрія                | 0.613916     | 4  | RUR Rank  | -0.959051 | 1.75561  | -0.546277  | 0.613916  |
|                         |          |  |              |    | intercept | 616.634   | 369.578  | 1.66848    | 0.170545  |
| URAP Rank               | RUR Rank | Інженерія                              | 0.290291     | 1  | RUR Rank  | 2.15365   | 1.05628  | 2.03889    | 0.290291  |
|                         |          |  |              |    | intercept | -13.3298  | 184.124  | -0.0723958 | 0.953992  |
| URAP Rank               | RUR Rank | Загальна Біотехнологія                 | 0.203103     | 2  | RUR Rank  | 2.29623   | 1.23089  | 1.86551    | 0.203103  |
|                         |          |  |              |    | intercept | -50.6786  | 311.513  | -0.162685  | 0.885718  |
| URAP Rank               | RUR Rank | Дослідження                            | < 0.0001     | 15 | RUR Rank  | 1.55795   | 0.240064 | 6.48972    | < 0.0001  |
|                         |          |  |              |    | intercept | -69.1972  | 92.658   | -0.746802  | 0.466728  |
| URAP Rank               | RUR Rank | Біотехнологічна індустрія              | 0.0089894    | 5  | RUR Rank  | 1.80989   | 0.43708  | 4.14088    | 0.0089894 |
|                         |          |  |              |    | intercept | 51.9336   | 186.729  | 0.278124   | 0.792052  |
| URAP Rank               | RUR Rank | Біотехнології навколишнього середовища | 0.500444     | 2  | RUR Rank  | 0.672946  | 0.825164 | 0.815531   | 0.500444  |
|                         |          |  |              |    | intercept | 146.313   | 142.516  | 1.02664    | 0.412533  |
| URAP Rank               | RUR Rank | Бізнес                                 | 0.268961     | 1  | RUR Rank  | 1.81075   | 0.814029 | 2.22443    | 0.268961  |
|                         |          |  |              |    | intercept | 89.0245   | 246.934  | 0.360519   | 0.77972   |

Рис. 4.3. Статистичні показники для запропонованої моделі

У результаті аналізу залежності рейтингів за системами RUR та URAP можна зробити висновок, що більш доцільно буде розглядати позиції університетів за двома рейтингами окремо при групуванні за напрямками.

Додатково була досліджена можливість залежності кількості основних і додаткових курсів і позиції університету в рейтингах за системами RUR та URAP. Для університетів, що пропонують спеціалізації за програмою «Біотехнологія» було взято середнє числове значення кількості курсів. Залежності та значущої кореляції не було виявлено у жодному з випадків: позиція у рейтингу RUR та кількість обов'язкових предметів, позиція у рейтингу URAP та кількість обов'язкових предметів, позиція у рейтингу RUR та кількість предметів на вибір, позиція у рейтингу URAP та кількість предметів на вибір. Показники кореляції цих чотирьох пар змінних були близькі до 0.02. Фрагмент коду наведений у додатку Г.

Гіпотеза, що вища позиція університету в рейтингу впливатиме на ціну, була спростована. Попри те, що спостерігалась незначна негативна кореляція між змінними (вища позиція у рейтингу відповідала вищій ціні), статистично значущої залежності знайдено не було.

## ВИСНОВКИ

1. Було проаналізовано вибірку провідних університетів світу за рейтингами RUR та URAP і виявлено, що майже половина університетів з високим показником за двома рейтингами (16 з 33) зосереджуються на підготовці науковців із наголосом на академічну чи науково-дослідну діяльність. Другим за поширенням напрямком є біотехнологічна індустрія, а третє та четверте місце посідають напрямки з фармацевтичним та бізнес нахилами. Аналіз шести університетів, що пропонують спеціалізації магістерських програм, свідчив про те, що основною метою цих університетів є підготовка фахівців у різних галузях.

2. Аналіз навчальних програм за ключовими словами виділив такі підкатегорії як найбільш поширені серед обов'язкових дисциплін: «біотехнології», «дослідження», «молекулярна», «біологія» та «проект». Дослідження показало, що серед обов'язкових предметів були переважно вступні та поглиблені курси без вузької спеціалізації. Обов'язковою частиною програм були науково-дослідні проекти та практика. Виявлена тенденція внесення менеджменту і етики як основних курсів до програм.

3. Запропоновані предмети на вибір переважно були вузькоспеціалізовані з нахилом на промислове або лабораторне застосування біотехнологічних аспектів, а також виділився кластер додаткових дисциплін, що орієнтуються на біомедицину чи розробку ліків. «Біоінформатика» та «аналіз» зустрічаються частіше серед предметів на вибір, які зорієнтовані на прикладний аналіз даних, потрібний для наукових досліджень, бази даних для геноміки та програмування.

4. У результаті аналізу на схожість наборів обов'язкових дисциплін та дисциплін на вибір був отриманий відсоток схожості 4,396%, за окремими словами – 42,748%. Вищий відсоток схожості між окремими словами, ніж

між повними назвами предметів, довів високий рівень схожості словника і вмісту сетів даних, проте відмінність у структурі.

5. Дослідження тенденції у кількості навчальних дисциплін показало, що медіана кількості обов'язкових дисциплін дорівнює 6, дисциплін на вибір – 13. Зустрічалась також повна відсутність обов'язкових або елективних дисциплін у програмі.

6. Аналіз відношення медіан кількості обов'язкових дисциплін та дисциплін на вибір за напрямками навчальних програм виділив високі значення даного відношення для програм, що спеціалізуються на підготовці фахівців для промислової та фармацевтичної біотехнологічної, і низькі – для науково-дослідних та загальнобіотехнологічних.

7. Університети Сполучених Штатів Америки, порівняно із іншими країнами, пропонують велику кількість як обов'язкових, так і елективних предметів, але в загальному показник їх відношення залишається низьким. Університети Великої Британії мають велику дисперсію відношень, проте чітко спостерігається тренд вузького вибору додаткових предметів.

8. Показник кореляції двох змінних дорівнював 0.72357 для рейтингів RUR та URAP. Результати аналізу лінійної регресії дозволяли стверджувати, що високий рівень університету за сукупністю показників також призводить до високих позицій у рейтингу за науково-дослідними та академічними досягненнями.

9. Для розрахунку точної моделі і спостереження трендів залежності позицій у рейтингу за окремими напрямками потрібно розширити вибірку у подальших дослідженнях. Проте напрямки «дослідження» та «біотехнологічна індустрія» продемонстрували чітку позитивну кореляцію між двома системами рейтингів, для даних напрямів нульова гіпотеза була спростована на цьому етапі дослідження.

10. Залежності та значущої кореляції не було виявлено у жодному з випадків: позиція у рейтингу RUR та кількість обов'язкових предметів, позиція у рейтингу URAP та кількість обов'язкових предметів, позиція у рейтингу RUR та кількість предметів на вибір, позиція у рейтингу URAP та кількість предметів на вибір.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Norus J. *Biotechnology Organizations in Action: Turning Knowledge into Business*, 2003.
- [2] Dahms AS. *Biotechnology: What it is, what it is not, and the challenges in reaching a national or global consensus*. *Biochem Mol Biol Educ* 32(4): 271-278, 2004.
- [3] Deloitte. *2019 global life sciences outlook: focus and transform | Accelerating change in life sciences*, 2019.
- [4] *Global Business Reports. United States biopharmaceuticals 2020*, 2020.
- [5] Christensen C. *The Innovators Solution*, Harvard Business School Press, 2004.
- [6] Ernst, Young. *Beyond borders: The global biotechnology report*, 2003.
- [7] Blank RH, Caldwell LK, Wiegele TC, Zilinskas RA. *Biotechnology, public policy and the social sciences: critical needs in teaching and research*. , *Politics and the Life Sciences* 6: 64-80, 1987.
- [8] Chrispeels MJ. *Biotechnology and poor*. *Plant Physiology* 124: 3-6, 2000.
- [9] Pandu Ranga Narasimharao B. *Biotechnology education and societal demands: challenges faced by biotechnology and human resources development*. *Social Responsibility Journal* 6: 72 - 90, 2010.
- [10] Juriaanse AC. *Changing pace in food science and technology: examples from dairy science show how descriptive knowledge can be transferred into predictive knowledge*. *Food Science and Technology* 10: 303-6, 1999.
- [11] Braskamp L, Wergin JF. *Forming new social partnerships*. In Tierney, W.G. (Ed.), *The Responsive University: Restructuring for High Performance*: 62-91, 1997.

- [12] Gunn MA. When Science Meets Entrepreneurship: Ensuring Biobusiness Graduate Students Understand The Business Of Biotechnology. *Journal of Entrepreneurship Education* 19: 53-77, 2016.
- [13] Johns Hopkins University. MBEE Degree Requirements. <https://advanced.jhu.edu/academics/graduate-degree-programs/biotechnology-enterprise-and%20entrepreneurship/degree-requirements/>.
- [14] Alsam S. The State of the Global Biotech Industry: Market Size, Jobs, & Trends. 2023. <https://www.omnicoreagency.com/biotech-industry-trends/>.
- [15] Singh R. Biotechnology Chakravyuha. , *Current Science* 93: 889, 2007.
- [16] Ghose TK. Academic realities of biotechnology education in India. *Indian Chemical Engr* 48: 201-206, 2006.
- [17] Diaz. Manpower shortage looming Indian Biotech industry. 2007. <http://zoisci.wordpress.com/2007/06/14>
- [18] EvaluatePharma. World preview 2019: outlook to 2024. 2019. [https://info.evaluate.com/rs/607-YGS-364/images/EvaluatePharma\\_World\\_Preview\\_2019.pdf](https://info.evaluate.com/rs/607-YGS-364/images/EvaluatePharma_World_Preview_2019.pdf).
- [19] Howard AP, Slaughter LS, Carey KM. Bridges to biotechnology and bioentrepreneurship: improving diversity in the biotechnology sector. *Nat Biotechnol* 39: 2021.
- [20] Jensen D. Commentary: The Worldwide Biotechnology Job Market. *Biochemistry and molecular education* 30: 64, 2001.
- [21] Pharmaceutical Research and Manufacturers of America. *Pharmaceutical Industry Profile*, 2008.
- [22] DiMasi JA, Hansen RW, Grabowski HG. The price of innovation: New estimates of drug development costs. *Journal of Health Economics* 22: 151 – 185, 2003.

- [23] Liu H, Schmid M. Maturation of the biotechnology industry changes job opportunities for scientists. *Journal of Commercial Biotechnology* 15: 199–214, 2009.
- [24] The Sector Skills Council for Science Engineering and Manufacturing Technologies. *Bioscience Sector Skills Agreement –Stage 1: Skill Needs Assessment*, 2007.
- [25] Angle Technology Limited. *Biotechnology skills review*, Aberdeen UK, department of trade and industry, 2002.
- [26] John J, Edward J, Rutgers. *The workforce needs of New Jersey’s pharmaceutical and medical technology industry*, 2007. [http://www.hinj.org/UploadedFiles/HINJ\\_workforce\\_cond.pdf](http://www.hinj.org/UploadedFiles/HINJ_workforce_cond.pdf)
- [27] Robbins-Roth C. *Alternative Careers in Science: Leaving the Ivory Tower*, Burlington, MA, USA: Elsevier Academic Press, 2005.
- [28] Battelle. *Growing the Nation’s Bioscience Sector: A Regional Perspective*. 2007. <http://www.bio.org/local/battelle2006/>
- [29] Angerer P. Graduate journal: PhD limitations. *Nature* 431: 1128, 2004.
- [30] Benderly BL. *Mastering the Job Market Science Careers*. 2008.
- [31] California Council on Science and Technology. *An industry perspective of the professional science master’s degree in California*, 2005. <http://www.ccst.us/publications/2005/PSM.pdf>
- [32] National Research Council Committee on Enhancing the Master’s Degree in the Natural Sciences. *Science Professionals: Master’s Education for a Competitive World*, 2008. [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=12064](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12064).
- [33] UNESCO. *UNESCO Statistical Yearbook 1999*, UNESCO Secretariat, Bernan Press, Paris, 1999.

- [34] Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology, Committee on Technology, National Science and Technology Council, National Nanotechnology Coordination Office. 2007. [http://www.nano.gov/NNI\\_EHS\\_research\\_needs.pdf](http://www.nano.gov/NNI_EHS_research_needs.pdf).
- [35] Kriegel C, Koehne J, Tinkle S, Maynard AD, Hill AR. Challenges of Trainees in a Multidisciplinary Research Program: Nano-Biotechnology. *Journal of Chemical Education* 88: 53-55, 2011.
- [36] Gundersen LE. It is time to update “the graduate”. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 31: 265-268, 2003.
- [37] Black PN. A revolution in biochemistry and molecular biology education informed by basic research to meet the demands of 21st century career paths. *J. Biol. Chem* 295: 10653-10661, 2020.
- [38] Nyquist JD, Woodford BJ. Re-envisioning the Ph.D.: What Concerns Do We Have? University of Washington, Center for Instructional Development & Research: Seattle, WA, 2000.
- [39] Etzkowitz H, Webster A, Gebhart C, Terra BRC. The future of the university and the university of the future: Evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm. *Research Policy* 29(2): 313–330, 2000.
- [40] Wong PK, Ho YP, Singh A. Towards and “Entrepreneurial University” model to support knowledge-based economic development: The case of the National University of Singapore. *World Development* 35: 941-958, 2007.
- [41] Kunert KJ, Vorster BJ, Okole B, Cullis C. A general model for training the next generation of Biotechnology entrepreneurs based on recent experience of USA-UK-South Africa collaborations. *Journal of Commercial Biotechnology* 18: 61-65, 2012.
- [42] Stokes DE. *Pasteur’s Quadrant: Basic Science and Technological Innovation*. Brookings Institution Press 1997: 196, 1997.

- [43] Kahn M. Where the 2030 vision blurs. Mail & Guardian, December 9 to 14, 2011. <http://www.mg.co.za/education>.
- [44] Cullis C. Masters of Science in Biotechnology Entrepreneurship Program: One of the Professional Master's in Science and Technology Entrepreneurship Programs at Case Western Reserve University. In: Y. Friedman (ed.) Best practices in Biotechnology education. Washington DC: Logos-Press: 173-182, 2008.
- [45] <http://step.case.edu/>
- [46] John Innes Centre News. 2011. <http://news.jic.ac.uk/2011/06/jic-hosts-south-african-students/>
- [47] Davis TD, Korschgen AT, Saigo BW. Employment Prospects in Biotechnology. *The American Biology Teacher* 51: 346-348, 1989.
- [48] URAP Research Laboratory. 2022. <https://urapcenter.org/Methodology>.
- [49] Round University Ranking LLC. 2022. <https://roundranking.com/methodology/methodology.html>.

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

```
import nltk
from nltk.tokenize import word_tokenize
from nltk.corpus import stopwords
from nltk.probability import FreqDist

nltk.download('punkt')
nltk.download('stopwords')

with open("core_subjects.txt", 'r') as file:
    text = file.read()

lower_text = text.lower()
tokens = word_tokenize(lower_text)
stopwords = set(stopwords.words('english'))
filtered_tokens = [word for word in tokens if word.isalnum() and word not in stopwords]

fdist = FreqDist(filtered_tokens)
top_keywords = fdist.most_common(15)

print("Top Keywords:")
for keyword, frequency in top_keywords:
    print(keyword, "-", frequency)

keyword_lines = {}

for keyword, _ in top_keywords:
    lines_with_keyword = {line for line in text.split('\n') if keyword in line.lower()}
    keyword_lines[keyword] = lines_with_keyword

for keyword, lines in keyword_lines.items():
    print(keyword, ":")
    for line in lines:
        print(line)
    print()
```

Рис. А.1. Фрагмент коду для пошуку по ключових словах серед обов'язкових навчальних дисциплін

| Біотехнології  | Дослідження   |
|--|---|
| Біотехнологія  | Поглиблений науково-дослідний проект                        |
| Індустріальна біотехнологія  | Інтернатура (дослідження)                                   |
| Принципи біотехнологій   | Досліницький проект   |
| Вибрані розділи біотехнологій  | Етика та чесність у дослідженнях                            |
| Основи біотехнологій і генетичної біоінженерії                                   | Розширене наукове планування на основі поточних досліджень  |
| Розвиток біотехнологічного бізнесу   | науково-дослідний проект або виробнича практика             |
| Основи біотехнологічного бізнесу   | Принципи і підготовка дослідження                           |
| Трансляційна біотехнологія   | Поглиблений курс статистики для біотехнологічних досліджень |
| Поглиблений лабораторний курс в молекулярній біотехнології і діагностиці         | Вступ до наукового дослідження                              |
| Написання наукових робіт у біотехнології   | Розширена лабораторна і дослідницька практика               |
| Вступ до біотехнологій   | Дипломна робота   |
| Біотехнологічне підприємництво і комерціалізація                                 | Основи досліджень в біологічних науках                      |
| Молекулярна біотехнологія  | Методи дослідження  |
| Глікобіотехнологія   | Методи дослідження в аспірантурі                            |
| Критичний огляд/рецензування у біотехнології                                     | Навички дослідження біомолекул та аналіз даних              |
| Методи дослідження у біотехнології   | науково-дослідний проект і методи дослідження               |
| Комерціалізація біотехнологічної індустрії                                       | Навички молекулярного дослідження                           |
| Теорія і прикладне використання біотехнологій                                    | науково-дослідний проект з біотехнологій та біоінформатики  |
| Біотехнології білків і вуглеводів  | Груповий науково-дослідний проект                           |
| Економіка і інновації в біотехнологічній індустрії                               | Навички дослідження   |
| Вступ до біотехнологічної індустрії  | Вступ до наукового дослідження                              |
| Біотехнологія у природньому середовищі   | науково-дослідний проект з біотехнологій                    |
| Біотехнологічні операції   | Дослідження у дії   |
| Біотехнології: біобезпека, належна виробнича практика і інтелектуальна власність | Академічні дослідження і етика                              |

|  |   |
|--|---|
| Біотехнології в медицині   | Дизайн досліджень і етика                             |
| Регулювання і етика в біотехнологіях                                 | Методи досліджень в біотехнології                     |
| Практична біотехнологія  | Методи досліджень і управління даними                 |
| Вступ до біотехнологічної інternатури                                | <b>Молекулярна</b>                                    |
| Біотехнологія в сільському господарстві                              | Молекулярна і експериментальна фармакологія           |
| Біотехнологія навколишнього середовища і індустріальна біотехнологія | Прикладна молекулярна біотехнологія                   |
| Належна лабораторна і виробнича практика в біотехнологіях            | Лабораторна молекулярна біологія                      |
| Молекулярна біологія і біотехнологія                                 | Молекулярні технології: біовиробництво                |
| Фінансова матриця в біотехнологіях                                   | Клітинні і молекулярні основи раку                    |
| Передові біотехнології: глобальні перспективи                        | Основи біохімії та молекулярної біології              |
| Комерціалізація біотехнологічних продуктів                           | Поглиблений курс молекулярної біотехнології           |
| Біотехнології і суспільство  | Молекулярні технології: розробка аналітичних методів  |
| Проектна лабораторна робота в біотехнологіях                         | Молекулярна вірусологія                               |
| Синтетична біологія та біотехнології                                 | Розширені методи біохімії та молекулярної біології    |
| Біотехнології в галузі охорони здоров'я                              | Діагностична мікробіологія і молекулярна імунологія   |
| Підприємницька біотехнологія   | Поглиблене вивчення біохімії та молекулярної біології |
| Медична біотехнологія  | Переводі методи в молекулярних науках                 |
| Поглиблені теми в біотехнологіях                                     | Молекулярні технології: діагностичне тестування       |
| Біотехнології наступного покоління                                   | Техніки дослідження в молекулярних науках             |
| Біотехнології і бізнес   | Молекулярна біологія та біотехнології                 |
| Проблеми біотехнологій   | Навички дослідження біомолекул та аналіз даних        |
| Клітинна біотехнологія та біологічний імаджинг                       | Навички дослідження молекул                           |

|   |  |
|---|--|
| Рослинна фізіологія і біотехнологія                                   | Прогрес у молекулярній біотехнології                         |
| Основні методи біотехнологій  | Молекулярна клітинна біологія і імунологія                   |
| Системи управління якістю в біотехнології                             | Прикладна молекулярна мікробіологія                          |
| Мікробна біотехнологія  | Молекулярна біотехнологія                                    |
| Прикладна біотехнологія   | Молекулярна ензимологія                                      |
| Декодування та рекодування в біотехнологіях навколишнього середовища  | Молекулярна медицина   |
| Прогрес у молекулярній біотехнології                                  | <b>Біохімія</b>  |
| науково-дослідний проект з біотехнологій та біоінформатики            | Основи біохімії і молекулярної біології                      |
| Лабораторне використання біотехнологій                                | Основні конценції біохімії                                   |
| Нові горизонти біотехнологій  | Поглиблений курс з методів біохімії і молекулярної біології  |
| Штучний інтелект в біотехнологіях                                     | Структурна біохімія  |
| Лабораторні техніки для біотехнологій та біомедичної інженерії        | Основи біохімії, генетики і клітинної біології               |
| Біотехнології і виробництво ліків                                     | Поглиблене вивчення біохімії і молекулярної біології         |
| Біотехнології навколишнього середовища та індустриальні біотехнології | Принципи біохімії  |
| Ліпідна біотехнологія   | Лабораторні методи в біохімії, генетиці і клітинній біології |
| Використання біотехнології  | <b>Біоінформатика</b>  |
| <b>Біологія</b>   | Вступ до біоінформатики                                      |
| Обчислювальна біологія  | Біоінформатика і обчислювальна біологія                      |
| Прикладна молекулярна біологія  | Біоінформатика та аналіз даних для геноміки                  |
| Синтетична біологія: розв'язування глобальних проблем                 | Біоінформатика   |
| Системна біологія   | Структурна біоінформатика                                    |
| Поглиблена мікробіологія і метагеноміка                               | Біоінформатика: методи та прикладне використання             |
| Генна технологія і синтетична біологія                                | <b>Наука</b>   |

|  |   |
|--|---|
| Основи біохімії і молекулярної біології                              | Наука про геном                                       |
| Поглиблена молекулярна біологія                                      | Науки про життя, етика і менеджмент                   |
| Лабораторні методи в біохімії, генетиці і клітинній біології         | Біологічні науки: професійні навички і бізнес         |
| Прикладна мікробіологія і метаболічна інженерія                      | Науки, технології і комерціалізація                   |
| Характеристика матеріалів для біоінженерії і синтетичної біології    | Передова ферментативна наука                          |
| Розширені методи біохімії і молекулярної біології                    | Аналіз даних для наук про життя                       |
| Діагностична мікробіологія і молекулярна імунологія                  | Інформатики для наук про життя                        |
| Принципи і прикладне застосування синтетичної біології               | Передові методи в молекулярних науках                 |
| Генетика і біологія білків   | Професійні навички в науці                            |
| Мікробіологія  | Поведінка, етика і комунікація в науці                |
| Клітинна біологія  | Основи досліджень у біологічних науках                |
| Молекулярна біологія і біотехнологія                                 | Використання даних у науці                            |
| Індустріальна мікробіологія і мікробіологія навколишнього середовища | <b>Проект</b>   |
| Біоінформатика і обчислювальна біологія                              | Розширений науково-науково-дослідний проект           |
| Синтетична біологія: нові інструменти для біоінженерії               | Науково-дослідний проект                              |
| Молекулярна клітинна біологія і імунологія                           | Науково-дослідний проект або виробнича практика       |
| Прикладна молекулярна мікробіологія                                  | Заклучий проект (Capstone Project)                    |
| Синтетична біологія і біотехнологія                                  | Менеджмент проектів і лідерство                       |
| Синтетична біологія: концепції та застосування                       | Підготовка і менеджмент біотехнологічних проектів     |
| Основи біохімії, генетики та клітинної біології                      | Пропозиція науково-дослідного проекту з біотехнології |
| <b>Поглиблений курс</b>  | Біотехнологічний проект                               |
| Поглиблений курс з біорефінерії                                      | Науково-дослідний проект і методи дослідження         |
| Поглиблений курс біотехнологій                                       | Магістерський науково-дослідний                       |

|   |   |
|---|---|
|   | проект  |
| Поглиблене вивчення генетики і геноміки                               | Дослідна робота з біотехнології та біоінформатики                                 |
| Розширена лабораторна і науково-дослідна практика                     | Дослідно-розробний проект   |
| Поглиблений курс мікробіології і метагеноміки                         | Груповий науково-дослідний проект   |
| Розширене наукове планування на основі поточного дослідження          | Магістерський проект  |
| Розширені методи геноміки   | Менеджмент проектів і портфоліо   |
| Поглиблений курс молекулярної біології                                | Проектна лабораторна робота з біотехнологій                                       |
| Розширені методи біохімії і молекулярної біології                     | <b>Вступний курс</b>  |
| Поглиблений курс статистики і біологічного дослідження                | Вступ до біотехнологічної індустрії   |
| Поглиблений курс статистики для біологічного дослідження              | Вступ до біотехнологічного підприємництва   |
| Поглиблений курс біохімічної інженерії                                | Вступ до магістерської дипломної роботи, молекулярної біотехнології і діагностики |
| Поглиблене вивчення біохімії та молекулярної біології                 | Вступний курс: дослідження  |
| Розширені методи в молекулярних науках                                | Вступ до біотехнології  |
| Розширений лабораторний курс молекулярної біотехнології і діагностики | Вступ до бухгалтерського обліку та фінансів                                       |
| Поглиблений курс реактивності і моделювання                           | Вступний курс: інструменти підприємництва   |
| Поглиблений курс з біологічних методів                                | Вступ до біоінформатики   |
| Поглиблений курс біотехнологій: глобальні перспективи                 | <b>Лабораторія</b>  |
| Поглиблений курс з ферментативної науки                               | Лабораторний курс з молекулярної біології   |
| Поглиблений курс: РНК і ДНК технології                                | Поглиблена лабораторна і науково-дослідна практика                                |
| <b>Менеджмент</b>   | Прикладне лабораторне застосування біотехнології                                  |
| Менеджмент технологічних інновацій                                    | Прикладна лабораторна практика  |
| Менеджмент персоналу в  | Біотехнологія: належна лабораторна  |

|  |  |
|--|--|
| глобальній економіці                                 | і виробнича практика   |
| Науки про життя, етика і менеджмент                  | Поглиблений лабораторний курс молекулярної біотехнології і діагностики |
| Менеджмент: практика і теорія                        | Основи безпеки в лабораторії   |
| Стале управління та маркетинг                        | Лабораторні методи в біохімії, генетиці та клітинній біології          |
| Менеджмент біо-бізнесу                               | <b>Технології</b>  |
| Підготовка і управління біотехнологічними проектами  | Вибрані розділи медичних технологій                                    |
| Методи дослідження і управління даними               | Глікобіотехнології   |
| Системи управління контролем якості в біотехнологіях | Біопроесинг і ферментативні технології                                 |
| Технології і менеджмент операцій                     | Поглиблений курс з РНК і ДНК технологій                                |
| Менеджмент проектів і портфоліо                      | Наука, технології і комерціалізація                                    |
| Стратегії управління біотехнологічними компаніями    | Клітинні технології  |
| Менеджмент проектів і лідерство                      | Суспільство, організації і технології                                  |
| Професійний розвиток і ефективний менеджмент         | Генні технології і синтетична біологія                                 |
| Ефективні практики управління                        | Технології і менеджмент операцій                                       |
| <b>Етика</b>   | Імунотехнології  |
| Дослідження: дизайн і етика                          | Ферментативні технології   |
| Науки про життя, етика і менеджмент                  | Індустріальні біосепараційні технології                                |
| Біоетика   | Технології біопроесингу  |
| Біоетика і біобезпека                                | <b>Інтернатура</b>   |
| Біотехнологічна регуляція і етика                    | Заклучна біотехнологічна інтернатура                                   |
| Академічні дослідження і етика                       | Науково-дослідна інтернатура   |
| Етика та чесність у наукових дослідженнях            | Робочий семестр (інтернатура)  |
| Поведінка, етика та комунікація у науці              | Вступ до біотехнологічної інтернатури                                  |

Таблиця Б.1. Навчальні дисципліни, що внесені до переліку обов'язкових, угруповані по ключових словах

| Біотехнологія  | Біологія   |
|--|--|
| Біотехнології тваринної клітини  | Біологія старіння                                  |
| Молекулярна біотехнологія та діагностика: практика викладання                    | Суспільні аспекти системної і синтетичної біології |
| Мікробіологія та біотехнологія харчових продуктів                                | Глікобіологія                                      |
| Фармацевтична біотехнологія  | Методи синтетичної біології                        |
| Теорія і прикладне використання біотехнології                                    | Проблеми досліджень в біології                     |
| Біотехнології мікроводоростей  | Експериментальна молекулярна біологія клітини      |
| Біотехнологія рослинництва   | Прогрес в молекулярній біології                    |
| Індустрія і підприємництво в біотехнології                                       | Ферментативна біологія                             |
| Економіка і менеджмент в біотехнології   | Біологія розвитку                                  |
| Біотехнологія тваринництва   | Актуальна література в клітинній біології          |
| Наука і бізнес біотехнологій   | Клітинна біологія                                  |
| Інтернатура з біотехнологій  | Прогрес в біології розвитку                        |
| Синтетична біологія і індустріальна біотехнологія                                | Експериментальна структурна біологія               |
| Прикладна біотехнологія ліпідів  | Актуальна література в молекулярній біології       |
| Покращені техніки інструментального аналізу в біотехнології                      | Хімічна біологія на шляху до точної медицини       |
| Поглиблений курс з рослинної біотехнології                                       | Генна інженерія і синтетична біологія              |
| Мікробіоми в біотехнології і медицині  | Вибрані проблеми біології пухлин                   |
| Біотехнології навколишнього середовища   | Молекулярна біологія раку                          |
| Робота над науково-дослідним проектом з молекулярної біотехнології і діагностики | Біологія раку                                      |
| Електробіотехнології   | Синтетична біологія і індустріальна біотехнологія  |
| Прикладна біотехнологія білків   | Ракова клітина і молекулярна біологія              |
| Біотехнологія натуральних продуктів  | Вибрані розділи клітинної біології                 |
| Принципи індустріальної  | Синтетична біологія: новітні                       |

|  |  |
|--|--|
| біотехнології  | інструменти біоінженерії   |
| Клінічне використання біотехнології                                | Методи дослідження в мікробіології   |
| Мікроорганізми в біотехнології                                     | Хімія і біологія терапевтичних засобів   |
| Біотехнологія білків і вуглеводів                                  | Актуальна література в біології розвитку   |
| Біотехнологічне підприємництво і комерціалізація                   | Системна біологія  |
| Біотехнології: інтелектуальна власність                            | Молекулярна біологія клітини   |
| Проект з біотехнології мікроорганізмів                             | Прикладне використання синтетичної біології  |
| Селекція та біотехнологія  | Мікробіологія харчових продуктів   |
| Біотехнології в природному середовищі                              | Інтернатура в прикладній біології  |
| Проект з біотехнології рослин                                      | Фізична клітинна біологія  |
| Проект з біомедичної біотехнології                                 | Нейробіологія  |
| Терапевтичні засоби на основі біотехнологій                        | Проект з біоінформатики і системної біології   |
| Медична біотехнологія  | Проект з біохімії і структурної біології   |
| Вибрані розділи біотехнології                                      | Клітинна біологія і біологія розвитку: лабораторний курс                             |
| Експериментальна мас-спектрометрія в біотехнології                 | Принципи молекулярної біології   |
| Біотехнологія ліпідів  | Біологія ракової клітини: від молекулярних організмів до терапевтичного застосування |
| Дослідження в біотехнології  | Тенденції мікробіології  |
| Глікобіотехнології   | Клітинна біологія: лабораторний курс   |
| Біотехнології водних екосистем                                     | Мікробіологія  |
| Імунологічна біотехнологія   | Принципи клітинної біології  |
| Біотехнологія: інтелектуальна власність, регуляція і трудове право | Інструменти синтетичної біології   |
| Індустріальна біотехнологія  | Молекулярний і системний рівень біології ракової клітини                             |
| Поглиблений курс аналітики для біотехнології                       | Молекулярна біологія: лабораторний курс  |
| <b>Молекулярна</b>   | Основи системної біології  |
| Молекулярна генетика і діагностика                                 | Детальний аналіз аспектів біології   |

|   |  |
|---|--|
| Молекулярна біотехнологія і діагностика   | Передові техніки в молекулярній біології                                 |
| Молекулярна патофізіологія і експериментальна терапія   | Мікробіологія і безпека харчових продуктів                               |
| Молекулярна регуляція здоров'я і хвороби  | Медична мікробіологія  |
| Прогрес в молекулярній біології   | Прикладна молекулярна мікробіологія                                      |
| Молекулярна біофізика   | Молекулярна мікробіологія  |
| Молекулярна вірусологія   | Синтетична біологія: від ідеї до комерціалізації                         |
| Актуальна література в молекулярній біології  | Мікробіологія і біотехнологія харчових продуктів                         |
| Експериментальна молекулярна біологія клітини   | Поглиблений курс мікробіології і метагеноміки                            |
| Молекулярна біологія раку   | Молекулярна біологія рослин  |
| Ракова клітина і молекулярна біологія   | Молекулярна біологія бактеріальної клітини                               |
| Молекулярний розвиток   | Діагностика в молекулярній мікробіології                                 |
| Молекулярне впізнавання   | Молекулярна біологія   |
| Молекулярна ензимологія   | Хімічна біологія   |
| Молекулярний механізм в дії   | Мікросередовище пухлини та імуноонкологія: підхід системної біології     |
| Молекулярна діагностика і попереджувальна медицина  | Нейробиологія психічних хворіб   |
| Молекулярна біологія клітини  | Поглиблений курс мікробіології харчових продуктів                        |
| Біомолекулярні методи виробництва   | Поглиблений курс генетики і клітинної біології                           |
| Вакцини і молекулярна терапія   | Регенеративна біологія, біологія розвитку хребетних і стовбурових клітин |
| Молекулярна біомедицина   | <b>Клітина</b>   |
| Визначення тривимірної структури біомолекул за допомогою рентгенівської кристалографії та кріоелектронної мікроскопії | Біотехнологія тваринної клітини  |
| Біологія ракової клітини: від молекулярних механізмів до терапевтичних застосувань                                    | Стовбурово-клітинна терапія: дослідження науки та досвід пацієнтів       |
| Молекулярна основа розвитку   | Мікробні клітинні фабрики  |

|  |  |
|--|--|
| рослин   |  |
| Молекулярна генетика   | Клітинна і тканинна культура   |
| Поглиблений лабораторний курс з молекулярної біотехнології і діагностики | Регуляція клітинного циклу   |
| Молекулярний і системний рівень біології ракової клітини                 | Актуальна література в клітинній біології  |
| Молекулярна біологія: лабораторний курс                                  | Клітинна біологія  |
| Молекулярні і клітинні терапевтичні засоби                               | Експериментальна молекулярна біологія клітини  |
| Біомолекулярні взаємодії   | Інженерія стовбурових клітин   |
| Передові технології молекулярної біології                                | Трансляційна наука про стовбурові клітини  |
| Молекулярне моделювання і бази даних                                     | Вибрані розділи клітинної біології   |
| Епідеміологія і молекулярні патології раку                               | Ракова клітина і молекулярна біологія  |
| Прикладна молекулярна мікробіологія                                      | Регулювання клітинних процесів і диференціації                                       |
| Молекулярна і експериментальна імунологія                                | Стовбурова клітина і індустрія   |
| Молекулярна мікробіологія  | Молекулярна біологія клітини   |
| Молекулярна селекція рослин  | Клітинний стрес, клітинна смерть і сенесценція                                       |
| Молекулярна біологія рослин  | Фізична клітинна біологія  |
| Молекулярна біологія бактеріальної клітини                               | Культура рослинних клітин і тканин   |
| Молекулярна екологія мікроорганізмів                                     | Культура тваринних клітин  |
| Діагностичні методи молекулярної мікробіології                           | Клітина і біологія розвитку: лабораторний курс                                       |
| Молекулярна генетика бактерій  | Біологія ракової клітини: від молекулярних механізмів до терапевтичного застосування |
| Макромолекулярна структура і взаємодії                                   | Клітинна біологія: лабораторний курс   |
| Молекулярна біологія   | Клітинний цикл еукаріотичної клітини   |
| Молекулярні взаємодії між бактерією та господарем                        | Клітинний метаболізм і захворювання людини   |
| Молекулярні патології і сучасні методи лікування захворювання сітківки   | Основи клітинної біології  |

|   |  |
|---|--|
| Молекулярні симуляції біосистем   | Прогресивні техніки клітинного зображення                                      |
| <b>Поглиблений курс</b>   | Молекулярний і системний рівні біології ракової клітини                        |
| Поглиблений курс з методів обробки відходів   | Рослинна клітина   |
| Поглиблений курс біорефінерії   | Молекулярні і клітинні терапевтичні засоби                                     |
| Поглиблений курс органічної хімії   | Молекулярна біологія бактеріальної клітини                                     |
| Поглиблений курс аналітичних методів геному людини  | Клітинна фабрика   |
| Покоління передової медицини: біологічні засоби в терапії   | Біомолекули і клітинна регуляція   |
| Прогресивні техніки аналізу в біотехнології   | Фармацевтичні засоби і клітини   |
| Поглиблений курс рослинної біотехнології  | Регуляція клітинних процесів і клітинна диференціація                          |
| Поглиблений курс біоінформатики   | Роль клітини в розвитку і хворобах   |
| Поглиблений курс інформатики  | Поглиблений курс генетики і клітинної біології                                 |
| Поглиблений курс фізики м'яких речовин  | Регенеративна біологія, біологія розвитку хребетних і стовбурових клітин       |
| Поглиблений курс: визначення тривимірної структури біомолекул за допомогою рентгенівської кристалографії та криоелектронної мікроскопії | <b>Наука</b>   |
| Поглиблений курс програмування в біоінформатиці   | Істинна, фальшива та спотворена наука  |
| Передові методи клітинного зображення   | Стовбурово-клітинні терапевтичні засоби: дослідження науки та досвід пацієнтів |
| Поглиблене вивчення експресії генів   | Наука про підготовку та розділення зразків                                     |
| Передові методи геноміки  | Наука про матеріали відновлювальних ресурсів                                   |
| Поглиблений курс англійської мови   | Наука комунікації: письмо  |
| Поглиблений лабораторний курс молекулярної біотехнології і діагностики  | Наука комунікації  |

|  |  |
|--|--|
| Поглиблене вивчення нейронауки                         | Управління з використанням data science (науки про дані)             |
| Передові методи молекулярної біології                  | Наука про тварин: лабораторний курс                                  |
| Поглиблене вивчення генетики і геноміки                | Підприємництво в інноваційних індустріях: науки про життя            |
| Поглиблений курс дизайну біореакторів                  | Біотехнології: наука і бізнес  |
| Поглиблений курс мікробіології і метагеноміки          | Трансляційна наука про стовбурові клітини                            |
| Поглиблене вивчення імунології                         | Глобальні виклики в біомедичній науці                                |
| Поглиблене вивчення дизайну процесу розділення речовин | Наука про біоресурси   |
| Поглиблений курс мікробіології харчових продуктів      | Основи науки та регенеративна терапія                                |
| Поглиблений курс генетики і клітинної біології         | Експериментальний дизайн і статистика для наук про життя             |
| Поглиблене вивчення білків і нуклеїнових кислот        | Технології і наука про молочні продукти                              |
| Поглиблений курс аналітики для біотехнологій           | Статистичні та кількісні методи для фармацевтичних регуляторних наук |
| <b>Біоінформатика</b>                                  | Історія і філософія наук   |
| Біоінформатика, програмування і системне управління    | Нейронаука   |
| Бази даних для біоінформатики                          | Наука протидії зброї масового знищення                               |
| Поглиблений курс біоінформатики                        | Актуальні методи наукових досліджень в біомедичних науках            |
| Вступ до біоінформатики секвенування нового покоління  | Наука про комунікації: мовлення                                      |
| Алгоритми в біоінформатиці                             | Аналіз для біомедичних наук: від геноміки до метаболоміки            |
| Вступ до біоінформатики                                | Трансляційна фармакологія: наука розробки терапевтичних препаратів   |
| Linux для біоінформатики                               | Технологічний трансфер та комерціалізація досліджень у біонауках     |
| Біоінформатика   | Поглиблене вивчення нейронауки                                       |
| Проектна робота з біоінформатики і системної біології  | Науки про мікроорганізми: хімія, екологія і еволюція                 |

|  |  |
|--|--|
| Клінічна біоінформатика в тестуванні геному            | Промисловість і науки про життя: від досліджень до пацієнтів             |
| Біоінформатика в розробці лікарських препаратів        | Викладання природничих наук у закладах вищої освіти                      |
| Поглиблений курс програмування в біоінформатиці        | Практична наука про дані з Python  |
| Біоінформатика і аналіз даних для геноміки             | Вибрані теми в науці про навколишнє середовище: токсикологія 21 століття |
| Програмування для біоінформатики                       | Прикладна наука про дані і біоінформатика                                |
| Прикладна наука про дані і біоінформатика              | Наука про працю і охорону праці  |
| Генетика і біоінформатика                              | Програмування на Python для наук про життя                               |
| Біостатистика в харчуванні                             | Статистика в біомедичних науках  |
| <b>Інженерія</b>                                       | Наука прийняття рішень   |
| Синтетична біологія: нові інструменти для біоінженерії | <b>Прикладна</b>   |
| Принципи тканинної інженерії                           | Прикладна етика при відновленні ресурсів                                 |
| Каталіз та інженерія матеріалів                        | Прикладна біотехнологія ліпідів  |
| Інженерія терапевтичних антитіл людини                 | Прикладна молекулярна мікробіологія                                      |
| Метаболічна інженерія і промислові мікроорганізми      | Прикладна генна технологія   |
| Електрохімічна інженерія навколишнього середовища      | Прикладні біохімічні методи  |
| Біохімічна інженерія                                   | Прикладна біохімія   |
| Тканинна інженерія                                     | Прикладна наука про дані та біоінформатика                               |
| Біопроектинг і водна інженерія                         | Інтернатура в прикладній біології  |
| Інженерія механічних процесів                          | Прикладна біотехнологія білків   |
| Інженерія ферментів                                    | Прикладна аналітика  |
| Інженерія стовбурових клітин                           | Трансляційна геноміка, прикладне вивчення баз і структури даних          |
| Генетична інженерія і синтетична біологія              | Прикладна системна біохімія  |
| Інженерія білків                                       | Прикладна нутрігеноміка  |
| Метаболічна інженерія                                  | Прикладний біокаталіз  |
| <b>Дослідження</b>                                     | <b>Менеджмент</b>  |
| Проблеми досліджень в біології                         | Управління ланцюгом постачання   |

|   |   |
|---|---|
| Дизайн досліджень та аналіз в біохімії                              | Управління змінами  |
| Біоімаджинг для науковців   | Біоінформатика, програмування та системне управління      |
| Вибрані теми про наукові дослідження                                | Управління твердими та небезпечними відходами             |
| Методи наукових досліджень в мікробіології                          | Операції і управління ланцюгом постачання                 |
| Науково-дослідний проект  | Корпоративне управління для стійкого розвитку             |
| Науково-дослідний проект з молекулярної біотехнології і діагностики | Управління маркетингом                                    |
| Застосування геномної технології в біомедичних дослідженнях         | Екологічне управління у гірничій промисловості            |
| Сучасні техніки дослідження в біомедицині                           | Фінансове управління малих підприємств                    |
| Актуальні дослідження в екології                                    | Економіка і менеджмент в біотехнології                    |
| Вірусологічні і імунологічні дослідження вірусів HIV-1 та грипу     | Стратегічний менеджмент                                   |
| Технологічний трансфер та комерціалізація досліджень у біонауках    | Збереження морського середовища та управління рибальством |
| Направлене наукове дослідження                                      | Менеджмент проектів                                       |
| Промисловість і науки про життя: від дослідження до пацієнтів       | <b>Аналіз</b>   |
| Дослідження в біотехнології   | Аналіз доцільності досліджень                             |
| Етика наукових досліджень   | Метагеномний аналіз мікробіому                            |
| <b>Хвороба</b>  | Аналіз експресії генів                                    |
| Молекулярна регуляція здоров'я і захворювань                        | Поглиблений аналіз біохімічних аспектів                   |
| Генетичні захворювання  | Вступ до методів геномного аналізу                        |
| Епігенетика здоров'я і захворювань                                  | Поглиблений аналіз аспектів фармацевтичних засобів        |
| Імунні і запальні захворювання                                      | Дизайн дослідження та аналіз у біохімії                   |
| Принципи захворювань людини: фізіологія і патологія                 | Аналіз сталого розвитку                                   |
| Системна фізіологія і захворювання                                  | Аналіз систем і оцінка життєвого циклу                    |
| Гематологія і імунологія  | Аналіз бізнесу та оцінка за                               |

|   |   |
|---|---|
|   | допомогою фінансових звітів   |
| Нові та повторні захворювання                                       | Біоінформатики і аналіз даних для геноміки                            |
| Патологія захворювань людини  | Прикладна аналітика   |
| Епідеміологія хронічних захворювань                                 | Поглиблений курс методів аналізу геному людини                        |
| Роль клітини в розвитку і захворюваннях                             | Біомедичний аналіз  |
| Епідеміологія інфекційних захворювань                               | Тенденції та концепції генетичного аналізу                            |
| Клітинний метаболізм і захворювання людини                          | Поглиблений аналіз аспектів біології                                  |
| Нейроімунологія в розвитку, регенерації і захворюваннях             | <b>Людина</b>   |
| Генетика і генетичні захворювання                                   | Управління людськими ресурсами  |
| Геноміка захворювань людини   | Мікробіом людини  |
| Механізми захворювань людини  | Принципи людських захворювань: фізіологія і патології                 |
| Молекулярна патологія і поточні методи терапії захворювань сітківки | Терапевтична інженерія людських антитіл                               |
| Нейробиологія психічних захворювань                                 | Клітинний метаболізм і захворювання людини                            |
| Нейродегенеративні захворювання                                     | Вступ до методів аналізу геному людини                                |
| <b>Геноміка</b>   | Принципи токсикології людини  |
| Поглиблене вивчення генетики і геноміки                             | Мікробіом людини: комплексне проектування експерименту та методології |
| Функціональна геноміка рослин                                       | Генетика та генетичні захворювання людини                             |
| Аналіз для біомедичних наук: від геноміки до метаболоміки           | Геноміка захворювань людини   |
| Поглиблений курс мікробіології і метагеноміки                       | Нейроанатомія і нейропатологія людини                                 |
| Порівняльна геноміка  | Механізми захворювань людини  |
| Геноміка навколишнього середовища                                   | Передові методи аналізу геному людини                                 |
| Передові методи геноміки  | Генетика людини   |
| Трансляційна геноміка, прикладні бази і структури даних             | Методи оцінки сенсорних відчуттів людини                              |
| Біоінформатики і аналіз даних для                                   | Патологія захворювання людини   |

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| геноміки                    |  |
| Геноміка захворювань людини |  |
| Прикладна нутрігеноміка     |  |
| Етика в геноміці            |  |
| Геноміка                    |  |
| Геноміка мікроорганізмів    |  |

Таблиця Б.2. Навчальні дисципліни, що внесені до переліку елективних,  
угруповані по ключових словах

```

from collections import Counter
import pandas as pd
import nltk

nltk.download('stopwords')
from nltk.corpus import stopwords

def calculate_word_frequencies(file_path):
    with open(file_path, 'r') as file:
        words = file.read().split()
        stop_words = set(stopwords.words('english'))
        stop_words.add("&")
        filtered_words = [word for word in words if word.lower() not in stop_words]
        word_counts = Counter(filtered_words)
        return word_counts

def create_comparison_table(word_counts1, word_counts2):
    words = set(word_counts1.keys()) | set(word_counts2.keys())
    table_data = []
    for word in words:
        count1 = word_counts1.get(word, 0)
        count2 = word_counts2.get(word, 0)
        diff_percentage = abs(count1 - count2) / max(count1, count2) * 100
        table_data.append([word, count1, count2, diff_percentage])

    table = pd.DataFrame(table_data, columns=['Word', 'Count: Core', 'Count: Electives', 'Difference (%)'])
    table = table.sort_values(by=['Count: Core', 'Count: Electives'], ascending=False)
    table = table.head(15)
    return table

file1_path = 'core_subjects.txt'
file2_path = 'electives.txt'

word_counts1 = calculate_word_frequencies(file1_path)
word_counts2 = calculate_word_frequencies(file2_path)

comparison_table = create_comparison_table(word_counts1, word_counts2)
print(comparison_table)

```

Рис. В.1. Фрагмент коду для визначення відсоткової і кількісної різниці між частотою ключових слів у переліках обов'язкових та елективних предметів

```

import pandas as pd

df = pd.read_excel('All_programs_final.xlsx')

df = df.dropna(subset=['RUR Rank'])

df['RUR Rank'] = df['RUR Rank'].astype(int)

grouped_df = df.groupby(['RUR Rank', 'URAP Rank']).agg({'Core': 'sum', 'Elective': 'sum', 'Tracks': 'mean'}).reset_index()

grouped_df['Core'] = grouped_df['Core'] / grouped_df['Tracks'].replace(0, 1)
grouped_df['Elective'] = grouped_df['Elective'] / grouped_df['Tracks'].replace(0, 1)

grouped_df['Core'] = grouped_df['Core'].astype(int)
grouped_df['Elective'] = grouped_df['Elective'].astype(int)
grouped_df = grouped_df.drop('Tracks', axis=1)

corr_core_rur = df['Core'].corr(df['RUR Rank'])
corr_core_urap = df['Core'].corr(df['URAP Rank'])
corr_elect_rur = df['Elective'].corr(df['RUR Rank'])
corr_elect_urap = df['Elective'].corr(df['URAP Rank'])

print("Кореляція: обов'язкові та RUR\n", "{:.5f}".format(corr_core_rur),
      "\nКореляція: обов'язкові та URAP\n", "{:.5f}".format(corr_core_urap),
      "\nКореляція: на вибір та RUR\n", "{:.5f}".format(corr_elect_rur),
      "\nКореляція: на вибір та URAP\n", "{:.5f}".format(corr_elect_urap))

Кореляція: обов'язкові та RUR
0.01820
Кореляція: обов'язкові та URAP
0.02152
Кореляція: на вибір та RUR
-0.01620
Кореляція: на вибір та URAP
-0.02222

```

Рис. Г.1. Фрагмент коду для аналізу показників кореляції між змінними