

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

ІВАНОВА І. Є., ГЕРАСЬКО Т. В., ТИМОЩУК Т. М.,
ПОКОПЦЕВА Л. А., НЄЖНОВА Н. Г.

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В АГРОНОМІЇ

Навчальний посібник

Запоріжжя

2026

УДК 631.5:001.89](075.8)
О-72

*Рекомендовано Вченою радою Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного
(Протокол № 8 від 31.03.2026 р.)*

Рецензенти:

Гамаюнова В. В., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри землеробства, геодезії та землеустрою, Миколаївський національний аграрний університет.

Прісс О. П., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного.

Венгер О. В., кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с., завідувач відділу захисту рослин Інституту господарства Полісся НАН.

О-72 Основи наукових досліджень в агрономії : навчальний посібник /
І. Є. Іванова, Т. В. Герасько, Т. М. Тимощук, Л. А. Покопцева, Н. Г. Нежнова.
Запоріжжя : ВПЦ «Люкс», 2026. 241 с.

ISBN

У навчальному посібнику детально розглядаються загальнонаукові та спеціальні методи досліджень у сфері рослинництва. Описано польовий дослід як основний метод агрономії, включаючи принципи його планування й проведення, а також методику здійснення польових дослідів. Висвітлюються особливості закладання та виконання інших спеціальних дослідницьких методів у рослинництві, підходи до розміщення варіантів і дослідних ділянок. Увага приділена теоретичним основам планування експериментів, організації спостережень і обліків у ході польових досліджень. Окремо розглянуто методику статистичного аналізу експериментальних даних і способи використання отриманих результатів для їх подальшої інтерпретації.

ISBN

УДК 631.5: 001.89](075.8)

© Іванова І. Є., Герасько Т. В.,
Тимощук Т. М., Покопцева Л. А.,
Нежнова Н.Г.

© Таврійський державний
агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ТЕМА 1. РОЛЬ НАУКИ У РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ В АГРОНОМІЇ.....	9
1.1 Роль сільськогосподарської науки та її зв'язки з виробництвом.....	9
1.2 Методи досліджень в агрономії.....	30
ТЕМА 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ДОСЛІДІВ ТА ВИМОГИ ДО НИХ.....	51
2.1 Класифікація дослідів за видами.....	51
2.2 Ключові вимоги до польового експерименту.....	57
2.3 Нові вимоги до агрономічних досліджень, відповідно до цілей сталого розвитку.....	63
ТЕМА 3. ПОБУДОВА ОРІЄНТОВНИХ СХЕМ У ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДАХ. ПЛАНУВАННЯ ТА ТЕХНІКА ЗАКЛАДАННЯ ПОЛЬОВОГО ДОСЛІДУ.....	74
3.1 Структурно-логічна схема студентської наукової роботи з агрономії.....	74
3.2 Орієнтовні варіанти дослідів за різними напрямками агрономічних досліджень.....	80
3.2.1 Досліди з вивчення розміщення культур.....	80
3.2.2 Організація дослідів з вивчення сівозмінних ланок і сівозмін.....	88
3.2.3 Досліди з вивчення добрив.....	96
3.2.4 Організація дослідів з вивчення обробітку ґрунту.....	101
3.2.5 Досліди з вивчення строків сівби (садіння).....	108
3.2.6 Організація дослідів з вивчення глибини сівби (садіння).....	111
3.2.7 Досліди з вивчення способів сівби (садіння).....	114
3.2.8 Організація дослідів з вивчення гербіцидів.....	117
3.2.9 Досліди з вивчення хімічного захисту рослин.....	122
3.2.10 Досліди з вивчення протиерозійних заходів.....	126
3.2.11 Організація дослідів з вивчення нових сортів та гібридів.....	130
3.3 Оптимізація параметрів основних елементів методики польового досліді згідно його схеми.....	134
3.4 Вибір методу розміщення варіантів у польових дослідідах.....	146
3.5 Вибір і підготовка земельної ділянки під досліді.....	161
3.6 Планування супутніх спостережень.....	167

ТЕМА 4. ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ.
СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗ. МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОЇ
ОБРОБКИ ДОСЛІДІВ..... 170

- 4.1 Загальне поняття про математичну статистику і її роль у агрономічній
науці..... 170
- 4.2 Ключові завдання та поняття математичної статистики 176
- 4.3 Обчислення статистичних характеристик малої вибірки за кількісної
мінливості..... 188
- 4.4 Обчислення статистичних характеристик великої вибірки за кількісної
мінливості..... 192
- 4.5 Обчислення статистичних характеристик вибірки за якісної мінливості 198
- 4.6 Обчислення зваженої середньої арифметичної, бракування сумнівних дат,
відновлення втрачених дат 203
- 4.7 Визначення статистичної значущості диференціації середніх
арифметичних показників вибіркових сукупностей із застосуванням t-
критерію Стюдента і методу найменшої істотної різниці (НІР) 208
- 4.8 Дисперсійний аналіз однофакторного вегетаційного дослідження 212
- 4.9 Дисперсійний аналіз двофакторних польових дослідів..... 221

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

Error! Bookmark not defined.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 242

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ 243

ДОДАТКИ 244

ВСТУП

Процес землеробства як галузі сільськогосподарського виробництва базується на досягненнях агрономічної науки. Рушієм останньої завжди було дослідництво, де основними об'єктами виступали ростові і фізіологічні процеси у рослинах сільськогосподарських культур та вплив агротехніки на їх вирощування.

Для ведення дослідницької роботи важливого значення набуває рівень підготовки наукових кадрів. У ВНЗ вони готуються в процесі освоєння курсу «Основи наукових досліджень в агрономії» - обов'язкової навчальної дисципліни для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності «Агрономія».

Навчальний посібник з дисципліни «Основи наукових досліджень в агрономії» підготовлений згідно Освітньо-професійної програми «Агрономія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю Н1 «Агрономія» галузі знань Н «Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина» [1], Стандарту вищої освіти за спеціальністю «Агрономія» [2], Робочої програми навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності «Агрономія» [3] і покликаний допомогти студентам у опануванні теоретичними знаннями з основ наукових досліджень та проведенні власної науково-дослідної роботи упродовж навчання у ТДАТУ.

Метою вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень» є забезпечення студентів теоретичними знаннями та формування професійних навичок, необхідних для виконання дослідницької роботи загалом, з акцентом на сферу рослинництва.

Основними завданнями курсу є розвиток у студентів здатності до наукового пошуку, включаючи опанування методів проведення досліджень, правильного планування та організації експериментів, обробки отриманих результатів, їх аналізу, оформлення наукової статті та презентації. Особливу

увагу приділено специфіці виконання науково-дослідної роботи в умовах навчання у вищому навчальному закладі. У курсі розглядаються ключові принципи проведення досліджень, збір і структурування матеріалів, їх обробка й узагальнення, а також підготовка різних видів наукових публікацій та робіт. Знання основ організації науково-дослідної діяльності є важливим елементом професійного становлення студентів як висококваліфікованих спеціалістів. Теоретична обізнаність та практичні навички проведення експериментів забезпечують здатність організувати дослідницьку діяльність таким чином, щоб отримувати достовірні й значущі наукові результати. Ретельна оцінка новизни здобутих результатів, їх правильна інтерпретація і грамотне представлення є основою визначення доцільності подальшого розвитку наукової діяльності в певній галузі.

Програмними результатами навчання з дисципліни «Основи наукових досліджень», у відповідності до Стандарту вищої освіти за спеціальністю «Агрономія» і Освітньо-професійної програми «Агрономія» є: РН 4 - порівнювати та оцінювати сучасні науково -технічні досягнення у галузі агрономії; РН 5 - проводити літературний пошук українською та іноземною мовами та аналізувати отриману інформацію; РН 8 - володіти статистичними методами опрацювання даних в агрономії; РН 14 - інтегрувати й удосконалювати виробничі процеси вирощування сільськогосподарської продукції відповідно до чинних вимог.

У результаті вивчення навчальної дисципліни “Основи наукових досліджень” студент повинен оволодіти наступними компетентностями:

Інтегральна компетентність (ІК): здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з агрономії, що передбачає застосування теорій та методів відповідної науки і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

ЗК 3 – здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК 5 – здатність спілкуватися іноземною мовою;

ЗК 9 – здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК 11 – здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові компетентності:

ФК5 – здатність оцінювати, інтерпретувати й синтезувати теоретичну інформацію та практичні, виробничі і дослідні дані у галузях сільськогосподарського виробництва;

ФК 6 – здатність застосовувати методи статистичної обробки дослідних даних, пов'язаних з технологічними та селекційними процесами в агрономії.

Soft skills:

- комунікативні навички: письмове, вербальне й невербальне спілкування; навички створення, керування й побудови відносин у команді.

- уміння виступати привселюдно: навички, необхідні для виступів на публіці; проводити презентації.

- керування часом: уміння справлятися із завданнями вчасно.

- гнучкість і адаптивність: гнучкість, адаптивність і здатність мінятися; уміння аналізувати ситуацію, орієнтування на вирішення проблем.

- лідерські якості: уміння встановлювати мету, планувати.

Міждисциплінарні зв'язки навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень», з урахуванням структурно-логічної схеми ОПШ «Агрономія».

Перелік навчальних дисциплін, знання з яких потрібні для вивчення освітньої компоненти «Основи наукових досліджень»: «Введення до спеціальності», «Агроекологія», «Агрометеорологія», «Рослинництво», «Плодівництво та виноградарство», «Землеробство з основами гербології», «Ґрунтознавство з основами геології».

Перелік навчальних дисциплін, вивчення яких у подальшому базується на матеріалі освітньої компоненти «Основи наукових досліджень»: «Агрохімія» у комплексі з навчальною практикою, «Кормовиробництво з основами луківництва», «Насіннезнавство», «Еколого-біологічне рослинництво», «Стандартизація та управління якістю продукції рослинництва», а також, під час проходження виробничої практики та виконання комплексної курсової роботи.

Відповідно до Робочої програми навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності «Агрономія», у результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати**:

- сутність загальнонаукових і спеціальних методів досліджень у рослинництві;
- принципи планування та проведення польового дослідження та інших спеціальних методів в агрономії;
- методику виконання статистичного аналізу експериментальних даних і його використання;
- а також повинен **вміти**: закласти польовий, вегетаційний чи лізиметричний дослідження; відповідно до програми досліджень, проводити обліки та статистичний аналіз експериментальних даних відповідно до обраної методики.

ТЕМА 1. РОЛЬ НАУКИ У РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ В АГРОНОМІЇ

1.1 Роль сільськогосподарської науки та її зв'язки з виробництвом

Етапи розвитку агрономічної науки. Сільськогосподарська наука розвивалася в арабській, азійській, грецькій, майяській та римській культурах на основі емпіричних знань та мудрості людей (наприклад, Катон, 234–149 рр. до н. е. «De AgriCultura»). Відомі складні іригаційні системи, що існували щонайменше 2000 років тому [4,5]. Без письмових документів та усного спілкування сільськогосподарські методи, знаряддя праці та інфраструктура не були б розроблені. Середньовічна Європа (11 – 14 століття) перейшла від натуральної аграрної економіки до такої, де просторово розподілена торгівля сільськогосподарськими товарами могла підтримувати суспільства, які виділяли ресурси на розвиток монастирських установ та агрономії у містах. Капіталістичні відносини були рушійною силою послідовних сільськогосподарських революцій, що призводило до надлишку продовольства. Однак, близько 1800 року сім'я робітничого класу в Берліні витратила близько 73 % свого домашнього бюджету на їжу, з яких дві третини – на хліб [4]. Таким чином, у періоди політичної нестабільності завжди назрівала продовольча криза. Зі зростанням міст доводилося виробляти більше їжі, ніж прожитковий мінімум фермерської громади. Прогрес у сільськогосподарських дослідженнях відбувся набагато пізніше, ніж модернізація наук загалом. Гігантом у модернізації науки став Ісаак Ньютон з його публікацією «Математичних начал природної філософії» в 1687 році. Ньютон наголошував на важливості теорії та експерименту. Систематичне експериментування в сільськогосподарських науках було запроваджено приблизно до 1800 року. Розвиток сільськогосподарських наук формувався, з одного боку, суспільними потребами та вимогами, а з іншого – знаннями, що надаються фундаментальними науками [5].

У 17 столітті вже існували різні теорії про те, як рослини живляться ґрунтом. Роль води та гною була відома вже століттями. Однак існувало безліч теорій щодо поглинання рослинами солей, «соків» і навіть частинок ґрунту. Піонерські дослідження Прістлі у 1777 році та Інген-Хаузіна у 1780 році щодо фотосинтезу листя заклали основу для розуміння ролі засвоєння вуглекислого газу рослинами.

Основні якісні зміни в сільськогосподарській науці були побудовані на нових знаннях у фундаментальних науках. Це особливо стосується хімії, фізики, біології та математики. Хімія відіграла важливу роль у розвитку нових теорій живлення рослин, хімічної регуляції росту, винаході структури ДНК (Watson and Crick, 1953) та кращому розумінні якості та безпеки харчових продуктів. Роль фізики була важливою у розробці теорій фотосинтезу, геометрії сільськогосподарських культур та використання світла, а також структури та процесів ґрунту. Роль біології була визначною у розвитку нових знань про фенологію сільськогосподарських культур, поширення шкідників та хвороб, а також сучасного застосування молекулярної та клітинної біології в селекції рослин. Математика відіграла визначальну роль у розвитку статистичного аналізу та механістичного моделювання [4, 5].

Синергія між сільськогосподарськими та рослинними науками є характерною рисою прогресу, досягнутого у 20 столітті. Зростаюче розуміння функціонування окремих рослин та рослинних угруповань, особливо в окремих культурах, а також у різних технологіях вирощування (змішані культури, проміжні культури, естафетні проміжні культури, подвійні культури тощо), стало рушійною силою досліджень та інновацій у сфері продуктивності сільськогосподарських культур. Польові експерименти стали більш науково надійними та ефективними.

Упродовж 10 000 років з моменту винаходу сільського господарства інновації в сільському господарстві відігравали вирішальну роль в економічному розвитку в усьому світі: підвищуючи продуктивність сільського господарства, збільшуючи доходи фермерів та роблячи продукти харчування все більш

доступними та дешевшими для споживачів, одночасно знижуючи вимоги до запасів природних ресурсів. Як у багатих, так і в бідних країнах сільськогосподарські інновації продовжують приносити значні фінансові прибутки, але на сьогодні все більше людей стурбовані негативними наслідками змін у сільськогосподарських технологіях. Екологічні проблеми, здоров'я людини, бідність та інші непередбачувані наслідки сільськогосподарського виробництва все частіше перебувають у центрі уваги урядів та інших організацій. Сільськогосподарські інновації можуть загострити ці складні проблеми або зменшити їх [6].

Починаючи з 60-тих років минулого століття виникав гострий конфлікт між двома основними джерелами попиту на екологічні послуги [7]. Одним із них було зростання попиту на екологічну асиміляцію залишків, що утворюються в результаті зростання виробництва та споживання товарів — азбесту як ізоляційного матеріалу у побуті, пестицидів у наших продуктах харчування, смогу в повітрі та радіоактивних відходів у біосфері. Другим джерелом було швидке зростання споживчого попиту на такі екологічні послуги, як доступ до природного середовища та свобода від забруднення. Соціальний та економічний конфлікт полягає у тому, що держави змушують виробників нести додаткові витрати на покриття негативних екологічних ефектів, що супроводжують виробництво продукції, а це, в свою чергу, веде до зростання цін на продукцію.

З середини 1980-х років ці дві попередні проблеми доповнилися третьою, яка зосереджена на наслідках збереження навколишнього середовища, виробництва продуктів харчування та здоров'я людини та низки екологічних змін, що відбуваються в транснаціональному масштабі, таких як глобальне потепління, виснаження озонового шару, кислотні дощі та інше.

Нещодавні історичні тенденції у виробництві та споживанні основних продовольчих зернових культур можна легко вважати доказом того, що не слід надмірно турбуватися про здатність фермерів світу задовольняти майбутні потреби в продуктах харчування [7]. Світові ціни на пшеницю, скориговані на інфляцію, знизилися з середини 19-го століття. Ціни на рис знизилися з середини

20-го століття. Ці тенденції свідчать про те, що зростання продуктивності праці змогло більш ніж компенсувати швидке зростання попиту, особливо протягом десятиліть після Другої світової війни. Однак, дивлячись у майбутнє, джерела зростання продуктивності не такі очевидні, як чверть століття тому. Протягом наступних кількох десятиліть зростання попиту на продукти харчування та корми, що виникає внаслідок зростання населення та доходів, сягатиме понад чотири відсотки на рік у багатьох країнах. Досягнення традиційних технологій залишатимуться основним джерелом зростання виробництва сільськогосподарських культур протягом наступної чверті століття. Майже все зростання сільськогосподарського виробництва протягом наступних кількох десятиліть має відбуватися за рахунок подальшої інтенсифікації сільськогосподарського виробництва на землях, які зараз відведені для вирощування сільськогосподарських культур. Необхідний приріст продуктивності рослин буде забезпечуватися вдосконаленням селекції, а також більш інтенсивним та ефективним використанням технічних ресурсів, включаючи хімічні добрива, хімікати для боротьби зі шкідниками. Існують значні можливості для розвитку стійких систем сільськогосподарського виробництва в низці крихких ресурсних районів. Дослідження, що проводяться в районах тропічних дощових лісів Латинської Америки та напівпосушливих тропіків Африки та Азії, свідчать про можливість розвитку стійких сільськогосподарських систем зі суттєво підвищеною продуктивністю навіть у несприятливих умовах. Малоімовірно, і, можливо, небажано, щоб усі ці райони стали важливими компонентами глобальної системи продовольчого постачання. Але підвищення продуктивності є важливим для тих, хто проживає в цих районах, зараз і в майбутньому. У всьому світі сільське господарство продовжує інтенсифікацію, що призводить до дестабілізації агроєкосистем та забруднення навколишнього середовища [8]. У країнах, що розвиваються, це зрозуміло з різних причин, особливо в тих країнах, де виробництво продуктів харчування ледве встигає за зростанням населення. У промислово розвинених країнах це абсурдно, якщо врахувати зростання надлишків сільськогосподарської

продукції, зниження доходів і зайнятості в більшості сільських районів та зростаючу стурбованість споживачів щодо якості їжі. На щастя, також зростає усвідомлення того, що ці величезні проблеми неможливо вирішити одну за одною на симулятивній основі, а потрібне більш комплексне та стале бачення сільського господарства [9, 10].

На сьогодні у всьому світі зростає усвідомлення того, що для задоволення потреб швидкозростаючого населення світу потрібні більші інвестиції в сільськогосподарські дослідження, тоді як необхідні ресурси для виробництва продуктів харчування, кормів та зелених кормів стають дефіцитнішими. Це особливо стосується землі, води та деяких необхідних поживних речовин (наприклад, фосфору та цинку). З одного боку, розробка, впровадження та використання агротехнологій вимагають державних інвестицій [4-7]. З іншого боку, державні інвестиції передбачають державний контроль [11, 12]: аналіз надлишків споживачів та виробників, що оцінює середні норми прибутку від досліджень; аналіз виробничих функцій, що оцінює граничні норми прибутку від досліджень; математичне програмування для вибору оптимального поєднання дослідницької діяльності.

Індустрія 4.0 приносить революційні зміни в сільськогосподарській бізнес, інтегруючи новітні технології, такі як Інтернет речей (IoT), аналітика великих даних (BDA), хмарні обчислення (CC) та штучний інтелект (AI). Ці новітні технології є потенційними факторами, що сприяють розвитку розумного землеробства (Smart agriculture) на основі даних [13].

Концепція Інтернет речей (IoT) — це концепція мережі фізичних пристроїв (від побутової техніки до датчиків), обладнаних сенсорами та програмним забезпеченням, що дають змогу збирати, обмінюватися та аналізувати дані через Інтернет, автоматизуючи процеси без безпосереднього втручання людини. Це створює інтелектуальну екосистему, де "речі" спілкуються між собою, з людьми та системами для підвищення ефективності, комфорту та безпеки (рис. 1.1).

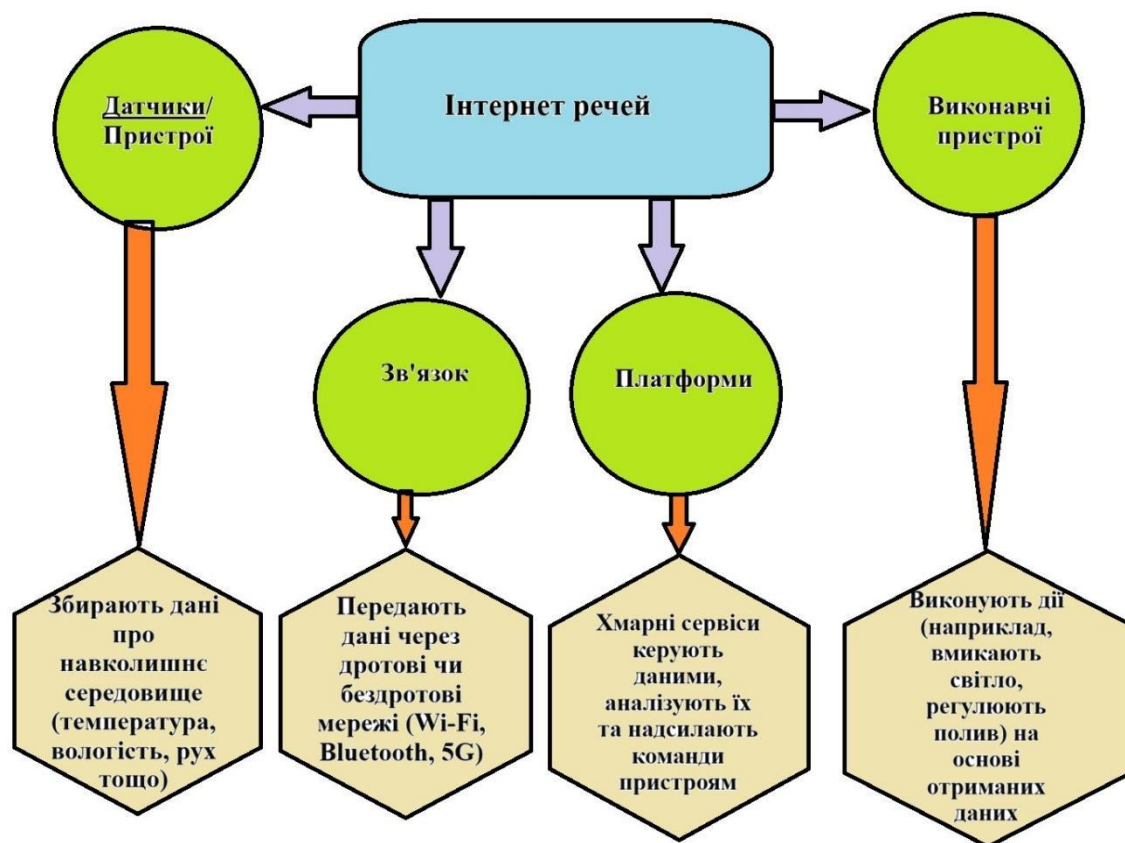


Рис. 1.1. Використання Інтернету речей у сільському господарстві

Зростаючий дефіцит продовольства вимагає сталого (стабільного) сільського господарства, що досягається за допомогою автоматизації для задоволення зростаючого попиту. Інтеграція Інтернету речей (IoT) та бездротових сенсорних мереж (WSN) має вирішальне значення для підвищення виробництва продуктів харчування в різних сільськогосподарських сферах, охоплюючи зрошення, моніторинг вологості ґрунту, оптимізацію та контроль добрив, боротьбу зі шкідниками та хворобами сільськогосподарських культур на ранніх стадіях, а також енергозбереження [13, 14]. З метою моніторингу для збору даних у режимі реального часу зазвичай використовуються бездротові прикладні протоколи, такі як ZigBee, WiFi, SigFox та LoRaWAN. Впровадження передових технологій є обов'язковим для забезпечення ефективного сільськогосподарського виробництва.

Основні завдання агрономічної науки. Основні завдання агрономічної науки включають: 1) розробку теоретичних і практичних підходів до підвищення

родючості ґрунтів; 2) посилення досліджень щодо запобігання ерозії ґрунтів та їх засолення; 3) агрокліматичне обґрунтування оптимального розміщення сільськогосподарських культур у різних природних зонах країни; 4) створення раціональних структур посівних площ і сівозмін відповідно до спеціалізації господарств; 5) селекцію нових високопродуктивних сортів рослин, стійких до хвороб і шкідників; 6) вивчення аспектів хімізації та меліорації земель із врахуванням екологічної безпеки; 7) формування теоретичних та практичних основ програмування врожаїв; 8) постійне вдосконалення методів дослідної роботи як фундаменту ефективних наукових досліджень.

Хоча сьогодні багато говорять про точне землеробство, застосування штучного інтелекту та передових технологій у виробництві, але розвиток сільського господарства все ще не перебуває на достатньому рівні як в країнах, що розвиваються, так і у розвинених та інноваційних економіках [12]. Про це свідчить широке використання хімічних добрив та сільськогосподарського обладнання та машин з використанням викопного палива, де використання ще більш інтенсивне в розвинених країнах. Це означає, що основна увага все ще зосереджена на підвищенні продуктивності та прибутків. Однак це призводить до забруднення навколишнього середовища та перетворення сільського господарства на одного з найбільших забруднювачів. На основі цього розвинені країни розробили і прийняли стратегію нульового рівня викидів парникових газів до 2030 року. Саме тому зростає важливість хімічних (заміни хімічних добрив біодобривами), механічних та технологічних інновацій (використання багатоцільових машин на основі відновлюваних джерел енергії). Щоб рухатися в цьому напрямку та задовольняти економічні аспекти, підвищувати продуктивність з урахуванням екологічності та збереження навколишнього середовища, сільське господарство має рухатися в напрямку ширшого застосування штучного інтелекту та точного землеробства. Однак для цього потрібна належна цифрова грамотність та освіта в сільському господарстві, яка також перебуває на дуже низькому рівні. Саме тому необхідно почати з кращої підготовки фахівців в сфері сільського господарства та цифровізації, які зможуть

створювати такі інновації і використовувати їх. Наразі всі спостережувані засоби в сільському господарстві, які в основному застосовуються у світі, негативно впливають на економічний та сталий розвиток, якщо їхня продуктивність не підвищується шляхом впровадження сучасних технологій. Потрібні інноваційні та нові рішення в сільському господарстві, такі як машини, які виконуватимуть кілька операцій і водночас не забруднюватимуть навколишнє середовище, але базуються на відновлюваних джерелах енергії. Те саме стосується використання хімічних добрив, які можна замінити органічними, що не забруднюють навколишнє середовище. Все це має супроводжуватися освіченими кадрами в сільському господарстві, які зможуть використовувати нові технології, тобто будуть цифрово грамотними та готовими до впровадження штучного інтелекту. Застарілі засоби, що використовуються сьогодні в сільському господарстві, повинні бути замінені новими та сучаснішими, продуктивність яких буде вищою та не забруднюватиме навколишнє середовище. Це доводить гіпотезу про те, що лише сільськогосподарські технології, які призводять до підвищення продуктивності в сільському господарстві, позитивно впливають на економічний та сталий розвиток.

Сьогодні жоден економічний сектор не може бути успішним, якщо він постійно не впроваджує інновації та не вдосконалює свою ділову активність. Однак інновації повинні відповідати сучасним вимогам сталого розвитку та задовольняти економічні, екологічні та соціальні вимоги. Сільське господарство є дуже специфічним сектором, коли йдеться про ресурси, виробництво, споживання, знання, інновації та передачу нових технологій. Воно залежить від низки зовнішніх факторів. Проблему застосування інновацій у сільському господарстві не можна розглядати спрощено та вважати, що застосування інновацій буде успішним за наявності достатніх фінансових ресурсів. За останні десятиліття досвід багатьох країн, як розвинених, так і тих, що розвиваються, показав, що вони не досягли успіху в модернізації сільського господарства та розвитку сільських районів [15]. Низький рівень впровадження технологій вже давно є ключовим обмеженням для підвищення продуктивності, доходів та

врожайності в сільському господарстві, особливо в країнах, що розвиваються. Хоча впровадження технологій у сільському господарстві є важливим для підвищення продуктивності фермерських господарств, рівень впровадження технологій залишається низьким серед дрібних фермерів у країнах, що розвиваються. Перешкоди для впровадження технологій та інновацій пов'язані із соціально-культурними бар'єрами для впровадження нових технологій, роллю тиску на землю в різних темпах впровадження, сучасними сільськогосподарськими практиками та гендерними відносинами [16]. Низька продуктивність сільського господарства в країнах, що розвиваються, пов'язана з браком інновацій та сільськогосподарських технологій. Система сільськогосподарських інновацій включає всі організації та осіб (державних та приватних), які беруть участь у створенні, поширенні, впровадженні та використанні нових технологій на фермах. Ці важливі учасники інноваційної системи пов'язані один з одним для обміну та створення нових інновацій для підвищення продуктивності фермерів. Взаємодія між усіма цими учасниками має вирішальне значення для сталого інноваційного процесу [17]. Інновації в сільському господарстві – це не лише те, що відбувається на рівні фермерського господарства, але й інновації повинні бути присутніми у всьому ланцюжку створення вартості, включаючи державну політику розвитку агробізнесу [18]. Вплив інновацій на зростання продуктивності залежить від того, якою мірою фермери впроваджують доступні інновації. Новатори та ранні послідовники відрізняються від тих, хто відстає в сільськогосподарських інноваціях [19]. Ранні послідовники в сільському господарстві – це ті, хто адаптує нові технології до своїх агрокліматичних умов, має хороший доступ до інформації та здатність до навчання. Фермери, які менш ефективні в індивідуальному навчанні, впроваджуватимуть інновації пізніше, але вони можуть навчатися в інших. Нові технології підвищують продуктивність ранніх послідовників. У ринковій економіці це означає зниження витрат та збільшення прибутків фермерських господарств. Нові технології також впливають на ринки, збільшуючи пропозицію та знижуючи ціну на продукти харчування, що є головною

перевагою для споживачів [20]. Впровадження нових технологій слід розуміти як багатоетапний процес, у якому остаточне рішення про використання нової технології приймається лише за умови завершення попередніх етапів. Підходи до впровадження нових технологій поділяються на *ex ante* та *ex post*. Підходи *ex ante* досліджують потенційне прийняття нової технології до її виведення на ринок, тоді як підходи *ex post* оцінюють причини поточного рівня впровадження технології після її впровадження. Дослідження *ex ante* зазвичай вивчають фінансову доцільність та готовність фермерів платити за нові технології, тоді як аналіз *ex post* зосереджується на поведінці окремих ферм щодо впровадження. Нові системи вимагають адаптації, а пов'язані з нею витрати можуть зменшити ранні чисті прибутки. Однак з часом досвід, отриманий у використанні технології, зменшить витрати та збільшить відносні прибутки. Максимізація прибутку не відображає рішень, прийнятих на ранніх етапах процесу впровадження, оскільки нові технології змінюють середовище, в якому працюють фермери, а це вимагає від фермерів нових знань про те, як ефективно працювати, і фермерам потрібен час, щоб отримати цю нову інформацію [21]. Впровадження сільськогосподарських технологій досліджує фактори, які з часом стимулюють їх впровадження в популяції, без необхідності визначати поведінкові механізми, що впливають на впровадження, тоді як поведінкова економіка пояснює поведінку, яка відхиляється від того, що передбачає традиційна економіка, за допомогою нових теорій та моделей людської поведінки. Дослідження впровадження сільськогосподарських технологій традиційно підкреслювали роль соціальних, економічних та політичних факторів у стимулюванні впровадження, тоді як поведінкова економіка зосереджується на прийнятті рішень людиною та досліджує, як людські уподобання впливають на прийняття рішень [22]. Зміна клімату становить значну загрозу для сільськогосподарського виробництва та сільського життя, особливо для дрібних фермерів, тому зростає інтерес до продовольчої безпеки. Існуючі методи ведення сільського господарства дрібних фермерів є неефективними, використовують неефективні ресурси, дають змінні результати та не мають стійкості до

довгострокової зміни клімату. Відповідно, терміново потрібні відповідні сільськогосподарські технології для пом'якшення цих обмежень та підвищення продуктивності, а також для зменшення або усунення викидів парникових газів. Кліматично розумне сільське господарство – це сільськогосподарський підхід, який розвиває сільське господарство відповідно до зміни клімату, одночасно підтримуючи розвиток та забезпечуючи продовольчу безпеку. Тому розширення інновацій у сфері досліджень вимагає базової освіти в сільській місцевості, покращення державних служб поширення знань та покращення базових послуг [23]. Екологічні проблеми кінця ХХ століття відкрили широкий спектр питань. На початку ХХІ століття існують певні дилеми, коли йдеться про сільське господарство, з точки зору того, чи зосереджуватися на більш традиційному, органічному землеробстві, чи на сучасному сільському господарстві, заснованому на штучному інтелекті, біотехнологіях та пов'язаних з ними концепціях, таких як циркулярна економіка, стале використання ресурсів та біовиробництво. У всьому світі співіснують різні сільськогосподарські технології та методи сталого розвитку. Увага переключилася з вибору між існуючими технологіями на новий технологічний розвиток через інновації. Водночас удосконалюється концепція сталого розвитку, а основна увага приділяється збереженню ресурсів для майбутніх поколінь з особливим акцентом на продуктивність [24]. Зростання населення, вплив зміни клімату, наявність орних земель та зрошувальної води створюють навантаження на сільськогосподарську систему. Тому необхідні дії з точки зору технологічних інновацій, зменшення харчових відходів, альтернативних джерел калорій та пом'якшення наслідків зміни клімату. Існує потенційний шлях до сталого сільського господарства, і цей шлях вимагає трансформаційних інновацій, які підвищують продуктивність сільськогосподарських систем та зменшують вплив зміни клімату [25]. Також, враховуючи прогнозоване зростання населення світу (9 мільярдів до 2050 року), необхідне збільшення кількості та якості продуктів харчування. Якість та кількість врожаю залежать від клімату, топографії, характеристик ґрунту, доступних поживних речовин, типів ґрунту, зрошення

тощо. Для задоволення цих потреб фермерам потрібні передові технології для виробництва більшої кількості продуктів харчування з обмеженими земельними ділянками та ресурсами. Фермери повинні контролювати свої врожаї в режимі реального часу, щоб впроваджувати необхідні заходи для покращення виробництва сільськогосподарських культур. З цієї причини існує потреба в розумному сільському господарстві. Інтернет речей (IP) дозволяє виробникам досягати кращих результатів завдяки можливості дистанційного моніторингу ферм. Машинне навчання (ML) та штучний інтелект (AI) використовуються для отримання необхідних даних для аналізу та прийняття рішень. Передові технології, такі як Інтернет речей, дрони, дистанційне зондування, комунікаційні технології та хмарні обчислення, необхідні для сталого сільського господарства [26]. Хоча для зростання населення, збільшення виробництва продуктів харчування та продуктивності, зменшення впливу на навколишнє середовище пропонуються нові та інтелектуальні технології в сільському господарстві, такі як штучний інтелект (ШІ), великі дані, Інтернет речей (IP), дрони та редагування генів (сільське господарство 4.0), існують численні перешкоди для їх впровадження. Їх можна систематизувати у такі групи [27]: технологічні (технологічна складність; несумісність між компонентами; проблеми управління енергією; відсутність інфраструктури; занепокоєння щодо питань надійності), економічні (висока вартість обслуговування об'єктів, кваліфікованої робочої сили, експлуатаційних компонентів; відсутність рішень, доступних для фермерів; занепокоєння щодо екологічних, етичних та соціальних витрат), політичні (проблеми зі збільшенням доступності; відсутність орієнтованих на ферми та фермерів підходів; необхідність розробки Плану дій для його впровадження; політичні виклики та/або відсутність процедур та угод щодо використання даних; необхідність сприяння дослідженням та розробкам та інноваційним бізнес-моделям), соціальні (проблеми в освіті - навчання, кваліфікація, навчання аналізу сільськогосподарських даних, перенесення даних у практичні знання); ризик для вікових груп; відсутність цифрових навичок та/або кваліфікованої робочої сили; асиметрія інформації; переривання існуючої

роботи) та екологічні (проблеми впливу клімату та поведінки систем; відсутність ефективності даних про сільське середовище; сталі обмеження; обмежені методи збору даних на фермах; занепокоєння щодо сталих джерел енергії). Виділяються такі бар'єри: несумісність між технологічними компонентами, занепокоєння щодо питань надійності, технологічна складність, брак інфраструктури, брак досліджень і розробок та інноваційних бізнес-моделей, брак цифрових навичок або кваліфікованої робочої сили, інформаційна асиметрія між учасниками ланцюжка сільськогосподарського виробництва та проблеми в освіті. Основним обмеженням у просуванні цього виду сільського господарства є брак довіри та прозорості даних. Також необхідно враховувати баланс між технологічним прогресом (цифрова компетентність та знання) та соціальним контекстом таких інновацій (соціальна компетентність), а також можливість передачі знань та інформації про сільське господарство 4.0 [27]. Деякими бар'єрами для впровадження точного землеробства є: брак знань, економічні бар'єри, проблеми безпеки даних, недоступність, слабка взаємодія між консультантами та фермерами. Серед соціально-економічних факторів недостатній рівень освіти є ключовим компонентом у розвитку точної сільськогосподарської технології [28].

Освіта впливає на підвищення продуктивності в сільському господарстві лише за умови вдосконалення технологій. Результати багатьох досліджень показують, що освіта не тільки підвищує продуктивність у сільському господарстві після впровадження нових технологій, але й сприяє впровадженню нових технологій [29]. Спостерігається значний вплив освіти на продуктивність у сільському господарстві, що особливо виражено в більш технологічно розвинених країнах [30]. Знання в сучасних умовах стають важливими факторами зростання продуктивності та конкурентоспроможності. У цьому контексті важливими є інновації, технологічні та підприємницькі компетенції [31].

Підсумовуючи викладене, наукова агрономія почала своє формування під впливом нагальної потреби в розвитку матеріального виробництва. З ростом попиту на продукти харчування та скороченням площ придатних для освоєння

земель, практичного землеробства, заснованого лише на емпіричних знаннях, вже було недостатньо для забезпечення зростаючих потреб населення. Виникла потреба у більш глибокому дослідженні рослин, їхніх властивостей і взаємодії з умовами довкілля, а також у впровадженні наукового підходу до вирішення актуальних для землеробства запитань. Цей запит зумовив об'єктивні передумови для появи наукової агрономії як окремої галузі знань. Спочатку експериментальні дослідження проводились на невеликих польових ділянках – так званих дослідних полях. Згодом почали створюватися дослідні станції, наукові інститути та інші спеціалізовані аграрні установи.

Структура та основні завдання наукових установ. Основною одиницею наукових організацій є *дослідницька лабораторія*, яка може бути частиною наукового підрозділу установи або факультету закладу вищої освіти. Також лабораторія може функціонувати як самостійна наукова організація на підприємстві або в структурі академії наук. У закладах вищої освіти створюються проблемні лабораторії для вирішення науково-технічних завдань фундаментальних досліджень, а також галузеві лабораторії, що займаються актуальними прикладними питаннями конкретної сфери. Залежно від спеціалізації, формуються лабораторії агрохімії, фізіології рослин, захисту рослин тощо. Лабораторії також можуть входити до складу опорного пункту.

Опорний пункт є структурною одиницею дослідницької станції або науково-дослідного інституту. Опорні пункти можуть створюватися і на виробничих об'єктах. Їхня діяльність планується науковими організаціями, яким вони підпорядковуються. За терміном функціонування опорні пункти поділяються на тимчасові та постійні, залежно від поставлених перед ними цілей. Вони займаються перевіркою та уточненням методів виробництва сільськогосподарської продукції, розроблених дослідницькими станціями або інститутами, у конкретних господарствах, надають методичну та організаційну підтримку господарствам у застосуванні наукових досягнень і передового досвіду, а також оцінюють економічну ефективність реалізованих рекомендацій.

На *дослідних полях* здійснюються багаторічні стаціонарні польові дослідження з метою вивчення технологій вирощування аграрних культур у специфічних ґрунтово-кліматичних умовах. У цих умовах вивчають ефективність добрив, види сівозмін, методи боротьби з ерозією ґрунтів, агротехніку культур, що вирощуються в регіоні, та інші аспекти. Експериментальні поля також сприяють інтеграції досягнень агрономічної науки у виробничий процес.

Науковий відділ є структурною складовою дослідницької станції або інституту. До його складу входять наукові лабораторії, які проводять дослідження на визначених ділянках експериментального поля.

За спеціалізацією існують відділи землеробства, агрохімії та ґрунтознавства, селекції, економіки тощо.

Дослідницькі станції — це науково-дослідні установи, що розробляють та пропонують виробництву агротехнічні, організаційно-економічні та інші заходи, враховуючи специфічні природно-економічні умови регіону їхнього розташування. Існують галузеві дослідницькі станції, підпорядковані профільним інститутам або Міністерству аграрної політики та продовольства, а також державні комплексні станції.

Інститути є установами, що займаються розробкою теоретичних питань сільськогосподарської науки та практичних рекомендацій щодо розвитку конкретних напрямків агрономії (відповідно до своєї спеціалізації). Вони відповідають за рівень наукових досліджень та формування рекомендацій щодо впровадження наукових досягнень і передового досвіду у виробничу сферу. Науково-технічне управління інститутами здійснюється Національною академією аграрних наук України.

Діяльність Національної академії аграрних наук України в умовах воєнного стану. Україна володіє значним потенціалом у забезпеченні продовольчої безпеки, оскільки її аграрії постачають продукти харчування не тільки на внутрішній ринок, а й на експорт, що відповідає 6% світового споживання калорій [32]. Країна є одним з лідерів у світі за обсягами експорту

багатьох видів сільськогосподарської продукції. Україна є членом Комітету ООН з продовольчої безпеки, належить до п'ятірки найбільших світових експортерів зернових культур і тривалий час розглядається як «гарант продовольчої безпеки» для багатьох держав завдяки своєму потужному експорту продуктів харчування.

Відтак, із початком широкомасштабної військової агресії Росії проти України, обмеження українського експорту зерна почали асоціювати з ризиком виникнення глобальної продовольчої кризи. Адже в різних куточках світу майже 800 мільйонів людей потерпають від недоїдання, а найбільше від цього страждають мешканці Африки та Азії. За прогнозами Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), ця небезпечна тенденція зберігатиметься до 2030 року [33].

Початок війни припав на період весняно-польових робіт, змушуючи аграріїв проводити посівну кампанію під обстрілами та в умовах дефіциту ресурсів. У відповідь на це вчені НААН розробили низку рекомендацій щодо здійснення весняно-польових робіт в умовах воєнного стану та нестачі ресурсів, а також щодо ведення органічного сільськогосподарського виробництва під час війни. Вони також створили методичні рекомендації для фіксації та оцінки непрямих збитків агропідприємств від бойових дій, поєднуючи бухгалтерські та статистичні дані, і активно консультували аграріїв з усіх питань виробничої діяльності. Наукові установи та підприємства НААН надавали сільгоспвиробникам насіння сільськогосподарських культур в кредит. Навесні 2022 року підприємствами НААН було реалізовано 5,5 мільйона тон насіння ярих культур. Восени того ж року вони також поставили українським аграріям 5,7 мільйона тон насіння озимих культур для посівної кампанії.

Попри воєнний стан, наукові установи НААН облаштували 64 дослідні полігони в різних регіонах країни. Дослідні установи та господарства НААН засіяли всі 217,2 тисячі гектарів орних земель на підконтрольній Україні території для врожаю 2022 року. Водночас, бойові дії на території України значно ускладнили роботу наукових установ та підприємств НААН: понад 30 з них опинилися під окупацією, а майже 20 – у регіонах інтенсивних боїв.

Пошкоджено об'єкти наукової інфраструктури НААН. Виконання низки завдань державних науково-дослідних програм стало складнішим через брак необхідних організаційних, технічних та інших умов.

Невважаючи на ці труднощі, вчені Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» розробили карту впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив України. Від негативного впливу постраждали практично всі основні типи ґрунтів України – від дерново-підзолистих на Півночі до каштанових солонцюватих на Півдні. Проте найбільше постраждали родючі чорноземи, зокрема звичайні та південні, які перебувають у епіцентрі активних бойових дій. Науковці НААН активно долучилися до створення Закону України «Про організації водокористувачів та стимулювання гідротехнічної меліорації земель», що був прийнятий Верховною Радою України. Це є початковим етапом реалізації Плану заходів із виконання Стратегії зрошення та осушення в Україні до 2030 року. Також було підготовлено комплекс заходів, спрямованих на гарантування водної безпеки України на національному та галузевому рівнях.

Через зміни клімату, селекційні дослідження вчених НААН спрямовані на розробку нових високоврожайних сортів і гібридів 259 культур, що пристосовані до ґрунтово-кліматичних умов України. Потенційна врожайність цих нових сортів і гібридів сягає: для озимого ячменю – 9-10 т/га, озимої пшениці – 11-14 т/га, рису – 9-10 т/га; для конопель: стебел – 9-10 т/га, волокна – 2,5-3,0 т/га, насіння – 1,0-1,5 т/га. Для гібридів: соняшнику – 4-5 т/га, кукурудзи – 12-13 т/га.

Важливий внесок у розвиток селекції сільськогосподарських культур робить Національний банк генетичних ресурсів рослин в Україні, створений на базі Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. Цей банк містить понад 153 тисячі зразків рослин, що представляють 1802 види 544 сільськогосподарських культур.

На сьогодні у Державному реєстрі сортів рослин, дозволених до використання в Україні, зареєстровано 2522 сорти та гібриди, виведені установами НААН. Нещодавно до цього реєстру було додано 98 нових сортів і

гібридів ключових сільськогосподарських культур, а ще 127 – передано на державну науково-технічну експертизу.

Щоб прискорити запровадження нових сортів і гібридів у сільськогосподарське виробництво, дослідні підприємства НААН у мирний час щорічно виробляли та реалізовували насінницьким господарствам для подальшого розмноження: понад 5 тисяч тон оригінального насіння, 60 тисяч тон елітного насіння, 800-900 тон насіння батьківських форм гібридів кукурудзи, 150-180 тон насіння батьківських форм гібридів соняшнику, а також 1 мільйон саджанців плодкових, ягідних культур і винограду.

Наукові установи НААН спільно з організаціями Національної академії наук (НАН) України ведуть спільні дослідження у сферах селекції та розробки методів діагностики хвороб рослин. Вони активно співпрацюють з Інститутом фізіології рослин і генетики, Національним ботанічним садом ім. М.М. Гришка, Інститутом кібернетики, Інститутом мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного, Інститутом проблем кріобіології та кріомедицини, а також іншими установами НАН України [34]. В Інституті сільського господарства Степу НААН здійснено дослідження нових різновидів ячменю ярого, призначених для використання на фураж у степових умовах. Це призвело до зростання врожайності культури до 3,17 – 3,89 т/га, що на 0,68 – 1,40 т/га (27,3 – 56,2%) перевищує середні показники по установі. Вміст протеїну в зерні становить 12,7–14,8%, а об'ємна маса зерна — 720 – 756 г/л. Фахівці Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН дослідили методи покращення стану здоров'я конопель на території Лівобережного Лісостепу України. Це забезпечило зростання економічної ефективності вирощування культури на 1950 грн/га. Співробітники Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН розробили та успішно апробували вдосконалену технологію вирощування озимої пшениці, що пристосовується до умов східної частини Північного Степу України. Вона забезпечила збільшення врожайності на 40–58% порівняно з традиційними методами, а прибутковість виробництва зерна зросла від 25,7 до 86,2%. В Інституті кормів та сільського господарства Поділля НААН

досліджено новий підхід до вирощування пізніх однорічних кормових культур як поживних посівів. Цей метод дозволяє отримувати 60 – 80 т/га зеленої маси та 12 – 16 т/га сухої речовини з високою поживністю (0,6 – 0,7 к. од./кг) завдяки ефективному використанню природних ресурсів у період вегетації (червень-вересень). Економічний ефект від цього підходу становить 3,0 – 5,0 тис. грн/га. Фахівці Прикарпатської ДСГДС Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН науково обґрунтували принципи максимізації продуктивності білої гірчиці шляхом оптимізації технології її вирощування в умовах Карпатського регіону. Було досягнуто врожайність 2,7 т/га, а виробництво олії становило 0,7 т/га. Чистий прибуток від культури сягає 16 тис. грн/га, показник рентабельності — 120%, а вартість виробництва — 9 тис. грн/га. Загалом у 2024 році було реалізовано 218 інноваційних рішень у сфері агропромислового комплексу [34].

Дослідна робота у Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного. Для посилення науково-дослідної діяльності у ТДАТУ засновано чотири науково-дослідні інститути: НДІ механізації землеробства Півдня України, НДІ агротехнологій та екології, НДІ стратегії соціально-економічного розвитку регіону та НДІ зрошувального садівництва. У цих інститутах функціонують 22 спеціалізовані науково-дослідні лабораторії [35]. Співробітники цих інститутів зосереджують свою діяльність на виконанні програми «Наука в ТДАТУ», а також на створенні та впровадженні передових технологій для вирощування, збору, переробки та довготривалого зберігання сільськогосподарської продукції. Вони також займаються розробкою методів та засобів механізації інтенсивного садівництва за умов зрошення, розв'язанням питань ефективного використання сільськогосподарської техніки, енергозбереження, прикладної біофізики, сприянням розвитку підприємництва, маркетингу, менеджменту, а також фінансово-кредитним та обліково-аналітичним супроводом діяльності підприємств [36].

Науково-дослідний інститут агротехнологій та екології (НДІ АТіЕ) при Таврійському державному агротехнологічному університеті був заснований

згідно з наказом Міністерства аграрної політики України №596 від 14 серпня 2007 року [37]. Його основною метою є впровадження результатів як фундаментальних, так і прикладних досліджень, спрямованих на оптимізацію систем землеробства та переробної галузі агропромислового комплексу (АПК). Інститут також спеціалізується на розробці обґрунтованих наукових технологій для вирощування та первинної обробки рослинницької продукції, особливо в контексті глобального потепління та аридизації клімату в степовій зоні України.

В структурі інституту функціонують два підрозділи (з питань вирощування рослин та з технологій обробки й зберігання сільськогосподарської продукції) і чотири дослідні лабораторії, якими керують провідні науковці університету. Напрямки досліджень, що здійснюються під їхнім керівництвом, включають:

розробка комплексних антиоксидантів, що мають властивість стимулювати захисні реакції, для зниження хімічного навантаження в аграрних екосистемах. Використання таких сполук сприяє формуванню дієвої системи антиоксидантного захисту та індукує спадкову стійкість рослин до несприятливих зовнішніх факторів;

Розробка методики використання засобів для регулювання росту та біологічних добрив в органічному землеробстві. Поєднання їх у вирощуванні соняшнику допомагає краще використовувати природний потенціал ґрунту та покращує взаємодію між мікроорганізмами й рослинами, що призводить до збільшення врожайності та отримання екологічно чистої продукції.

Розробка способу комплексного застосування безпечних для природи біоантиоксидантів під час зберігання фруктів та овочів. Використання цієї нової методики дозволяє зменшити втрати продукції при тривалому зберіганні та збільшує її поживну цінність.

У науково-дослідному інституті ведеться підготовка наукових кадрів вищої кваліфікації – кандидатів та докторів сільськогосподарських наук. Крім штатних працівників, до наукових досліджень активно залучаються студенти університету. Отримані наукові результати є основою для студентських курсових та дипломних робіт, захищаються патентами та проходять публічну

апробацію. Науковці інституту також надають практичну підтримку агровиробникам у впровадженні сучасних технологій культивування сільськогосподарських культур.

Науковою основою діяльності інституту є сформовані та успішно функціонуючі в університеті наукові школи. Їх очолюють визнані фахівці, серед яких члени-кореспонденти НААН України, доктори та професори: Кюрчев В.М., Надикто В.Т., Дідур В.А., Волох А.М., Панченко А.І., Діордієв В.Т., Караєв О.Г., Яворська Т.І. та інші провідні вчені.

Науковці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного підтримують активні партнерські відносини з низкою міжнародних освітніх та наукових закладів. Серед них – Русенський університет «Ангел Кънчев» (м. Русе, Болгарія), Варшавський агротехнічний університет (м. Варшава, Польща), Білоруський державний аграрний технічний університет (м. Мінськ, Білорусь), Словацький сільськогосподарський університет (м. Нітра, Словаччина), Університет прикладних наук (м. Ангальт, Німеччина), Маріямпольський університет прикладних наук (м. Маріямпіль, Литва), Аграрний університет (м. Пловдив, Болгарія). Крім того, здійснюється співробітництво з вітчизняними науково-дослідними установами, зокрема з Національною академією аграрних наук України (НААН).

Замовниками науково-технічних розробок університету виступають Міністерство освіти і науки України, Запорізьке обласне управління агропромислового розвитку, територіальні громади регіону, а також підприємства агропромислового комплексу та промисловості.

Розробки НДІ агротехнологій і екології [37]:

1. Технологія використання регулятора росту АКМ при вирощуванні ячменю озимого за умов недостатнього зволоження.
2. Технологія використання регулятора росту АКМ при вирощуванні ячменю ярого за умов недостатнього зволоження.
3. Технологія використання новітніх регуляторів росту для підвищення урожайності і якості зерна озимої пшениці.

4. Спосіб підвищення морозостійкості озимої пшениці.
5. Спосіб зниження пестицидного навантаження в короткоротаційних зернових сівозмінах.
6. Технологія використання новітніх регуляторів росту при вирощуванні соняшнику.
7. Спосіб вирощування саджанців черешні.
8. Спосіб вирощування насаджень черешні з інтеркалярною вставкою.
9. Антиоксидантна композиція для обробки яблук перед зберіганням.
10. Спосіб підготовки плодів зерняткових культур до зберігання.
11. Спосіб зберігання плодів сливи у повітряному середовищі і в цукровому сиропі за низьких температур.
12. Спосіб зберігання перцю солодкого замороженого в маринадній заливці.
13. Технологія обрізування персика.
14. Інтенсивна технологія аеробної ферментації субстрату при вирощуванні грибу глива звичайна.
15. Спосіб підготовки плодів сливи до зберігання.
16. Спосіб підготовки плодів абрикоса до зберігання.
17. Спосіб підготовки плодів пасльонових овочів до зберігання.
18. Спосіб підготовки плодів гарбузових овочів до зберігання.

1.2 Методи досліджень в агрономії

Загальнонаукові методи досліджень. У галузі агрономічної науки активно використовуються численні загальнонаукові методи та підходи. Серед них виділяють: *висунення гіпотез, експериментальні дослідження, спостереження, аналіз, синтез, індукцію, дедукцію, абстрагування, конкретизацію, аналогію, моделювання, формалізацію, інверсію, узагальнення та інші.*

Важливим етапом дослідницької діяльності є формулювання робочих гіпотез. Гіпотеза являє собою науково обґрунтоване припущення, достовірність якого на початковому етапі залишається непідтвердженою. При застосуванні

гіпотез з метою розширення пізнання, їх спочатку формулюють, а потім піддають емпіричній перевірці, зазвичай шляхом проведення експериментів (рис. 1.2).

Існують такі *правила висування гіпотез [38-41]*:

1. Принцип відповідності (узгодженості) гіпотез із емпіричними даними, що є предметом їхнього пояснення.

2. Критерій пояснювальної сили: перевага надається гіпотезі, яка здатна пояснити ширший спектр емпіричних явищ або фактів.

3. Вимога глибокої логічної взаємодії (когерентності): зв'язок між гіпотезами та фактами, що пояснюються, має бути максимально обґрунтованим і прямим.

4. Принцип несуперечливості (нон-контрадикторності): взаємовиключні гіпотези не можуть бути істинними одночасно.

5. Необхідність усвідомлення імовірнісного характеру: при формулюванні гіпотез слід враховувати, що їхні висновки мають імовірнісний, а не абсолютно детермінований характер.

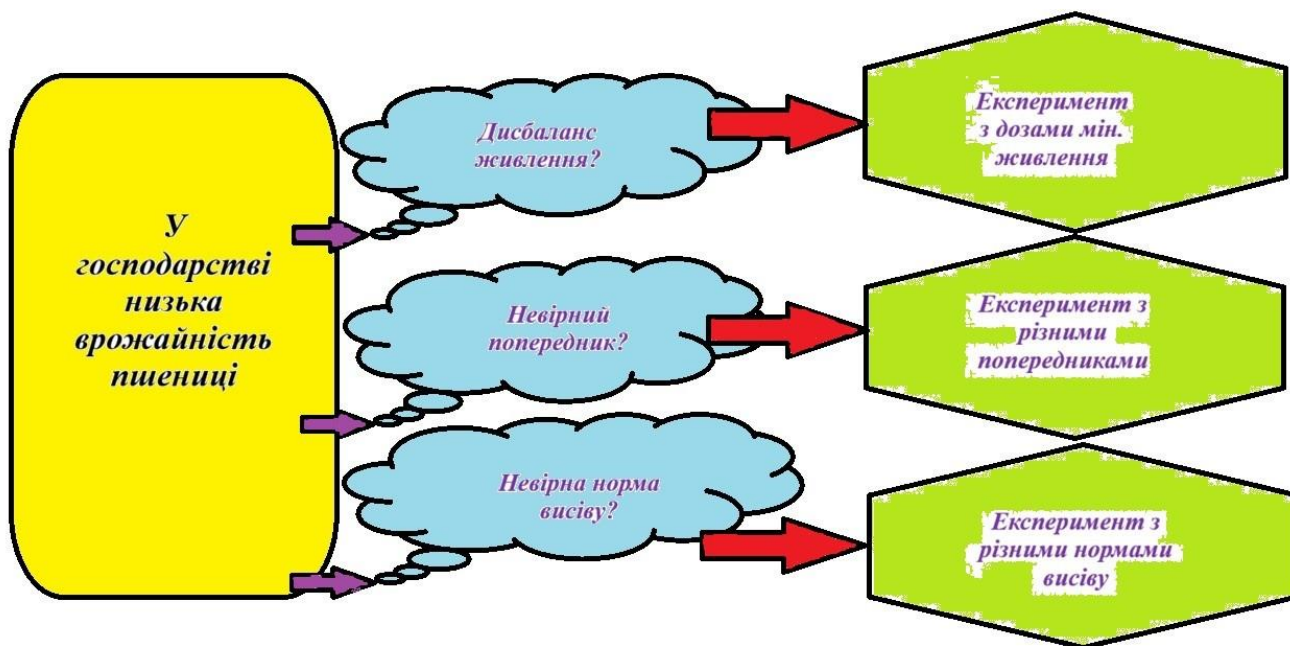


Рис.1.2. Приклад висування і перевірки гіпотез

Експеримент є фундаментальним методом наукового пізнання, що передбачає вивчення об'єкта та його внутрішніх процесів у спеціально створених, контрольованих умовах. Його основне призначення полягає в емпіричній верифікації гіпотез, сформульованих на етапі планування дослідження. Слід зазначити, що у галузі агрономічних досліджень експеримент (дослід) виступає як провідний методологічний підхід, тісно взаємодіючи з висуненням гіпотез та спостереженнями.

Сучасна наукова практика оперує розмаїттям експериментальних підходів, що класифікуються як **якісні, кількісні (вимірювальні), змішані, мислені та обчислювальні**. У агрономії переважають якісні, кількісні і змішані експерименти (рис. 1.3).

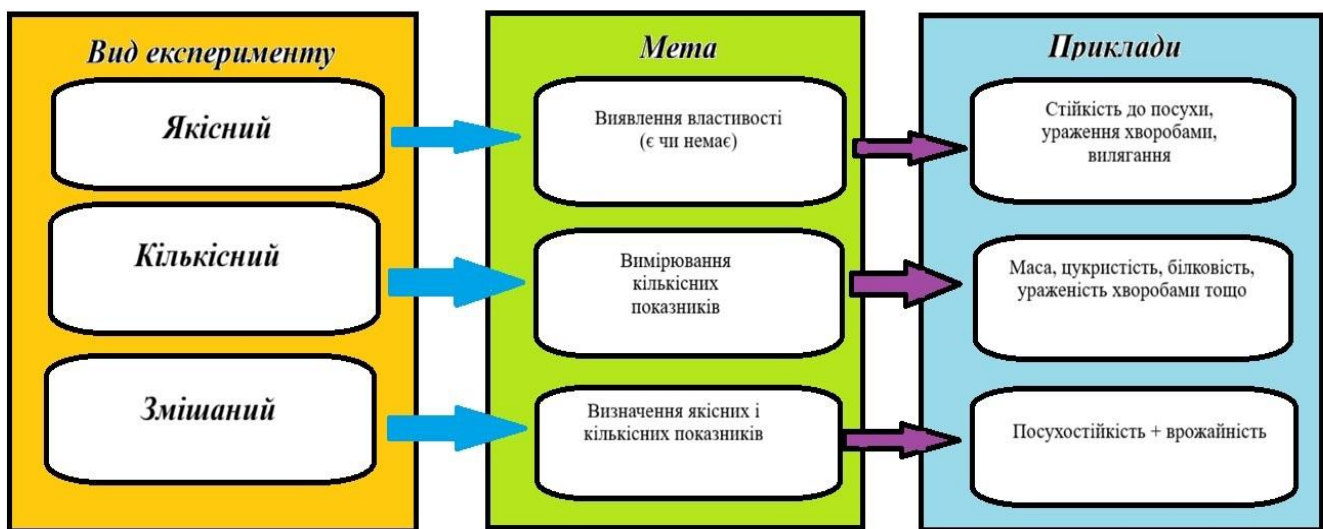


Рис. 1.3. Види експериментів у агрономії

Основною ціллю якісних експериментів є ідентифікація наявності або відсутності явища, передбаченого гіпотезами або теоретичними положеннями. Наприклад, можна емпірично перевірити стійкість певного сорту пшениці до ураження сажкою або до вилягання, як це зазначено в його характеристиках. Якісні експерименти також дозволяють отримати відповіді на бінарні питання,

наприклад, щодо морозостійкості сорту чи його приналежності до ранньостиглих або пізньостиглих типів.

Вищу ступінь складності представляють кількісні (вимірювальні) експерименти, де акцент робиться на дослідженні числових показників певних властивостей об'єкта. Наприклад, при оцінці впливу попередників на сільськогосподарську культуру визначають її врожайність, якість одержаної продукції, ступінь ураженості шкідниками чи патогенами. До релевантних кількісних метрик відносять масу, показники цукристості, вміст білка, відсоток ураження тощо.

У дослідницькій практиці найчастіше застосовуються комбіновані експерименти, які передбачають аналіз як якісних, так і кількісних змінних.

У фундаментальних наукових дисциплінах застосовуються концептуальні (*мислені*) експерименти з ідеалізованими об'єктами з метою з'ясування внутрішньої узгодженості основоположних принципів теорії. Натомість, *обчислювальний* експеримент базується на розрахунках математичних моделей задля ідентифікації найбільш оптимального варіанту серед них. Для виконання складних обчислень у межах таких експериментальних досліджень активно використовуються комп'ютерні засоби.

Метод експерименту має низку ключових переваг порівняно з іншими дослідницькими підходами:

1) Він дозволяє розміщувати досліджуваний об'єкт у штучно створених, контрольованих умовах, усуваючи потребу в очікуванні їхньої природної появи. Це включає активне втручання, наприклад, оптимізацію умов культивування рослин (зрошення, внесення добрив, регулювання норм висіву та термінів) або застосування різноманітних засобів захисту посівів від шкідливих організмів та хвороб.

2) У межах одного експериментального дослідження можливе одночасне вивчення множини явищ або чинників, що трансформує його у багатофакторний дослід.

Спостереження визначається як цілеспрямована концентрація уваги дослідника на феноменах, що відбуваються як в експериментальних умовах, так і в природному середовищі, з метою їхньої кількісної та якісної фіксації. У контексті наукової агрономії основна мета спостережень полягає у виявленні оптимальних компонентів агротехнічних прийомів, технологічних рішень, сортів та ґрунтових умов, які зумовлюють зростання врожайності та покращення якісних характеристик продукції.

До фундаментальних вимог, що пред'являються до спостережень, належать:

1. Забезпечення однозначності отриманих результатів досліджень.
2. Об'єктивність, що передбачає можливість верифікації даних шляхом реплікації спостережень.
3. Застосування прецизійних вимірювальних інструментів та обладнання.
4. Адекватна інтерпретація зафіксованих даних.

Як ілюстративні приклади спостережень можна навести оцінку морозо-, зимо- та посухостійкості культурних рослин, їхньої резистентності до вилягання, а також ступеня ураження шкідниками та патогенними мікроорганізмами. Важливо зазначити, що спостереження здійснюються не лише в рамках контрольованих експериментів, а й поза ними. Так, моніторинг природних явищ включає фіксацію інтенсивності атмосферних опадів, показників температури та вологості повітря, температурного режиму ґрунту, тривалості сонячного освітлення, дат настання перших осінніх і останніх весняних заморозків, періодів початку та завершення вегетації, старту та фіналу цвітіння, а також інших фенологічних фаз розвитку рослин у їхньому природному середовищі, тобто без експериментального втручання. Результатом таких спостережень є накопичення емпіричних даних, що дозволяють формулювати цінні наукові висновки.

Реєстрація даних та моніторинг мають здійснюватися згідно з апробованими методологіями та у відповідності до чинних державних стандартів. Усе вимірювальне обладнання, що використовується для збору даних та моніторингу (наприклад, ваги, термометри, колориметри), підлягає щорічній

метрологічній повірці уповноваженими державними органами стандартизації та метрології. Результати повірки документуються відповідними актами.

Аналіз визначається як дослідницький метод, що передбачає декомпозицію об'єкта дослідження, як концептуальну, так і практичну, на складові елементи задля їхнього поглибленого вивчення. Наприклад, в експериментальних дослідженнях декомпозиція здійснюється поетапно: спочатку за повтореннями, а потім кожне повторення розглядається за окремими ділянками або варіантами. Моніторинг розвитку рослин здійснюється або з фіксованою періодичністю (наприклад, декадно, щомісячно), або відповідно до фенологічних фаз їхнього розвитку. З метою встановлення хімічного складу рослинного матеріалу здійснюється його диференціація на окремі органи, такі як листя, стебла, плоди, коренева система та інші частини. Наприклад, у коренеплодах цукрових буряків встановлюється вміст сахарози, у зерновій продукції злакових культур — вміст протеїнів, а в бульбах картоплі — концентрація крохмалю.

У рамках наукових розвідок використовується низка аналітичних підходів. Одним із таких підходів є визначення кількісного співвідношення між складовими елементами об'єкта після його декомпозиції. Інший вид аналізу охоплює систематизацію (класифікацію) ґрунтів, біологічних видів (рослин), патогенів та шкідників. До спектра аналітичних методів також належать математичний, формально-логічний та інші типи аналізу. Аналітичний метод застосовується в нерозривному зв'язку із синтезом.

Синтез визначається як процес інтеграції диференційованих та проаналізованих компонентів досліджуваного об'єкта або кількох сутностей у єдину, цілісну систему. Його основне призначення полягає в отриманні релевантних даних шляхом глибокого аналізу, що сприяє формуванню комплексних висновків та ґрунтовних узагальнень. Хоча синтез певним чином протиставляється аналізу, ці два методи є нерозривно пов'язаними та взаємодетермінованими. Так, наприклад, після аналізу емпіричних даних, отриманих з кожної ітерації, дослідник обчислює середньоарифметичні показники для кожного експериментального варіанта. Подальший аналіз

кожного варіанта сприяє їх об'єднанню в межах дослідження, що уможливорює формулювання висновків та узагальнень, а як кінцевий етап синтезу — розробку практичних рекомендацій.

В сучасній науковій парадигмі синтез застосовується не лише для вивчення ізольованого феномену в межах конкретної дисципліни, але й у міждисциплінарній площині для ідентифікації інтердисциплінарних кореляцій та взаємозалежностей (наприклад, між агрономією, фізикою, математикою, хімією тощо).

Індукція — це методологічний підхід, за допомогою якого формуються узагальнюючі судження на основі емпіричних даних (логічний ланцюжок “від окремого до загального”). Наприклад, спостереження пожовтіння листя рослин може слугувати індикатором дефіциту азотного живлення; якщо листя набуває фіолетового відтінку, це вказує на ймовірну нестачу фосфору в рослині. Однак, в'янення листя не завжди є достатньою підставою для беззастережного висновку про погіршення гідрорежиму ґрунту.

Дедукція є дослідницькою методикою, що дозволяє формулювати партикулярні та індивідуальні висновки шляхом аналізу загальних положень та встановлених фактів (логічний ланцюжок “від загального до окремого”). Будь-яке застосування універсальних принципів, законів або закономірностей для обґрунтування часткових заключень також здійснюється дедуктивним методом. Приміром, існує відомий факт, що застосування хімічного регулятора росту "тур" для обприскування посівів пшениці спричиняє зменшення довжини міжвузля. Враховуючи, що коротші міжвузля корелюють з меншою висотою рослини, звідси логічно випливає висновок про підвищену стійкість короткостеблових сортів пшениці до вилягання. Практична верифікація цього висновку підтвердила його валідність.

Абстракція є інтелектуальним процесом відокремлення ключових елементів та суттєвих взаємозв'язків у об'єкті дослідження.

Застосовуються два основні види абстракцій:

1) *ідентифікація (ототожнення)* — для формування концептів щодо систем і класів;

2) *ізоляція (відокремлення)* — для виокремлення сутнісних атрибутів від вторинних, що є центральним завданням даного методу.

Таким чином, у контексті експериментального проектування, дослідник виокремлює найбільш ефективні варіанти з-поміж численних альтернатив, які демонструють значні відмінності за ключовими показниками. Аналогічно, фахівець із селекції серед безлічі гібридів обирає оптимальні зразки, враховуючи не лише продуктивність та якість продукції, а й резистентність до біотичних (хвороби, шкідники) та абіотичних (посуха, мороз) стресів, а також інші бажані характеристики.

Крім того, абстракція інкорпорує елементи прогностичного моделювання результатів експериментальної діяльності, що робить її універсальним гносеологічним інструментом.

Конкретизація є методологічним підходом, що передбачає перехід від узагальнених абстракцій до специфічних реалій. Наприклад, після ідентифікації та осмислення сутності фундаментального процесу утворення органічної речовини, яким є фотосинтез, дослідник інтелектуально повертається до детального аналізу рослини, її оточення та системи «середовище — рослина», вивчаючи комплексні взаємодії рослини з усією сукупністю чинників її життєдіяльності.

Отже, методи абстрагування та конкретизації тісно взаємопов'язані, взаємно доповнюють один одного та мають бути інтегровані дослідником у комплексний методологічний арсенал.

Аналогія являє собою метод пізнання, що передбачає перенесення наявних знань про вже досліджені об'єкти, предмети або явища на інші, ще невідомі сутності, які демонструють подібні характеристики. Таким чином, умовивід формується на основі аналогії.

Як приклад можна навести ситуацію, коли новий сорт картоплі, що впроваджується у сільськогосподарській практиці, визнається аналогічним

районованому сорту Пролісок. Це означає, що даний новий сорт матиме ідентичні властивості, такі як ранньостиглість, стійкість до раку та картопляної нематоди, а також високу продуктивність, властиві визначеному районіваному сорту.

Використання аналогії має здійснюватися у поєднанні з іншими методами дослідження, з дотриманням таких *принципів*:

1) аналогія повинна базуватися на суттєвих ознаках та значній кількості спільних властивостей;

2) взаємозв'язки між порівнюваними ознаками мають бути тісними та значущими;

3) метод аналогії повинен виявляти не лише подібність, а й відмінності між об'єктами. Застосування аналогій для виявлення подібності показників, предметів та явищ слугує основою для моделювання.

Моделювання визначається як метод вивчення об'єктів, процесів та явищ за допомогою їхніх моделей. Його сутність полягає у заміщенні об'єктів, які складно піддаються безпосередньому дослідженню, спеціально розробленим аналогом – зручною моделлю. Для забезпечення ефективності досліджень на моделях, кожна з них повинна відображати ключові характеристики оригіналу. Якщо модель зберігає фізичну природу оригіналу, її класифікують як фізичну модель.

До найпростіших прикладів моделювання в експериментальній діяльності належить розробка схеми досліду, масштабоване креслення дослідної ділянки з її обліковою та захисною частинами, а також схематична репрезентація всього експерименту із виділенням повторень та зазначенням локації кожного варіанта тощо.

Розрізняють моделювання як структури об'єкта, так і його функціональної поведінки, тобто процесів, що відбуваються в досліджуваному об'єкті. Чим повніше модель відображає оригінал, тим точніше результати досліджень моделі корелюватимуть з результатами вивчення самого об'єкта. Моделювання як метод

застосовується у поєднанні з іншими підходами, часто з експериментом, і тоді має назву модельного експерименту.

Формалізація є методом дослідження об'єктів шляхом аналізу окремих елементів їхньої структури, що відображають сутнісний зміст об'єкта. Найчастіше формалізація використовується із залученням математичного апарату, де докази представляються у вигляді логічно послідовних формул. Наприклад, продуктивність культури залежить від складу ґрунту (X_1), вмісту в ньому азоту (X_2), фосфору (X_3), калію (X_4), вологості (X_5), аерації (X_6) та інших детермінантів (X_n). Формула врожайності послідовно розраховується спочатку шляхом визначення залежності від кожного з цих факторів, а потім виводиться узагальнена формула: $Y=f(X_1 X_2 X_3...X_n)$.

Сама суть методу формалізації як раз полягає у використанні подібних формул. *Інверсія* може бути визначена як методологічний підхід, що передбачає дослідження об'єктів, явищ або предметів з *нестандартної, альтернативної чи навіть полярно протилежної перцептивної рамки*. Сутність цього методу полягає у відступі від традиційного алгоритму вивчення, у парадоксальному сполученні диспаратних елементів та у деконструкції інтегральних систем. Ключовою засадою інверсії є свідоме відхилення від усталених концепцій та методик у дослідницькій діяльності.

Як приклад, для отримання репрезентативної аналітичної проби рослинний матеріал вимагає попередньої дегідратації та диспергування. Проте, застосування високих температур під час сушіння може спричинити значні трансформації біохімічного складу зразка, що призведе до невалідності аналітичних даних. Отже, високотемпературне висушування є неприйнятним для рослинних зразків, призначених для біохімічного аналізу. Цю проблему можна ефективно вирішити, застосовуючи метод інверсії, який полягає у дегідратації зразків за низьких температур, зокрема шляхом ліофілізації (виморожування). Це дозволяє припинити небажані біохімічні зміни та забезпечити достовірне відображення природного вмісту органічних сполук у досліджуваному матеріалі.

Узагальнення (генералізація) — це методологічний прийом, який полягає у мисленнєвому переході від одиничних фактів, окремих явищ та процесів до їх концептуального ототожнення або від специфічних понять і тверджень до ширших категорій. Цей процес відбувається поетапно: спочатку узагальнюються результати, отримані в межах кожної реплікації експерименту, потім — для всього дослідження в цілому, далі — для конкретного аграрного підприємства, і згодом — для сукупності господарств, що функціонують в аналогічних ґрунтово-кліматичних умовах, а також для певних видів культур та їх сортів. Об'єктами узагальнення можуть виступати емпіричні дані, гіпотези, оціночні судження та сформовані наукові теорії. Для реалізації узагальнення використовуються такі когнітивні операції, як абстрагування, конкретизація, аналіз, синтез, індукція та дедукція, а також інші логічні інструменти.

Спеціальні методи досліджень. Специфічні методи досліджень, що застосовуються в агрономічній науці, часто позначаються як конкретно-наукові. До цієї групи відносяться такі ключові методи: *лабораторний, вегетаційний, лізиметричний, вегетаційно-польовий, польовий та експедиційний*. Важливо зазначити, що кожен з них може бути застосований у поєднанні з іншими спеціалізованими та загальнонауковими методами.

Лабораторний метод використовується для аналізу рослинного матеріалу та його оточення в контрольованих умовах лабораторії (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Лабораторні дослідження якості насіння соняшнику у Таврійському державному агротехнологічному університеті, 2021 рік

Його основне призначення полягає у дослідженні взаємодії між організмом рослини та чинниками довкілля, визначенні якісних показників урожаю, вивченні метаболічних процесів у рослинах, а також аналізі фізичних, хімічних та мікробіологічних характеристик ґрунту. Цей метод передбачає не тільки проведення глибоких аналітичних процедур, але й об'єктивний та всебічний синтез отриманих даних, що передує практичній валідації висунутих гіпотез. Лабораторний метод є фундаментом для проведення практично всіх вегетаційних та польових експериментів. Зокрема, без належних лабораторних аналізів неможливо здійснити обґрунтований відбір ділянок для досліджень, їх ефективне планування та подальшу реалізацію.

Вегетаційний метод являє собою дослідження рослин, що культивуються у спеціально обладнаних вегетаційних спорудах (наприклад, теплицях) за

регульованих умов зовнішнього середовища (рис. 1.5). Тривалість таких досліджень може варіюватися від кількох діб до декількох місяців, а для багаторічних видів – до кількох років. Головна мета вегетаційного методу полягає у з'ясуванні ролі окремих абіотичних та біотичних факторів у житті рослин, а також у дослідженні механізмів процесів, що відбуваються як у самих рослинах, так і в ґрунті, та у комплексній системі «ґрунт—рослина». Цей метод надає можливість контролювати та підтримувати різноманітні параметри зовнішнього середовища згідно із завданнями дослідження (наприклад, вологість, доступність поживних речовин, рівень рН розчину, освітлення, температурний режим). Однак, істотним обмеженням є те, що цей метод не дозволяє повною мірою оцінити вплив досліджуваних факторів на продуктивність рослин в умовах природної мінливості. Завдяки стабілізації параметрів середовища у вегетаційних дослідженнях, що відрізняється від динаміки польових умов, є можливість мінімізувати кількість вегетаційних періодів, а отже, й часових повторень експерименту.

Вегетаційний метод часто використовують разом з польовим.

Вегетаційний метод демонструє високу ефективність при дослідженні впливу різноманітних зовнішніх чинників на мінеральне живлення та метаболічні процеси рослин. Він також дозволяє вивчати залежність росту культур від температурних умов ризосфери та навколишнього повітря. За допомогою цього методу досліджується роль води у життєдіяльності рослин, феномен фотоперіодизму, інтенсивність освітлення та тривалість світлового дня. Вегетаційні споруди надають можливість порівнювати родючість різних ґрунтових субстратів та оцінювати ефективність вирощування на них культур за уніфікованих умов.



Рис. 1.5. Вегетаційний дослід з впливу передпосівної обробки насіння ячменю ярого на показники схожості і сили росту, 20.10.2025 року

Проте, цей метод має ряд суттєвих обмежень. По-перше, вегетаційні ємності не відтворюють повноцінну шаруватість ґрунтового профілю, а також не містять підґрунтя, що спотворює природні гідрологічні характеристики експерименту. Часто як поживний субстрат використовуються інертні матеріали, такі як пісок, вода або гравій. Отже, результати, отримані цим методом, не завжди дозволяють достовірно прогнозувати вплив досліджуваного чинника на продуктивність культур в реальних польових умовах. По-друге, спорудження та обладнання вегетаційних будиночків вимагає значних фінансових та матеріальних витрат.

Незважаючи на вказані недоліки, вегетаційний метод дозволяє більш прецизійно моделювати різні умови середовища та ідентифікувати оптимальні для сільськогосподарських рослин. Як зазначав Д.М. Прянишников, *вегетаційний метод характеризується вищою точністю, але меншою реалістичністю для безпосереднього застосування його результатів у виробництві; польовий метод, навпаки, є менш точним, проте більш релевантним.* Таким чином, ці методи взаємодоповнюють один одного.

Лізиметричний метод передбачає вивчення рослин та характеристик ґрунту безпосередньо в польових умовах з метою аналізу водного балансу та динаміки поживних елементів. Ці дослідження здійснюються у великогабаритних

ємностях, відомих як лізиметри, які регулярно зважуються. Ключова відмінність від вегетаційного методу полягає в тому, що життєдіяльність рослин та властивості ґрунту вивчаються не в спеціалізованих вегетаційних спорудах, а безпосередньо в природному середовищі. Лізиметри інтегруються в ґрунт шляхом встановлення їх у попередньо викопані траншеї таким чином, щоб надземна біомаса рослин перебувала в ідентичних умовах з рослинами, які ростуть безпосередньо в польових умовах. На дні кожного лізиметра передбачено дренажний отвір для збору фільтрату (промивних вод) з метою подальшого хімічного аналізу.

Глибина ґрунтового стовпа в лізиметрах варіює залежно від цілей дослідження та виду рослин, як правило, від 25 см до 2 м, причому найчастіше застосовуються лізиметри висотою 1–1,5 м.

За методикою наповнення ґрунтом розрізняють два основні типи лізиметрів: з порушеною структурою ґрунту, де ґрунт насипається, та з непорушеною структурою, що містять моноліт ґрунту. У лізиметри з насипним ґрунтом ґрунт укладають пошарово, попередньо просіюючи, змішуючи та ущільнюючи до досягнення природної об'ємної маси. Залежно від конкретних завдань експерименту, лізиметри можуть бути задіяні з рослинами або залишатися без рослинного покриву.

Лізиметри виготовляють з бетону, їх об'єм може становити 1–2 м³ ґрунту, або з металу, діаметром 20–100 см. У деяких випадках для лізиметричних досліджень використовують металеві воронки діаметром до 50 см.

Для полегшення збору фільтраційних вод під лізиметрами облаштовують освітлені технічні коридори. З метою періодичного зважування лізиметрів передбачаються спеціальні отвори або кільця. Незалежно від їхньої конструкції, лізиметри розташовують групами відповідно до тематики досліджень, переважно поблизу лабораторій для оптимізації їхнього обслуговування.

Серед ключових аспектів, що вивчаються за допомогою лізиметричного методу, виділяють: динаміку вологості ґрунту; процеси промивання ґрунту атмосферними опадами; якісний склад води, що фільтрується через ґрунт;

інтенсивність вимивання мінеральних солей та поживних речовин з ґрунту та внесених добрив; втрати елементів живлення внаслідок тривалого удобрення; рівень транспірації та випаровування вологи з ґрунту; а також водопроникність ґрунту.

Незважаючи на те, що лізиметричні дослідження проводяться у польових умовах, їхні умови не завжди повністю відповідають природним польовим умовам. Для мінімізації цього недоліку застосовується вегетаційно-польовий метод.

Веgetаційно-польовий метод передбачає дослідження рослин безпосередньо у полі, використовуючи металеві посудини без дна (циліндри). Цей підхід є проміжною ланкою між контрольованими вегетаційними та повномасштабними польовими дослідженнями.

У цьому методі, ґрунт, що знаходиться всередині циліндрів, ізольований від ґрунту основного поля лише латерально, тоді як у нижній частині він зберігає природний контакт із ґрунтовим масивом або підґрунтям на експериментальній ділянці. Ці циліндри можуть бути розміщені не тільки на спеціально підготовлених дослідних майданчиках, а й безпосередньо в польових умовах сівозмін, що дозволяє вивчати вирощування різноманітних сільськогосподарських культур на різноманітних агрофонах, типах ґрунтів, а також на ділянках з неоднаковою експозицією та кутом нахилу рельєфу.

Цей метод дозволяє досліджувати ефективність різних агрохімікатів, оцінювати продуктивний потенціал ґрунтових горизонтів та моделювати різноманітні параметри ґрунтового середовища. З цією метою, відповідно до експериментальних умов, у циліндри вносять різноманітні поживні елементи в різних концентраціях та співвідношеннях, регулюють реакцію ґрунтового розчину (рН), контролюють ступінь ущільнення ґрунту. Водночас, у циліндрах можливе культивування різних видів рослин як у монокультурі, так і в змішаних посівах, з варіативною густиною посіву та глибиною загортання насіння, а також із застосуванням або без додаткового підживлення.

Під час проведення експериментів металеві циліндри, що мають висоту від 30 до 100 см, заглиблюють у ґрунт таким чином, щоб їхня верхня частина виступала над поверхнею ґрунтового покриву приблизно на 10 см. Мінімальна кратність повторів має становити три. У контрольних зразках відтворюються умови, ідентичні польовим ділянкам, на яких розміщуються лізиметри. Таким чином, цей підхід дозволяє вивчати вплив різних чинників у середовищі, максимально наближеному до природних умов.

Вегетаційно-польовий метод знаходить застосування також у селекції, агрометеорології, сільськогосподарській практиці та рослинництві, дозволяючи відтворювати необхідні параметри ґрунтового середовища. Застосування мобільних кліматичних камер, виготовлених із полімерних плівок, де можливе регулювання температурного режиму повітря, надає змогу моделювати широкий спектр метеорологічних умов, включно з кліматичними показниками, що відповідають різним фенологічним фазам росту і розвитку рослин. Така можливість сприяє мінімізації несприятливого впливу природних факторів на процес формування врожаю.

Крім вищезгаданих переваг, вегетаційно-польовий метод відзначається тим, що для його реалізації не потрібні спеціальні капітальні споруди зі складним обладнанням (як-от вегетаційні будиночки, теплиці чи фітотрони). Проте варто зауважити, що більш глибоке вивчення культур є доцільним при застосуванні традиційного польового експерименту.

Польовий метод дослідження (рис. 1.6) являє собою системне проведення емпіричних експериментів безпосередньо в умовах відкритого ґрунту. Він є фундаментальним підходом у науковій агрономії, оскільки саме завдяки ньому здійснюється інтеграція теоретичних розробок із практичною діяльністю. На основі отриманих даних формуються обґрунтовані рекомендації щодо агротехнічних заходів, технологій вирощування культур та сортового складу для сільськогосподарського виробництва.

Провідна мета польового методу полягає у виявленні статистично значущих відмінностей між експериментальними варіантами, а також у кількісній оцінці впливу різноманітних чинників середовища на врожайність рослин і якісні показники аграрної продукції.

Рис. 1.6. Польові дослідження у у Таврійському державному



агротехнологічному університеті, 2021 рік

Більшість наукових проблем агрономічної галузі розв'язується саме за допомогою польових досліджень. Це стосується вивчення оптимальних параметрів обробітку ґрунту (глибини, строків, способів), розробки технологій вирощування сільськогосподарських культур, оптимізації структури посівних площ, визначення кращих попередників, встановлення ефективних режимів зрошення, розробки заходів боротьби з ерозією (водною та вітровою), оцінки ефективності органічних і мінеральних добрив, вдосконалення методів меліорації ґрунтів, а також оцінки нових сортів та гібридів.

В агрономічній практиці застосовуються різноманітні типи польових експериментів.

Польові дослідження реалізуються як у спеціалізованих наукових установах, так і безпосередньо в умовах господарської діяльності. Їх кінцевою метою є економічна валідація досліджуваних варіантів та подальше впровадження найбільш перспективних рішень у виробничий процес.

Незважаючи на провідну роль польового методу в науковій агрономії, його не слід протиставляти іншим спеціалізованим та загальнонауковим підходам. Ефективність цього методу значно підвищується при його інтеграції з іншими

методологіями, вибір яких визначається специфікою та завданнями дослідницької програми.

Експедиційний метод досліджень передбачає вивчення та узагальнення агрономічних питань безпосередньо в умовах агровиробництва шляхом польових обстежень посівів сільськогосподарських культур.

Ключовими завданнями експедиційних обстежень є: встановлення причин вилягання зернових, загибелі озимих та багаторічних трав; аналіз умов, що сприяють формуванню високих або низьких показників урожайності в окремих агрогосподарствах, районах чи регіонах; виявлення факторів, що впливають на покращення або погіршення якості сільськогосподарської продукції; а також контроль вмісту у ній агрохімікатів, радіонуклідів та нітратів на предмет відповідності встановленим стандартам. Крім того, експедиційні дослідження сприяють виявленню поширення інвазивних та карантинних бур'янів, патогенів і шкідників сільськогосподарських культур. Вони також дозволяють визначити оптимальну структуру посівних площ, найефективніші попередники, раціональні системи сівозмін, а також перспективні сорти для конкретних агроформувань, їх груп, адміністративних районів або специфічних ґрунтово-кліматичних зон. Важливим аспектом є також аналіз ефективності різних способів, термінів та глибини обробітку ґрунту. У контексті протидії ґрунтовій ерозії, експедиційний метод застосовується для первинної ідентифікації причин її поширення та детермінуючих факторів виникнення у конкретних господарствах чи регіонах.

Даний метод також активно використовується для ґрунтових досліджень, що включають закладку ґрунтових шурфів (розрізів), їх детальний морфологічний опис та відбір зразків ґрунту для подальшого фізико-хімічного аналізу.

З метою оцінки результативності певних агротехнічних прийомів, під час експедиційних досліджень здійснюється вимірювання врожайності сільськогосподарських культур в комплексі з оцінкою їх якісних характеристик. Дані про врожайність за попередні періоди залучаються з річної звітності

агропідприємств. Надалі зібрана інформація інтерпретується з урахуванням метеорологічних умов відповідних років (температури та вологості повітря, атмосферних опадів, температури ґрунту та інших абіотичних чинників). Для поглибленого аналізу таких залежностей активно застосовуються методи математичної статистики. Інформація щодо родючості ґрунту та концентрації в ньому поживних елементів може бути отримана з наявної документації господарств (наприклад, карт полів або агрохімічних паспортів), або ж шляхом безпосереднього відбору ґрунтових зразків під час експедицій та їх подальшого аналізу у спеціалізованих хімічних лабораторіях.

Оптимальний склад експедиційної групи зазвичай включає кваліфікованих фахівців з агрономії (рослинництва), захисту рослин, агрохімії та ґрунтознавства, а також інших суміжних галузей.

Отриманий польовий матеріал підлягає ретельному аналізу, статистичній обробці та систематизації. Підсумки проведених досліджень презентуються у науковій літературі, а також у доступній формі для широкого загалу – через регіональні засоби масової інформації.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Окресліть дефініцію концепції наукового дослідження.
2. Сформулюйте дефініцію експерименту як методологічного підходу в агрономічних наукових студіях.
3. Класифікуйте види експериментів та надайте їхню розгорнуту типологічну характеристику.
4. Визначте спостереження як один з фундаментальних методів, що застосовуються в агрономічних дослідженнях.
5. Охарактеризуйте цільове призначення імплементації методу спостереження в контексті наукової агрономії.
6. Сформулюйте фундаментальні вимоги до проведення спостережень.
7. Окресліть сутність та функціональне призначення гіпотези в контексті агрономічних наукових розвідок.

8. Якими принципами має керуватися дослідник під час формулювання робочої гіпотези?
9. Проаналізуйте функціональне значення та методологічну роль спостереження, експерименту та гіпотези в архітектурі науково-дослідного процесу.
10. Визначте ключові етапи, що передують і супроводжують процес вибору та формулювання науковцем теми дослідження.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Напишіть оглядовий реферат і побудуйте початкову робочу гіпотезу дослідження з вивчення впливу:
- а) комплексних добрив на врожайність сільськогосподарських культур;
 - б) нових рідких регулюючих комплексів на якість сільськогосподарської продукції;
 - в) способів внесення добрив при вирощуванні зернових культур;
 - г) сортів соняшника в умовах Півдня України.
2. Підберіть тему дослідження з питань агрономії за власним бажанням. Напишіть оглядовий реферат з теми і побудуйте початкову робочу гіпотезу.

ТЕМА 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ДОСЛІДІВ ТА ВИМОГИ ДО НИХ

2.1 Класифікація дослідів за видами

Агрономічні дослідження традиційно поділяють на дві ключові категорії: агротехнічні та дослідження з випробування сортів. Додатково їх диференціюють за умовами проведення на ті, що здійснюються в природному середовищі (польові дослідження), та ті, які закладаються в контрольованих умовах (теплиці, фітотрони, вегетаційні споруди). Лізиметричні дослідження посідають проміжний статус.

Польові дослідження класифікуються за низкою критеріїв:

- 1) за місцем проведення;
- 2) за тривалістю;
- 3) за кількістю досліджуваних факторів;
- 4) за географічним охопленням об'єктів.

Дослідження за місцем проведення. Залежно від локалізації, виділяють експерименти, що здійснюються в науково-дослідних установах чи освітніх закладах, та дослідження, що проводяться безпосередньо у виробничих умовах (виробничі).

Дослідження, що виконуються в наукових або освітніх установах, далі поділяються на дрібноділянкові, лабораторно-польові та польові.

Дрібноділянкові дослідження. Ці експерименти застосовуються для первинної оцінки нових агротехнічних прийомів, хімічних засобів захисту рослин (гербицидів, інсектицидів, фунгіцидів), а також норм внесення добрив чи пестицидів. Габарити цих ділянок можуть варіюватися (наприклад, 1x2, 1x4, 2x2, 2x4, 2x5 м). Внаслідок їхньої відносно невеликої площі, захисні смуги, як правило, не передбачаються; натомість створюються лише технологічні проходи для огляду варіантів та здійснення обліків і реєстрації показників. Кількість досліджуваних варіантів у таких експериментах може бути як обмеженою, так і значною. Повторність у дрібноділянкових експериментах, як правило, становить

від трьох до восьми. Загалом, спостерігається обернена залежність: зменшення площі експериментальної ділянки зазвичай корелює зі збільшенням кількості повторень у дослідженні.

Дрібноділянкові дослідження виконуються на ділянках площею до 10 м², лабораторно-польові – від 11 до 50 м², а польові – від 50 до 200 м² і більше.

Лабораторно-польові досліді становлять початковий або проміжний етап польових досліджень. Їх ключовою метою є встановлення кореляції між рослинним організмом та навколишнім середовищем. Характерною рисою цього типу досліджень є комплексний підхід, що поєднує обширні польові обліки та спостереження з глибоким лабораторним аналізом зразків рослин і ґрунту. Такий аналіз дозволяє поглиблено з'ясувати взаємозалежності між експериментальними культурами та умовами їх культивування.

Переважає більшість лабораторно-польових досліджень є багатofакторними, часто включаючи від 20 до 30 і більше варіантів. Зважаючи на те, що площі дослідних ділянок зазвичай не перевищують 50 м², часто застосовується п'яти- або шестикратна повторність.

Польові досліді. Ключовим завданням польових дослідів є оцінка впливу різноманітних біотичних та агротехнічних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур та їх якісні показники. При цьому акцентується увага не тільки на ідентифікації оптимальних варіантів, а й на встановленні причинно-наслідкових зв'язків, що призводять до зміни (збільшення чи зменшення) врожайності та її якості відповідно до умов культивування.

Польові експерименти проводяться в умовах, наближених до реального виробництва, з максимальною можливою механізацією агротехнічних операцій. Для культур, що вимагають невеликої площі живлення, розмір ділянок становить 50–100 м², тоді як для просапних культур він може сягати 200 м². Варто зазначити, що в специфічних умовах, залежно від цілей експерименту, розміри дослідних ділянок у польових умовах можуть варіюватися як у бік збільшення, так і зменшення. Повторність у таких польових дослідіах зазвичай є чотири- або

п'ятикратною, але може бути збільшена за значної неоднорідності ґрунтової родючості.

Одним з першочергових завдань польових експериментів є ідентифікація оптимальних агротехнічних рішень для подальшого впровадження у сільськогосподарське виробництво.

Експерименти, що проводяться безпосередньо у виробничих умовах, класифікуються як *пробні дослідження, прецизійні порівняльні експерименти, дослідження ефективності нових агротехнічних заходів, а також демонстраційні та власне виробничі випробування.*

Попередні виробничі дослідження (або "досліди-проби") проводяться безпосередньо в умовах промислового вирощування сільськогосподарських культур. Їхньою головною метою є ідентифікація агротехнічних прийомів, здатних оптимізувати технології вирощування конкретних культур, стимулювати їх ріст, підвищувати продуктивність та якісні показники врожаю. Для цього на виробничих посівах відводяться ділянки у вигляді смуг, ширина яких відповідає одному проходу збиральної машини, а довжина перевищує ширину у 5-10 разів.

Найбільш перспективні варіанти, виявлені в ході попередніх виробничих досліджень, підлягають подальшому поглибленому вивченню у точних порівняльних експериментах. Ці експерименти виконуються згідно зі стандартизованою методологією польових випробувань. Характерною особливістю є значно більші розміри експериментальних ділянок, що дозволяє забезпечити повну механізацію всіх агротехнологічних операцій.

Метою таких досліджень є розробка диференційованих агротехнічних систем та апробація нових технологічних рішень, рекомендованих науково-дослідними установами або освітніми закладами. При цьому основна увага зосереджується на кількісному обліку врожаю та визначенні його якісних характеристик, тоді як інші облікові операції та спостереження мінімізуються.

У межах точних порівняльних експериментів, як правило, досліджується до чотирьох оптимальних варіантів з обов'язковою три- або чотириразовою

повторністю. Наприклад, при площі дослідної ділянки близько 2000 м² та використанні чотирьох варіантів з чотириразовою повторністю, загальна кількість ділянок складатиме 16, а сукупна площа експерименту — 3,2 га. Площа окремих ділянок може варіюватися до мінімального значення в близько 500 м², що при відповідній кількості варіантів та повторностей дозволить охопити 1 га.

Для точних порівняльних експериментів встановлено, що ширина ділянок під культурами суцільного посіву становить 8–16 м, а під просапними культурами – 5–10 м. Сукупна площа однієї дослідної ділянки коливається в межах від 500 до 2000 м². Важливою вимогою є кратність ширини ділянки до ширини захоплення ґрунтообробних, посівних або збиральних агрегатів, що забезпечує повну механізацію найбільш ресурсомістких агротехнологічних процесів.

Експерименти, спрямовані на оцінку економічної ефективності нових агротехнічних заходів або технологій, проводяться з метою їх виробничої верифікації після отримання рекомендацій від наукових установ. Для цього на виробничому полі, де відбувається впровадження інноваційних агротехнічних прийомів чи технологій, у декількох точках виділяються 3-4 контрольні смуги, ширина яких кратна ширині робочого захвату збирального агрегату. Ці смуги слугують повтореннями і призначені для характеристики природної родючості ґрунту на певній ділянці. На контрольних смугах інноваційні агрозаходи або технології не застосовуються.

Поруч із кожною контрольною смугою формуються експериментальні ділянки. На цих ділянках, аналогічно до всього поля, реалізуються агротехнічні заходи або технології, економічна ефективність яких підлягає дослідженню. Розміри контрольних та експериментальних смуг повинні бути ідентичними.

Збирання врожаю в рамках цих досліджень починається з контрольних смуг, потім відбувається на експериментальних ділянках, і лише після цього — на решті поля. Економічна ефективність впровадження нових агротехнічних рішень або технологій визначається шляхом зіставлення додаткових трудових і матеріальних витрат із вартістю отриманого приросту врожаю.

Для оцінки ефективності новітніх агротехнічних заходів у виробничих умовах виділяються контрольні смуги, ширина яких повинна відповідати ширині робочого органу збирального агрегату, а довжина — протяжності гонів. Загальна площа таких контрольних ділянок зазвичай становить до 3 гектарів.

Демонстраційні дослід проводять з метою популяризації наукових досягнень та передових аграрних практик; їх також називають показовими випробуваннями і організовують у провідних агропідприємствах.

У межах демонстраційних експериментів досліджують агротехнічні прийоми та сорти, які виявилися найбільш оптимальними та ефективними у польових випробуваннях. Оскільки ці дослідження призначені для наочної презентації фахівцям певного регіону, на ділянках облаштовують шляхи доступу та пішохідні маршрути для пересування груп відвідувачів під час екскурсій. Кожна дослідна ділянка маркується етикетками, де зазначається номер повторності та зміст варіанта. Поряд встановлюють інформаційний стенд, на якому представлено схему експерименту та його планування. На базі господарств, де реалізуються демонстраційні дослідження, організовують навчальні семінари за участю спеціалістів та очільників інших агроформувань.

Методика проведення демонстраційних досліджень є аналогічною методиці польових випробувань, що здійснюються у науково-дослідних установах.

Виробничі дослідження — це комплексні науково обґрунтовані дослідження, метою яких є вивчення не окремих агротехнічних компонентів, а цілісних технологічних систем та організаційно-економічних заходів. Такі експерименти, як вже було зазначено, проводять на території виробничих підрозділів, окремих агропідприємств і навіть груп господарств.

Виробничі дослідження, як правило, започатковують у провідних господарствах із визначеним профілем діяльності, де впроваджуються новітні технології вирощування культур. У цих же дослідженнях аналізують економічну ефективність запроваджуваних технологічних рішень та систем землеробства. Виробничі експерименти реалізуються на всій площі сівозміни рослинницьких

бригад, окремих господарств, їх груп або навіть цілого адміністративного району.

Класифікація польових досліджень за тривалістю їх проведення.

Виділяють пошукові, короткострокові, багаторічні та тривалі дослідження.

Пошукові (тимчасові) дослідження проводять упродовж одного-двох років з метою ідентифікації тих агрозаходів чи сортів рослин, що потребують подальшого вивчення.

Тривалість *короткострокових* досліджень становить від трьох до десяти років. Короткостроковими також вважаються експерименти, які здійснюються студентами в межах дипломних проектів або аспірантами під час дисертаційних досліджень.

Довготривалі дослідження проводять від одинадцяти до п'ятдесяти років у наукових установах або закладах вищої освіти на спеціально виділених дослідних ділянках (стаціонарах).

Довготривалі експериментальні дослідження, які проводяться протягом понад п'яти десятиліть у спеціалізованих наукових установах та різноманітних ґрунтово-кліматичних зонах, становлять основу для розуміння агрономічних процесів.

Класифікація польових досліджень за числом досліджуваних чинників.

Чинник (фактор) визначається як агротехнічний прийом або генетичний матеріал (сорт), тобто змінна, за допомогою якої дослідник впливає на рослинні об'єкти. Залежно від цього критерію, експерименти поділяються на однофакторні, де аналізується вплив однієї змінної, та багатофакторні, що передбачають вивчення одночасного впливу кількох чинників.

Класифікація досліджень за географічним охопленням наукових установ, що їх реалізують. За цим критерієм виокремлюють географічні (або широкомасштабні) та локальні експерименти. Географічні дослідження виконуються в різних ґрунтово-кліматичних зонах із застосуванням єдиної, стандартизованої методології, розробленої центральним координаційним науковим органом. Ці центри відповідають за координацію дослідницьких робіт,

збір звітної документації, систематизацію отриманих даних та формулювання практичних рекомендацій. Локальні дослідження також можуть проводитися в різних місцях, однак вони не використовують єдиної схеми, а базуються на методиках, розроблених індивідуальними дослідниками або групами, за відсутності централізованої координації. Більшу наукову цінність мають географічні дослідження, оскільки вони надають можливість для широких узагальнень результатів на регіональному, обласному, зональному та загальнонаціональному рівнях.

2.2 Ключові вимоги до польового експерименту

До основних вимог, що висувуються до експериментальних досліджень, належать:

- 1) дотримання принципу єдиної логічної відмінності;
- 2) дотримання критерію доцільності;
- 3) типовість дослідження (репрезентативність);
- 4) адекватність умов проведення для цілей експерименту;
- 5) забезпечення реплікабельності результатів за аналогічних умов;
- 6) можливість запровадження додаткових контрольних груп та варіантів за потреби;
- 7) зосередження досліджень на перспективних культурах та сортах;
- 8) наявність повного документування кожного експерименту;
- 9) фіксація як первинних показників (врожайності та якості продукції), так і супутніх параметрів;
- 10) оцінка точності та валідності дослідження;
- 11) аналіз взаємозв'язку та взаємозумовленості спостережуваних величин.

Принцип єдиної логічної відмінності. Цей принцип (також відомий як принцип ізольованої змінної) передбачає, що дослідник має право варіювати лише один досліджуваний чинник за умови стабільності всіх інших експериментальних умов. Зокрема, якщо досліджується продуктивність

насаджень соняшнику при різній щільності висіву (наприклад, 40, 50, 60 та 70 тисяч рослин на гектар), то згідно з цим принципом змінюється виключно щільність посіву, тоді як решта агротехнічних параметрів залишаються незмінними. Виключно за дотримання цих умов стає можливим об'єктивно визначити оптимальну щільність посіву певного сорту в конкретній ґрунтово-кліматичній зоні для досягнення максимальної ефективності.

Принцип доцільності. Відповідно до принципу доцільності, заходи з контролю над патогенними організмами слід здійснювати виключно в тих дослідних варіантах або на тих сортових посівах, де спостерігається їхнє значне поширення. Необґрунтоване застосування хімічних засобів захисту, зокрема фунгіцидів, за відсутності ознак захворювань є неефективним та недоречним.

Аналогічно, в експериментах, що досліджують диференційовані режими зрошення, необхідно враховувати варіативність строків дозрівання культур. Збільшення інтенсивності поливу зазвичай пролонгує вегетаційний період, що відповідно відтерміновує збирання врожаю. Відтак, замість дотримання уніфікованого терміну збирання, слід орієнтуватися на досягнення господарської стиглості кожного варіанта, що є більш обґрунтованим підходом. Цей принцип також поширюється на визначення оптимальних термінів основного обробітку ґрунту для різних культур після певних попередників.

Репрезентативність досліду. Вимога щодо репрезентативності досліду полягає у проведенні експериментальних робіт в умовах, максимально наближених до природно-кліматичної зони, характеристик ґрунтового покриву, сортових та видових особливостей культури, поточного рівня механізації агротехнічних процесів, гідрологічного режиму (глибини залягання ґрунтових вод) та організаційно-економічного контексту.

Це включає вибір відповідних культур із характерним для регіону співвідношенням у структурі посівних площ, а також використання типових сівозмін. Обов'язковим є застосування районованих та перспективних сортів. Необхідно також враховувати типовість метеорологічних умов досліджуваного періоду.

Системи обробітку ґрунту, внесення добрив, норми висіву, терміни сівби та глибина загортання насіння повинні відповідати регіональним особливостям, враховуючи специфіку ґрунту, підґрунтя та рельєфу (схилів).

Водночас, рівень агротехніки в досліді не завжди має відображати середньогосподарську практику, оскільки остання часто відступає від науково обґрунтованих рекомендацій. Технології вирощування, що застосовуються в експерименті, повинні бути прогресивними, спрямованими на стале підвищення родючості ґрунту. Як правило, досліді закладаються на типових, окультурених ґрунтах, що є домінуючими в регіоні. Аналогічно, типовими мають бути характеристики підґрунтя (материнської породи), рівень ґрунтових вод та крутизна схилу ділянки.

Придатність умов для експерименту. Ключовим аспектом є також придатність ділянки для проведення експерименту. Розглянемо випадок, коли заплановано дослідження ефективності різних доз мінеральних добрив (в діапазоні 30 – 150 кг/га діючої речовини). Якщо експериментальна ділянка, незважаючи на типові фізико-географічні характеристики (рельєф, ґрунт, підґрунтя, рівень ґрунтових вод), за рік до початку досліді була оброблена високими дозами добрив (наприклад, 180 кг/га діючої речовини), вона стає непридатною для вивчення ефекту менших доз. Це пояснюється тим, що високий попередній агрохімічний фон може нівелювати або значно спотворити реакцію рослин на нижчі дослідні норми, унеможливаючи об'єктивну оцінку впливу останніх.

Дослідження дієвості фунгіцидів та їх концентрацій є недоцільним на агрокультурах або генотипах, що володіють комплексною імунологічною резистентністю до певних патогенів. Відтак, для забезпечення належного методологічного рівня експериментальних робіт, необхідно неухильно дотримуватися принципів адекватності всіх умов дослідіження.

Відтворюваність експериментальних даних. Відповідно до цієї вимоги, дослідник, реплікуючи експеримент за аналогічною методологією та в ідентичних параметрах середовища, повинен отримати результати, порівнянні з

попередньо отриманими. Ця здатність до відтворення даних є критично значущою передусім для верифікації надійності раніше здобутих відомостей та імплементації оптимальних експериментальних рішень у практичну діяльність. Для забезпечення відтворюваності експериментів у порівнянних умовах, дослідник зобов'язаний ретельно документувати усі релевантні аспекти їх реалізації.

Експеримент має бути відтворюваним як у просторовому, так і в часовому вимірі. Однак, в умовах мінливих метеорологічних параметрів, зокрема, при значних варіаціях інтенсивності опадів, температурного режиму та вологості атмосфери, можлива зміна відносного ранжування експериментальних варіантів щодо показників продуктивності та якості врожаю. При цьому ці флуктуації можуть і повинні бути інтерпретовані дією агрометеорологічних чинників.

Інтеграція допоміжних експериментальних варіантів та контрольних об'єктів. При вивченні впливу удобрення просапних культур в контексті міжрядного обробітку ґрунту, до основної експериментальної схеми (з внесенням добрив та без нього) доцільно інтегрувати варіант з лише міжрядним обробітком ґрунту, без внесення поживних речовин. Відсутність такого контрольного варіанта ускладнює ідентифікацію справжнього фактору впливу — чи є ним удобрення, чи механічний обробіток ґрунту. Аналогічно, при дослідженні ефективності позакореневого підживлення розчинами, поряд з експериментальними групами (контроль без підживлення та з підживленням) доцільно передбачити варіант з обробкою чистою водою, для визначення специфічної дії самого добрива.

Запровадження адекватних контрольних варіантів є обов'язковою передумовою у наукових дослідженнях, що стосуються оцінки ефективності фунгіцидів, інсектицидів та інших агрохімічних засобів захисту рослин. Зокрема, при вивченні впливу передпосівного протруювання насіння, до експериментальної схеми рекомендовано включати такі варіації: 1) інтактний контроль (насіння без обробки); 2) насіння, оброблене досліджуваним препаратом (наприклад, фунгіцидом чи гранозаном згідно з рекомендованим

співвідношенням розчину, як-от 10 л води на 1 тону зерна); 3) насіння, замочене у воді в аналогічному співвідношенні (10 л води на 1 тону зерна). Введення третього варіанту дозволяє диференціювати ефект активної речовини від дії розчинника або носія.

Дослідження нових сортів. Усі експериментальні роботи, як правило, слід проводити з сортами, які вже пройшли районування та адаптовані до конкретної ґрунтово-кліматичної зони, а також до специфічних агротехнічних умов господарства (наприклад, сівозміни, рівня родючості ґрунту). Для ідентифікації справді перспективних сортів, дослідникам рекомендовано взаємодіяти з державними сортовипробувальними станціями, що обслуговують відповідні агроекологічні регіони, та профільними інспекційними органами. Категорично не допускається проведення досліджень з сортами, які на момент початку експерименту були виключені з офіційного реєстру районованих.

Документування експериментальних даних. Весь комплекс наукової документації має здійснюватися відповідно до встановлених норм, що передбачають своєчасність внесення записів, повноту відомостей про хід дослідження, уніфікованість форм обліку протягом вегетаційного періоду та між роками, а також достовірність одержуваних даних. Документацію доцільно поділяти на первинну та допоміжну. До первинної документації відносяться польовий журнал/щоденник дослідника, головна книга експерименту та звіт про виконану науково-дослідну роботу. До допоміжної документації належать лабораторні журнали, робочі зошити, стандартизовані форми для аналізів, дані з автоматичних приладів реєстрації тощо.

Облік ключових показників. Реєстрація основних параметрів, таких як урожайність та якість продукції, дозволяє ідентифікувати найефективніші та найменш ефективні варіанти експерименту, тобто кількісно оцінити позитивні або негативні зміни порівняно з контрольним зразком. Однак, для з'ясування причин таких змін необхідне проведення додаткових, супутніх досліджень. Отже, паралельно з основними показниками, в експериментах слід здійснювати супутні обліки та спостереження. Без ретельного збору супутніх даних,

результати досліджень не можуть вважатися повноцінними, оскільки відсутня можливість встановлення причинно-наслідкових зв'язків між застосованими агротехнічними заходами або властивостями сортів та отриманими ефектами.

Обґрунтування валідності експериментальних даних та їхньої прецизійності. Ключовим аспектом будь-якого експериментального дослідження є обґрунтування валідності відмінностей між середніми значеннями та забезпечення високої точності отриманих результатів. Підтвердження статистичної значущості експерименту досягається шляхом зіставлення емпіричного значення критерію Фішера з його критичним (табличним) значенням. Слід підкреслити, що точність експерименту слугує одним із визначальних критеріїв якості наукової розробки. Відповідно, обчислення показників відносних похибок в експериментальних даних забезпечує адекватну оцінку їхньої прецизійності.

Виявлення взаємозалежності між параметрами дослідження та багатофакторний підхід. Нагальною потребою постає встановлення взаємозв'язків між окремими параметрами дослідження. Досліджувані об'єкти, такі як ґрунт, рослинні організми та їхні структури, функціонують у системі взаємозалежності, обумовлених сукупністю факторів довкілля. Спектр цих кореляцій є надзвичайно широким. Особливу складність репрезентують взаємозв'язки біологічних систем, зокрема детермінованість розвитку рослин умовами навколишнього середовища.

Досвід наукової діяльності свідчить, що ідентифікація подібних взаємозв'язків практично неможлива без використання інструментарію математичної статистики, зокрема кореляційного аналізу, що включає обчислення коефіцієнтів кореляції для лінійної залежності та кореляційного відношення для нелінійних зв'язків.

Необхідно підкреслити, що дослідження, обмежені лише двома змінними, наприклад, залежність врожайності винятково від доз азоту, не можуть забезпечити вичерпну інформацію для науковця. Натомість, актуальним є комплексне вивчення множинних кореляційних взаємозв'язків між

продуктивністю, якістю продукції та багатофакторним комплексом умов довкілля. Для поглибленого осмислення цих процесів та потенційного управління ними, дослідник повинен володіти глибокими знаннями не лише безпосередньо про об'єкт вивчення, але й про суміжні наукові дисципліни. Зокрема, при аналізі ефективності агрохімікатів, від науковця вимагається досконале володіння знаннями з рослинництва, землеробства, ґрунтознавства, агрохімії, фізіології рослин, мікробіології, захисту рослин та інших релевантних галузей.

2.3 Нові вимоги до агрономічних досліджень, відповідно до цілей сталого розвитку

Трансформація сільського господарства для реалізації сталого розвитку, орієнтованого на конкретну ділянку, вимагає комплексної наукової підтримки, заснованої на польових експериментах, для охоплення складного агроекологічного процесу, стимулювання нової політики та її інтеграції в рішення фермерів [42]. Однак, сучасні експериментальні підходи обмежені в охопленні широкого спектру характеристик сталої агроecosистеми та ландшафту, а також у наданні зацікавленим сторонам відповідних рішень та заходів. Основні обмеження в сучасних польових експериментах - це відсутність врахування численних процесів та масштабів, а також обмежена здатність враховувати взаємодію між ними. Існує нагальна потреба в створенні нової категорії експериментів - ландшафтних, що розширює можливості сільськогосподарських досліджень сталого сільськогосподарського середовища, спрямованих на з'ясування взаємодії між різними ландшафтними структурами та функціями, що охоплюють як природні, так і антропогенні особливості. Одночасне врахування численних факторів, а отже, процесів у різних масштабах та можливих синергій або антагонізмів між ними, покращить наше розуміння агроекологічних процесів у межах сільськогосподарських ландшафтів.

Стале сільське господарство прагне задовольнити зростаючий попит на продукти харчування, корми та волокно майбутніх поколінь, мінімізуючи як вплив на навколишнє середовище, так і економічні ризики для фермерів. Для досягнення цієї мети стійкі сільськогосподарські системи повинні бути ресурсоефективними, стійкими та продуктивними, що вимірюється в рамках їхніх соціальних, екологічних та економічних вимірів [43]. На практиці перехід до сталого розвитку вимагає прийняття управлінських структур, які дозволять збалансувати цілі кожного виміру та врахувати (неочікувані) взаємодії між ними. Досі існуюча сільськогосподарська політика не змогла вирішити проблеми, спричинені інтенсифікацією сільського господарства, та адаптувати управлінські рішення на рівні фермерських господарств, які підтримують сталий розвиток [44].

Досягнення цілей сталого розвитку сільського господарства є значним викликом для вчених - надання достатніх наукових доказів має вирішальне значення для просування стабільного сільського господарства. Це вимагатиме від науковців розробки або впровадження нових методів дослідження для тіснішої взаємодії з фермерами та політиками, які повинні бути орієнтовані на знання та зміни або бути посередниками [45]. Зокрема, щоб уникнути прогалин в інноваційних процесах, сільськогосподарські експерименти повинні враховувати залежність від місцевої природи та екологічних умов, що створює багато перешкод у реальному впровадженні. Наприклад, часто існує невідповідність між просторовим масштабом екологічних процесів та масштабом управління сільським господарством в експериментальному плануванні та зборі даних [46]. Екологічні процеси, такі як транспортування води та поживних речовин або ландшафтні структури, що стосуються біорізноманіття, охоплюють широкий діапазон просторових масштабів, тоді як управління сільським господарством діє на рівні поля та ферми [47]. З іншого боку, політика розробляється та впроваджується на рівні адміністративних регіонів. Таким чином, нові управлінські підходи для сприяння перепроєктуванню систем сільськогосподарського виробництва необхідно випробувати на різних

просторових та організаційних рівнях [48], щоб усунути розрив між полем/фермою та регіоном. Більше того, для перепроєктування систем вирощування сільськогосподарських культур у напрямку більш сталого управління необхідно поєднати різноманітні джерела знань та методи [49].

Відповідно існуючих сучасних концепцій, спрямованих на досягнення цілей сталого сільського господарства (наприклад, органічне сільське господарство [50] або стійка та екологічна інтенсифікація [51]), сільськогосподарська практика та дослідження мають бути спрямовані на потреби людей та планети [52]. Вирішення соціальних змін вищого рівня вимагає глибокого розуміння засобів того, як здійснити ці зміни на нижчих рівнях [53]. Першим ключовим кроком для цього є краще розуміння основних взаємозв'язків між біотичними та абіотичними елементами агроєкосистем на систематичній основі, а також тестування та розробка сільськогосподарських практик, які задовольняють потреби в продуктах харчування та є екологічно та економічно сталими [54].

Однак існуючі дослідження сільськогосподарських систем, що переважно спираються на експерименти у створенні нових знань, ще не повністю враховують складність реально працюючих агроєкосистем. У той час як класичні дрібномасштабні лабораторно-польові випробування в основному використовуються для вирішення агрономічних питань, масштабніші експерименти зосереджені радше на екологічних проблемах. Нещодавні наукові дослідження свідчать про те, що агроєкосистеми потребують більш систематичного осмислення природних та антропогенних факторів і процесів на різних масштабах їхньої взаємодії, що часто пов'язано з ландшафтним масштабом [47]. Однак розуміння ландшафту різниться між різними агрономічними дисциплінами, і навіть залежно від конкретної теми дослідження.

Щоб компенсувати брак наукових знань про стійкі агроєкологічні практики, необхідні додаткові емпіричні дані з експериментів [55], які повинні відповідати певним вимогам. Ці дані повинні відображати різноманітність процесів (потoki енергії, кругообіг поживних речовин, механізми регулювання популяцій,

стійкість системи), надаючи докази компромісів та синергії між відповідними компонентами агроєкосистеми. Щоб зафіксувати синергію та компроміси, необхідно систематично інтегрувати знання з різних дисциплін, одночасно враховуючи суперечливі методологічні стандарти. Нові методи та технології повинні враховувати потенційні довгострокові наслідки (такі як зміна клімату), бути випробуваними в реальних умовах та адаптованими або пристосованими до місцевих умов [44]. Однак, сучасні експериментальні підходи не відповідають цим вимогам належним чином і значною мірою не відповідають просторовим та часовим областям відповідних процесів у сільськогосподарських ландшафтах.

Сільськогосподарські польові експерименти мають обмежену застосовність для відповіді на питання, пов'язані з нашим переходом до стійких ландшафтів. Класичні польові експерименти на малих ділянках та традиційні статистичні підходи, наприклад, не можуть охопити просторову та часову мінливість масштабних процесів, що відбуваються в сільськогосподарських та ландшафтних системах. Крім того, ефекти обробки в таких експериментах можуть бути чутливими до масштабу або меж, що робить результати ненадійними або навіть ризикованими для кінцевих користувачів [56].

Найчастіше сільськогосподарські польові експерименти зосереджені лише на окремих полях та пов'язаних з ними землях і розглядають різні поля або ділянки як такі, що функціонують ізольовано, та ігнорують їхній зв'язок через ефекти побічного впливу (наприклад, хімічний дрейф, здобич, запилювачі, дика природа, банк насіння) [57]. Ділянкові експерименти можуть вводити в оману щодо оцінки кількох екосистемних послуг через високий ступінь мінливості природних умов у межах ландшафтів та між ними [58]. Часто різні аспекти досліджуються окремо, такі як екологічні цілі (наприклад, біорізноманіття) та цільові показники сільськогосподарського виробництва (наприклад, врожайність) землекористування. Як альтернатива, аналіз взаємозв'язків між ними обмежується двома або трьома факторами, одночасно включеними до дослідження [59]. Крім того, хоча необхідність вирішення проблеми нелінійності взаємодії між такими процесами отримала визнання, лінійні методи все ще

використовуються в багатьох випадках для аналізу результатів, що може призвести до помилкових припущень [60]. Це є основною перешкодою для розвитку багатофункціональних ландшафтів, які сприяють розвитку як продуктивних, так і стійких сільськогосподарських систем. Існуючі дослідження в основному зосереджені на окремих ділянках, обраних на основі передбачуваного відповідного просторового масштабу певних процесів, та ігнорують довгострокові наслідки щодо різноманітності процесів, що відрізняються часовими масштабами [61]. Таким чином, області причинно-наслідкових зв'язків часто не розподіляються точно, емпіричні дані просторово розпорошені, а систематична оцінка відсутня. Агрономічні польові дослідження, що враховують менші просторові та часові масштаби, можуть призвести до помилкових висновків, залежно від обраних метрик [62]. Тим часом, для складної теми агроекології вибір правильного просторового та часового масштабу для вивчення є критично важливим, оскільки задіяні процеси на різних просторових, часових та складних масштабах [47].

Сільськогосподарський контекст додає додаткової складності управлінню та соціальній перспективі, від рівня методів культивування (з базовим урахуванням фізичних та біологічних факторів) до рівня агропродовольчої системи (з включенням різних учасників) [53].

Що стосується просторових масштабів у сільськогосподарських дослідженнях, невеликі ділянки зазвичай служать для тестування окремих агрономічних практик, а ферма часто використовується як дослідницький об'єкт для розгляду управлінських рішень з різних точок зору [63], наприклад, для оцінки динаміки та балансу азоту [64,65]. Однак такі підходи не враховують просторово-часові зміни та подальші екологічні наслідки у більшому масштабі [66]. Щодо часових масштабів, процеси в агроecosystemі охоплюють як швидкі дрібномасштабні (переважне перенесення розчинених речовин у ґрунті, мікробні процеси) так і мезомасштабні біофізичні процеси (пожежа, шторм, спалах комах) та ті, що тривають роками чи століттями (секвестрація вуглецю в ґрунті, ґрунтоутворення) в межах ландшафтів та регіонів, і можуть бути циклічними або

безперервними [67]. Оскільки деякі зміни можуть принести короткострокові недоліки, але довгострокові переваги, необхідне регулярне та безперервне відстеження.

Оскільки не існує єдиного природного масштабу для вивчення природних систем, часто використовується масштабування вимірювань. Екстраполяція точкових вимірювань застосовується, коли збір даних є надмірно трудомістким та дорогим, а також обмеженим у просторовому та/або часовому масштабі. Однак проста лінійна екстраполяція точкових вимірювань схильна до помилок [68] та стає ненадійною за гетерогенних умов, особливо у випадку нелінійної динаміки та значних змін обмежень. Іноді зміни в певному масштабі можуть призвести до раптової реорганізації системи навколо альтернативних взаємопідсилювальних процесів [69].

Наші знання про динаміку та процеси навколишнього середовища базуються на десятиліттях масштабних досліджень. У природних системах численні процеси взаємодіють на різних масштабах складним чином. Отже, навіть після десятиліть досліджень наших знань все ще недостатньо для розробки схем сталого управління. Наприклад, щодо викидів закису азоту з ґрунтів [70]. Ця нестача знань може призвести до суперечливих наслідків стратегій управління, «зосереджених лише на симптомах». Ці взаємодії стають особливо складними у випадку сільськогосподарських систем, де складність природної екосистеми збільшується культурним компонентом, таким як сільськогосподарське управління [71].

Дотепер проводилися інтенсивні польові експерименти, які дають уявлення про вплив різних окремих факторів (наприклад, удобрення [72], взаємозв'язок зрошення, обробітку ґрунту та сівозміни [73], топографія [74], землекористування у водозборі [75]). Однак існує фундаментальна нестача емпіричних даних про взаємодію в складних реальних процесах та багатовимірні зв'язки в межах однієї ділянки. Цей недолік неможливо подолати лише складними моделями [76]. У сучасну епоху «великих даних» для заповнення цієї прогалини доступні як комплексні набори даних, так і потужні підходи штучного

інтелекту [77]. Фактично, ці підходи зараз все частіше використовуються вченими і були дуже успішними у з'ясуванні складних умов.

Нове покоління адаптованих багатофакторних експериментів, тобто ландшафтних експериментів може вирішити вищезначені проблеми.

Виходячи з вищезазначених питань, важливою вимогою ландшафтних експериментів в агроекосистемах є врахування багатогранних аспектів ландшафтів та інтересів різних зацікавлених сторін, які повинні бути залучені до визначення метрик та планування експериментів [78]. Такі експерименти можуть служити як для забезпечення in-situ валідації результатів моделювання або контрольованих експериментів, так і для демонстрації або для отримання самостійних знань та формулювання питань. Вони повинні мати можливість визначити локально релевантні показники та краще відображати компроміси в різних вимірах [79]. Щоб забезпечити системну оцінку стану агроекосистеми, планування експериментів повинно враховувати різноманітність її взаємопов'язаних функцій, а не конкретну територію, а також різноманітність часових та просторових масштабів відповідних процесів.

Ландшафтні експерименти як спеціалізований дослідницький підхід, який спеціально розроблений для дослідження та збору емпіричних даних щодо численних процесів та механізмів, що відбуваються в сільськогосподарському ландшафті. Ці експерименти використовують фрактальний дизайн, що включає кілька взаємодіючих просторових та функціональних одиниць, для систематичного вивчення природних та антропогенних факторів на різних рівнях складності. Основна увага ландшафтних експериментів зосереджена на розумінні взаємодії цих факторів у більших просторових масштабах та протягом тривалих періодів часу, зокрема, стосовно агроекосистем. Ландшафтні експерименти кидають виклик традиційним методам експериментального проектування та аналізу даних, оскільки вони спрямовані на спостереження складних взаємодій, що відбуваються одночасно в різних часових та просторових масштабах.

На відміну від цього, типові контрольовані та рандомізовані польові експерименти включають класичні польові випробування та довгострокові експерименти, що відрізняються часом виконання. За традиційного підходу вчені-агрономи мають на меті максимально зменшити гетерогенність ґрунту та мінливість клімату протягом періоду дослідження. На противагу цьому, ландшафтний підхід розглядає гетерогенність як джерело інформації, яке потребує чіткого врахування. Традиційні експерименти в контрольованих умовах проводяться для вивчення окремого ефекту або процесу за інших рівних умов, що покращує розуміння механістичного процесу, але ігнорує більш складні взаємодії з навколишнім середовищем за задумом. На відміну від традиційних агрономічних дослідів, ландшафтні дослідження надають величезну кількість систематично зібраних вручну даних та коваріат для відповіді на дослідницькі питання та підтвердження або спростування гіпотез. Традиційні методики польового дослідження можуть ігнорувати відповідні взаємодії та тенденції протягом короткого періоду впровадження, ландшафтні експерименти включають ширший спектр просторових або часових сутностей для кращого розуміння взаємодій та взаємозалежності. Традиційні методики часто вимагають рандомізованого розподілу обробок у просторі, ландшафтні дослідження навмисно обирають найбільш репрезентативне та доступне експериментальне місце для спостережуваних процесів, враховуючи як перехідні зони, так і граничні ефекти.

Вимоги ландшафтного експерименту до експериментального дизайну (планування досліджень) значно перевищують вимоги класичних польових експериментів. По-перше, хоча ландшафтний експеримент спрямований на з'ясування складної взаємодії між численними ефектами, прямим наслідком є великий обсяг даних і складна математична обробка результатів. Таким чином, повний факторіальний дизайн не здійснений. Крім того, дизайн *ceteris paribus* не може бути реалізований. Більше того, реальні повторення навряд чи можна реалізувати у багатовимірній експериментальній установці. Тобто, зміну ландшафту неможливо повторити або контролювати, і тому її неможливо легко

порівняти, як це можна зробити в розроблених факторіальних експериментах з обробкою. Водночас, звичайний постулат про репрезентативність польових випробувань для більшого регіону може і повинен бути відкинутий для багатовимірних умов.

Сільськогосподарські підприємства вбудовані в більші екологічні та людські системи з великою різноманітністю біофізичних та культурних компонентів. Такі взаємодії відбуваються всередині та між різними об'єктами та можуть включати макромасштабні зворотні зв'язки або міжмасштабні взаємодії чи появу, що потенційно призводить до нової або неочікуваної поведінки системи. Потрібні дані як на рівні господарств, так і на рівні ландшафту, які відображають різноманітність умов, враховуючи як внутрішньофермерську, так і міжфермерську гетерогенність, включаючи біофізичні (зазвичай публічні), економічні та специфічні для ділянки (часто конфіденційні) дані [80]. Закономірності, спричинені різними процесами в різних просторових масштабах, можна виявити за допомогою комбінації дизайну вибірки, наприклад, шляхом аналізу даних трансектів досліджуваних ділянок [81], та інших аналітичних підходів.

Для кращого розуміння впливу майбутніх змін, пов'язаних з кліматом, на сільськогосподарські системи, можливих часових затримок та впливу «повільних змінних» [82] на систему, на порядку денному мають бути довгострокові спостереження в ландшафтних експериментах.

Неминучим наслідком концепції ландшафтних досліджень є те, що вони вимагають безпрецедентних методів збору даних порівняно з класичними польовими випробуваннями. Проте, цифрові датчики та безконтактні дані тепер доступні широкому колу дослідників. Нові технології дозволяють автоматизований збір даних у великих масштабах (наприклад, БПЛА або інші дистанційні засоби); методи зондування для спостереження за параметрами ґрунту або здоров'ям рослин, наприклад, у зв'язку з тиском шкідників, хвороб або бур'янів. Крім того, ландшафтні експерименти можна використовувати в поєднанні з меншими польовими випробуваннями для дослідження більш

конкретних питань. Передбачається, що ландшафтні експерименти будуть впроваджуватися як частина більших трансдисциплінарних проєктів, таких як AgroScapeLab Quillow (ASLQ, www.aslq.de). Ландшафтні експерименти мають на меті надати докази успіху перевірених заходів або практик з економічної та агроекологічної точки зору. Загалом це призводить до кращої релевантності результатів.

Щоб забезпечити наукову основу для політики та управління, що підтримують трансформацію сільського господарства, дослідження повинні враховувати різноманітні інтереси зацікавлених сторін та відповідні цілі, включаючи одночасно екологічні, економічні чи соціальні аспекти, що є основою агроекології в її сучасному розумінні. *Агроекосистемний підхід до експериментів у агрономії* є першим на порядку денному, який повинен враховувати процеси всередині та між сільськогосподарськими полями та їхнім оточенням.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яким чином слід інтерпретувати принцип єдиної логічної відмінності?
2. Розкрийте сутність правила доцільності.
3. Сформулюйте дефініцію поняття типовості експерименту та визначте його категорії.
4. Продемонструйте принцип адекватності умов проведення дослідження, навівши конкретний приклад.
5. Визначте ключову вимогу до експерименту, яка має принципове значення для верифікації достовірності попередньо отриманих результатів.
6. Розкрийте поняття чистого контролю та наведіть приклади експериментів, для яких запровадження абсолютних контрольних варіантів є обов'язковим.
7. Яких принципів має дотримуватися дослідник при виборі сортів і гібридів для проведення експериментального дослідження?

8. Опишіть види документації експериментального дослідження, що класифікуються як первинна та додаткова.

9. Сформулюйте мету реєстрації основних та супутніх показників експериментального дослідження.

10. За якими критеріями здійснюється оцінка якості експериментальної роботи та статистичної достовірності результатів дослідження?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Напишіть оглядовий реферат на тему “Перспективи агрономічних досліджень, відповідно до цілей сталого розвитку”, поясніть, як саме Ви ставитесь до можливості реалізації цілей сталого розвитку засобами агрономії.

ТЕМА 3. ПОБУДОВА ОРІЄНТОВНИХ СХЕМ У ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДАХ. ПЛАНУВАННЯ ТА ТЕХНІКА ЗАКЛАДАННЯ ПОЛЬОВОГО ДОСЛІДУ

3.1 Структурно-логічна схема студентської наукової роботи з агрономії

Процес проведення наукового дослідження можна структурувати у наступній логічній послідовності:

1. Аргументація актуальності обраної проблематики та формулювання робочої гіпотези, що містить передбачувані результати дослідження.
2. Визначення генеральної мети та конкретних дослідницьких завдань.
3. Ідентифікація об'єкта та предмета дослідження.
4. Обґрунтування вибору методології та детальний опис процедури проведення дослідження.
5. Планування ресурсного забезпечення, включаючи кошторис витрат та перелік необхідних матеріалів і обладнання.
6. Аналіз та інтерпретація отриманих результатів, а також формулювання обґрунтованих висновків.
7. Дискусійне осмислення та апробація отриманих результатів.

На основі цієї універсальної схеми дослідник розробляє структурний план та змістове наповнення розділів науково-дослідного проекту. Зазначений структурний план дослідження слугує фундаментом для написання кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти.

Далі буде розглянуто ключові компоненти структурного плану дослідження, що є невід'ємною частиною кваліфікаційного дослідження:

Формулювання теми та її структурних підрозділів. Тематика дослідження, як правило, спрямована на розв'язання теоретичних чи прикладних проблем у межах певної наукової галузі. У рамках емпіричних досліджень ці аспекти часто інтегративно розглядаються. Після остаточного визначення теми необхідно її чітко сформулювати. Формулювання теми має бути конкретним,

інформативним та лаконічним.

Наукове керівництво та склад виконавців. У методологічному розділі обов'язково відображаються дані про наукового керівника та склад виконавців проекту. У кваліфікаційній роботі назва теми, а також відомості про наукового керівника та виконавця зазначаються на титульній сторінці.

Аргументація актуальності обраної тематики та прогнозований результат дослідження (робоча гіпотеза). Процес обґрунтування релевантності обраної проблематики потребує ґрунтовного збору та аналізу наукових джерел з відповідного напрямку. На основі цього формується аналітичний огляд літератури, який стисло представляє ключові результати досліджень, систематизує їх та ідентифікує невирішені аспекти або прогалини у поточних знаннях. У цьому розділі, що зазвичай є частиною вступу наукової роботи, окремо акцентується увага на новизні та актуальності запропонованого дослідження. Виклад актуальності має бути лаконічним і зосередженим. Доцільно обмежитися стислим формулюванням, яке чітко визначає першопричини проблеми, що безпосередньо обумовлює значущість обраної теми.

Проблема в науковому контексті постає тоді, коли існуючі знання виявляють свою недостатність або обмеженість, а нові концепції ще не систематизовані чи не отримали належного теоретичного обґрунтування. Отже, наукова проблема — це колізійна ситуація, що потребує свого розв'язання. Така ситуація, як правило, постає внаслідок виявлення нових емпіричних даних, які не узгоджуються з існуючими парадигмами, або коли наявні теоретичні концепції неспроможні повноцінно інтерпретувати нововиявлені факти.

Коректна постановка та чітке формулювання наукових проблем є не менш вагомими, ніж їхнє розв'язання. Вибір проблеми, по суті, суттєво детермінує як загальну стратегію дослідження, так і конкретний вектор наукового пошуку. Загальновизнано, що формулювання наукової проблеми демонструє здатність дослідника пріоритизувати ключові аспекти, ідентифікувати накопичені знання та невивчені аспекти в межах об'єкта дослідження.

Прогнозований результат дослідження (робоча гіпотеза) формулюється на

підставі ретельного аналізу теоретичних джерел з обраної проблематики, а також даних споріднених студій, проведених в аналогічних умовах або певних предметних галузях.

Мета та конкретні завдання дослідження викладаються у вступній частині науково-дослідної роботи. Від аргументації актуальності обраної теми доцільно перейти до формулювання мети, а потім конкретизувати завдання, що підлягають вирішенню для її досягнення.

Мета та завдання мають бути сформульовані змістовно та лаконічно. Від коректності формулювання завдань суттєво залежить досягнення загального результату. Мета дослідження має бути тісно пов'язана з тематикою роботи і, як правило, досягається шляхом виконання окремих завдань. Завдання, як правило, представлені у формі переліку дієслів (наприклад, “проаналізувати, описати, встановити, виявити, розробити” тощо). Обсяг визначених завдань корелює із складністю та широтою мети дослідження. Формулювання цих завдань вимагає максимально ретельного підходу, оскільки саме їхнє вирішення формує змістовне наповнення розділів наукової праці. Це також обумовлено тим, що назви таких розділів безпосередньо впливають із формулювання визначених дослідницьких завдань.

Визначення об'єкта та предмета дослідження. Концептуалізація об'єкта та предмета дослідження є фундаментальним етапом наукового пізнання. Об'єкт дослідження являє собою процес, феномен або сукупність явищ, які зумовлюють проблемну ситуацію і обрані для всебічного вивчення. Предмет дослідження окреслює ту специфічну грань або аспект, що знаходиться в межах визначеного об'єкта. У контексті наукового пізнання об'єкт і предмет дослідження функціонують як взаємопов'язані категорії, що перебувають у відношенні загального до часткового. Предмет є тією сфокусованою частиною об'єкта, яка підлягає безпосередньому вивченню. Саме на предмет дослідження спрямована основна увага науковця, оскільки він окреслює тематику наукової праці та формує її назву, яка фіксується на титульній сторінці.

Вибір методології дослідження та опис його процедури. Ключовим етапом наукової роботи є обґрунтований вибір методів дослідження, які слугують інструментарієм для збору емпіричних даних та є необхідною передумовою для успішної реалізації поставлених цілей.

Ефективність експериментальних досліджень значною мірою детермінована природно-кліматичними особливостями території проведення, а також ретельністю розробки та застосування методології спостережень. Під час підготовки наукових праць, що передбачають аналіз досвіду провідних господарств, акцент робиться на вивченні таких аспектів, як географічне розташування, характеристики ґрунтового покриву, агрометеорологічні показники, а також детальний опис процедури проведення спостережень та обліків. Методологія визначається як системна сукупність підходів та прийомів, що застосовуються для досягнення поставленої наукової мети. Відповідно, розділ, присвячений методиці, повинен містити перелік ключових показників, що дозволяють верифікувати результати дослідження, а також методи їх збору (аналіз архівних даних, звітів, власні польові спостереження, облік продуктивності тощо).

У структурі наукових кваліфікаційних робіт методологічні засади дослідження, включно з вибором методів, традиційно викладаються у розділі 3. Розділ методики також конкретизує основні досліджувані параметри та описує методи їх кількісного або якісного визначення, включно зі посиланням на спеціалізовані методики. Додатково зазначається часова послідовність та характер запланованих спостережень. Обов'язковим є стислий опис процедури визначення кожного досліджуваного показника або ж цитування відповідних авторських методик із посиланням на першоджерела.

Після формування детальної методології розробляється робочий план експерименту (як правило, у вигляді таблиці), де фіксуються календарні терміни реалізації всіх етапів, передбачених обраною методикою (табл. 3.1).

Ретельна фіксація отриманих даних є основоположною умовою успішної реалізації експериментального дослідження. З огляду на це, перед початком проведення експерименту його виконавці зобов'язані започаткувати ведення

спеціальних реєстраційних журналів, які зберігаються у незмінному, оригінальному вигляді до завершення всього циклу досліджень. До цих журналів фіксуються відомості щодо всіх показників, що характеризуються системністю. Для забезпечення цілісності та верифікації даних, сторінки цих реєстраційних журналів та щоденника досліду мають бути пронумеровані науковим керівником.

Таблиця 3.1

Календарний план на ____ рік.

№ п/п	Назва та обсяг робіт	Строк виконання (місяць)	Виконавці
----------	----------------------	--------------------------------	-----------

Приступати до виконання експерименту дозволяється лише після всебічної розробки, детального обговорення та офіційного схвалення його методологічного підходу. Затвердження методології, як правило, здійснюється компетентними науковими структурами (зокрема, кафедрою, відділом чи вченою радою).

Виклад процесу дослідження становить ключовий елемент наукової праці, в якому детально репрезентуються обрана методика та технічне забезпечення дослідження, з аргументацією, що базується на логічних принципах та правилах. У контексті підготовки наукових кваліфікаційних робіт (наприклад, дипломних), опис процесу дослідження традиційно виділяється в окремий структурний розділ, часто представлений як Розділ 2.

Завершальним етапом у формуванні концепції наукового проекту є складання кошторису фінансових витрат та формування детального переліку необхідних матеріальних ресурсів для проведення дослідження (табл. 3.2).

Первинна наукова документація є фундаментальною основою для всебічного аналізу емпіричних даних. Вона забезпечує моніторинг дотримання часових рамок, стандартів якості та коректності реєстрації даних в експериментальній роботі, а також дозволяє формулювати висновки щодо відповідності реалізованого процесу визначеній методології та затвердженій

робочій програмі.

Таблиця 3.2

Матеріали, засоби та обладнання, що планується використати

Назва	Вартість, тис. грн.

Фінальною стадією наукового пошуку є систематизація висновків та всебічна оцінка отриманих результатів, які акумулюють оригінальні та значущі аспекти, що визначають наукову та прикладну цінність виконаної праці.

Критично важливим етапом наукового дослідження є публічна дискусія щодо отриманих результатів на засіданнях профільних академічних підрозділів, наукових семінарах та фахових конференціях, із проведенням попередньої експертизи теоретичної та практичної значущості наукової розробки, що становить собою початкову колективну рецензію.

Представлена нами загальна архітектура наукового дослідження та його методологічні компоненти мають універсальний характер. Водночас, кожна науково-дослідна робота вирізняється індивідуальними особливостями, адекватний облік яких є критичним фактором для досягнення її успішності.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що визначає методику проведення експериментального дослідження?
2. Які розбіжності існують між універсальними та спеціалізованими методиками експерименту?
3. Перерахуйте складові елементи логічної структури наукового дослідження.
4. Яким чином коректно аргументувати актуальність обраної наукової проблематики?
5. Сформулюйте принципи постановки мети та окреслення завдань дослідження.

6. Яка сутність понять "предмет дослідження" та "об'єкт дослідження"?
7. Надайте дефініцію поняттю "методи дослідження".
8. Яка частина наукової праці вважається ключовою?
9. Як здійснюється процедура апробації одержаних наукових результатів?
10. З якою метою науковець формує кошторис фінансових витрат та перелік необхідних матеріалів для проведення дослідження?
11. На якому етапі наукового дослідження розробляється робочий план експерименту?
12. Що є завершальним етапом у процесі наукового дослідження?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Коротко опишіть методологію та розробіть схему експерименту з метою вивчення впливу:

- а) комплексних добрив на продуктивність сільськогосподарських культур;
- б) новітніх регуляторів росту на якісні характеристики сільськогосподарської продукції;
- в) методів внесення добрив на врожайність зернових культур;
- г) нових гербіцидів на врожайність соняшнику.

3.2 Орієнтовні варіанти дослідів за різними напрямками агрономічних досліджень

3.2.1 Досліди з вивчення розміщення культур

З метою аналізу відгуку окремих видів культурних рослин на умови вирощування в сівозміні або в беззмінних посівах (монокультурі), можуть бути реалізовані такі експериментальні схеми:

1. Культура, вирощена в умовах монокультури.
2. Культура, вирощена повторно в межах сівозміни.
3. Культура, вирощена в сівозміні після оптимального попередника.

При плануванні експерименту, що має на меті вивчення впливу тривалості безперервного культивування агрокультур на одній ділянці (повторні посіви) на їх продуктивність, до схеми досліду доцільно інтегрувати такі варіанти:

1. Культура в сівозміні після рекомендованого попередника (контроль).
2. Культивування культури другий рік поспіль на одній ділянці.
3. Культивування культури третій рік поспіль на одній ділянці.
4. Культивування культури четвертий рік поспіль на одній ділянці.
5. Культивування культури п'ятий рік поспіль на одній ділянці.
6. Культивування культури шостий рік поспіль на одній ділянці.
7. Культивування культури сьомий рік поспіль на одній ділянці.
8. Культивування культури восьмий рік поспіль на одній ділянці.

У випадку вивчення ефективності попередників для озимих культур, рекомендовано включати такі варіанти:

1. Парові попередники (чистий пар для Степної зони; зайнятий пар для Лісостепу та Полісся).
2. Непарові попередники (просапні культури та культури, що вирощуються рядовим способом посіву).

Для кожної агрокліматичної (або природно-економічної) зони характерна наявність певних найбільш ефективних попередників, проте не всі вони потребують включення до експериментальної схеми. Загальним принципом є інтеграція найбільш поширеного та оптимального попередника як контрольного (еталонного) варіанта, тоді як дослідні варіанти мають бути присвячені вивченню менш поширених та недостатньо досліджених попередників.

Нижче наведено можливі варіанти дослідів для різних природно-економічних зон (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Можливі варіанти досліду з визначення кращих попередників для озимих культур у різних агрокліматичних зонах України

<i>Полісся</i>	<i>Лісостеп</i>	<i>Степ</i>
----------------	-----------------	-------------

1.люпин (контроль)	1.горох (контроль)	1.чистий пар
2.конюшина на 2 укуси	2.озимі на зелений корм	(контроль)
3.гречка	3.озимі на зелений	2.горох
4.картопля	корм+післяукісна	3.соя
5.кукурудза на силос	гречка	4.кукурудза на силос
	4.озимі на зелений	5.кукурудза із соєю на
	корм+післяукісна	силос
	кукурудза	
	5.ярий ріпак	

У структуру попередників озимих культур рекомендовано інтегрувати сорти картоплі з відмінною тривалістю вегетаційного періоду, враховуючи обмеженість наукових даних з цього питання. Кількість варіантів, що підлягають включенню до схеми досліду, має відповідати числу сортів картоплі з різними строками збирання, що культивуються в досліджуваному регіоні.

У південних регіонах як дослідні варіанти можуть слугувати ранньостиглі гібриди соняшнику, інтродуковані в агровиробництво протягом останніх років.

При вивченні попередників для кукурудзи, ярого ячменю, вівса, проса, гречки, гороху, вики та сої, доцільно включати до структури сівозмін як ярі, так і озимі культури, а також просапні та звичайного рядкового посіву, дотримуючись принципу, згідно з яким переважна частина експериментальних варіантів у певному регіоні складається з маловивчених попередників.

Залежно від ресурсних можливостей дослідника (індивідуальних чи колективних) в експериментальну схему для згаданих вище ярих зернових злакових і зернобобових культур доцільно включити наступний спектр попередників: озимі — пшениця, жито, ячмінь, ріпак; ярі — ячмінь, овес, просо, гречка, ріпак, горох, соя (для не бобових культур), кукурудза, цукрові та кормові буряки, картопля, соняшник, баштанні культури (у Степовій зоні) та льон (у Поліссі). Прикладом може слугувати експериментальна схема, що передбачає дослідження таких варіантів попередників для кукурудзи: 1) озима пшениця

(контроль); 2) озимий ячмінь; 3) ярий ячмінь; 4) цукрові буряки (або кормові буряки, або картопля); 5) соняшник; 6) соя; 7) кукурудза. Ця експериментальна схема, за винятком п'ятого варіанта, може бути адаптована та застосована для аналізу попередників соняшнику в південній частині Лісостепу або в Степовій зоні.

При вивченні позицій цукрових буряків у структурі сівозміни необхідно враховувати, що ця культура демонструє чутливість не лише до безпосередніх попередників, а й до впливу передпопередників. Отже, методологія експериментальних досліджень може передбачати розробку окремих схем: однієї — для оцінки впливу попередників, іншої — для аналізу ефекту передпопередників.

Наприклад, типова схема експерименту, спрямованого на вивчення впливу попередників на цукрові буряки, може мати такий загальний вигляд:

- 1) Озимі зернові колосові культури (пшениця — контрольний варіант, ячмінь, жито);
- 2) Ярі зернові колосові культури (ячмінь, овес);
- 3) Зернобобові культури (горох, соя);
- 4) Ярі просапні культури (кукурудза, картопля, соняшник);
- 5) Багаторічні бобові трави різного терміну використання (однорічного, дворічного або трирічного циклу).

В рамках вивчення попередників цукрових буряків доцільно розглядати також диференціацію за сортами озимої пшениці. При цьому слід включати варіанти, які суттєво відрізняються за біометричними параметрами, такими як висота рослин та тривалість вегетаційного періоду. Загальна типологія варіантів такого експерименту може бути представлена наступним чином:

- 1) Найбільш розповсюджений з культивованих сортів (як контрольний варіант);
- 2) Високорослий, схильний до вилягання;
- 3) Низькорослий, характеризується високою стійкістю до вилягання;
- 4) З подовженим вегетаційним періодом;

5) З укороченим вегетаційним періодом.

В експериментах цього профілю озиму пшеницю можна замінити іншими зерновими колосовими культурами, сорти яких мають відмінності за релевантними агрономічними характеристиками.

Враховуючи, що озима пшениця, як один з найпоширеніших та рекомендованих попередників цукрових буряків, сама вирощується після різноманітних культур, ці культури можуть формувати варіанти досліду з вивчення передпопередників, а саме:

1) Конюшина на один укіс (для зони Лісостепу) або чистий пар (для Степової зони) — як контрольний варіант;

2) Горох зерновий;

3) Кукурудза на зелений корм чи силос;

4) Картопля;

5) Пшениця або ячмінь (актуально для Степу).

Переважною покривною культурою для багаторічних бобових трав у сівозмінних ротаціях різних агроекологічних регіонів країни є ячмінь, що обумовлює його використання як контрольного варіанту при формуванні експериментальної схеми. Типова схема дослідження може передбачати такі варіанти покривних культур: 1) ячмінь (контроль); 2) овес; 3) просо; 4) гречка; 5) кукурудза; 6) озимі культури на зелений корм; 7—9) озима пшениця, ячмінь, жито.

У Лісостеповій зоні недостатньо вивченим залишається питання оптимальної інтеграції конопель та олійного льону в сівозміни. В якості контрольного варіанту доцільно розглядати їх розміщення після озимої пшениці, тоді як до експериментальних варіантів можливо включати широкий спектр як просапних культур, так і культур, що висіваються традиційним рядковим способом. До них належать озимі та ярі зернові колосові, кукурудза з різними термінами збирання врожаю, корене- та бульбоплоди, а також соняшник (у регіонах його вирощування). З огляду на толерантність конопель до повторних посівів, цей варіант є неодмінним елементом експериментальної схеми.

На території Полісся експериментальні дослідження щодо вивчення попередників для льону та картоплі рекомендовано організувати за наступною типовою схемою: 1) озимі зернові колосові (контрольний варіант); 2) багаторічні трави з різним періодом експлуатації; 3) ярі просапні культури; 4) ярі зернові колосові.

При дослідженні інтеграції люпину як ключової зернобобової культури Полісся, до схеми досліду як попередники можуть бути інтегровані практично всі агрокультури, що культивуються у даному регіоні.

Організація та методика спостережень і обліку показників. У межах кожного експериментального дослідження сукупність наукових спостережень доцільно категоризувати за двома основними напрямками: аналіз екологічних чинників, що впливають на життєдіяльність рослин, та дослідження динаміки формування продуктивності (урожаю).

Невід'ємним та загально визнаним компонентом будь-якого дослідження, незалежно від його специфіки, є фіксація календарних термінів настання фенологічних фаз розвитку культивованих рослин. Враховуючи значний вплив метеорологічних умов року на тривалість та інтенсивність фенологічного розвитку (особливо в аномальні роки), що часто переважає вплив експериментальних факторів, до обов'язкових аспектів дослідження необхідно включити детальний аналіз ключових метеорологічних параметрів. Серед них: інтенсивність опадів протягом календарного року та вегетаційного періоду, характеристика температурного режиму із зазначенням екстремальних (максимальних літніх та мінімальних зимових) показників, а також оцінка вологості повітря впродовж вегетації. При цьому дослідник зобов'язаний ретельно документувати будь-які екстремальні погодні явища, які потенційно здатні суттєво вплинути на процес формування врожайності.

Інші дослідження, що стосуються умов існування рослин, доцільно диференціювати на першочергові (основні) та допоміжні (другорядні). Першочергові дослідження є обов'язковими та фундаментальними для отримання всебічної інформації, тоді як допоміжні дослідження призначені для

виявлення причинно-наслідкових зв'язків та інтерпретації результатів основних вимірювань. Наприклад, якщо в ході обов'язкового обліку врожайності зерна було зафіксовано суттєве зниження показників в одному з експериментальних варіантів, це явище згодом може бути пояснене за допомогою аналізу компонентів структури врожаю, що є результатом допоміжних досліджень.

Система обліку та спостережень, як основних, так і допоміжних, детермінується дослідницьким вектором та методологічною специфікою експерименту.

При проведенні експериментів, спрямованих на вивчення впливу попередників на широкий спектр сільськогосподарських культур, дослідницька програма повинна передбачати аналіз чинників життєдіяльності, які першочергово обумовлені вирощуванням попередньої культури. Наприклад, емпірично встановлено, що щільність схожості озимих культур високо корелює з гідрологічним станом посівного горизонту ґрунту. Вологісний режим цього горизонту, своєю чергою, визначається термінами збирання попередньої культури та об'ємом резидуальної вологи, що зберігається в ґрунті після її вегетації. Відповідно до цього, дослідник зобов'язаний передбачити моніторинг гідрологічного балансу аераційного (включно з посівним) горизонту ґрунту в період сівби озимих культур.

У разі, якщо експериментальний дизайн передбачає включення до складу попередників культур різної таксономічної приналежності, зокрема зернових злаків, то до першочергового та обов'язкового блоку досліджень необхідно інтегрувати оцінку фітосанітарного благополуччя посівів озимих культур, що включає аналіз рівня забур'яненості, ураження фітопатогенами та ентомологічними шкідниками. Аналіз цієї проблематики також є імперативом в експериментах з попередниками для ярих культур, де, крім того, передбачається дослідження гідрологічного режиму, що формується в коренедоступному горизонті ґрунту на початкових та фінальних стадіях вегетаційного періоду.

У експериментах, сфокусованих на компаративному аналізі впливу бобових та небобових попередників, ключовим компонентом досліджень є моніторинг

азотного забезпечення рослин в контексті культивування озимих та ярих (небобових) культур за умов істотно диференційованих експериментальних варіантів.

Агробіологічні параметри піддослідних культур, у детермінованому попередніми культурами контексті, також можуть бути оцінені шляхом аналізу характеристик перезимівлі озимих культур та рівня стійкості агроценозів до вилягання. Ця особливість релевантна для ярих та озимих культур, вирощених за традиційної рядкової схеми посіву.

До комплексу супутніх досліджень агроекологічних чинників, що впливають на вегетацію рослин після різних попередників, належить аналіз морфологічних, щільнісних, структурних та інших фізичних характеристик ґрунтового середовища.

Оцінка онтогенезу культурних рослин здійснюється шляхом фенологічного моніторингу, тоді як їхній ріст та формування продуктивності визначаються інтенсивністю накопичення вегетативної маси та утворенням ключових компонентів структури врожаю.

Дослідження ростових процесів будь-яких культур у межах кожного експериментального варіанту, зокрема, в контексті впливу попередників, доцільно розпочинати з фіксації інтенсивності проростання насіння та появи сходів, а також кількісного обліку їхньої повної густоти стояння. Моніторинг приросту вегетативної маси реалізується у відповідні фенологічні фази або періоди онтогенезу рослин. Так, для озимих зернових культур це включає завершення осінньої вегетації, початок стеблуння, а також фази колосіння та цвітіння. Для ярих зернових — кущіння, стеблуння, колосіння-цвітіння. У кукурудзи ключовими фазами є 3-5 листків, початок викидання волоті та утворення початків. Для цукрових буряків — змикання листя в рядках, змикання листя в міжряддях та період інтенсивного наростання коренеплодів (кінець серпня). Оцінка ростових процесів ґрунтується на показниках біомаси, висоти стебла, а також площі листової поверхні.

При аналізі формування продуктивності у зернових та зернобобових культур слід враховувати щільність продуктивного стеблостою, число генеративних органів (бобів, качанів) на одиницю рослини, а також кількість та масу зерна у репродуктивних структурах (колосі, бобі, качані, волоті).

Під час збору врожаю на ділянках з коренеплідними культурами здійснюється фіксація середньої маси окремого коренеплоду. У випадку з картоплею, поряд із середньою масою бульб, враховується їхня кількість та сукупна маса в кущі.

Окрім кількісної оцінки врожайності, у кожному експериментальному дослідженні передбачається обов'язкове проведення аналізу якісних характеристик. Зокрема, для зернових колосових культур оцінюються такі параметри, як маса тисячі зерен, показник натури (об'ємної маси) зерна та вміст білка (для пшениці додатково — вміст клейковини); для олійних культур — концентрація олії; для цукрових буряків — вміст цукру в коренеплодах та інші релевантні показники.

Неодмінною вимогою для кожного дослідження є статистична обробка результатів усіх основних вимірювань. У дослідах, що вивчають вплив попередніх культур, разом із даними про врожайність та якість продукції, статистичному аналізу підлягають також індикатори, які найповніше характеризують умови життєдіяльності рослин у залежності від попередників. До таких індикаторів належать, наприклад, рівень вологи у ґрунті, ступінь ураження рослин патогенами та шкідливими організмами тощо.

3.2.2 Організація дослідів з вивчення сівозмінних ланок і сівозмін

Дослідження сівозмін не вичерпуються виключно аналізом ефективності розміщення індивідуальних культурних рослин, як це спостерігається у короткострокових експериментах. У довготривалих, стаціонарних дослідженнях

сівозмін предметом вивчення виступають окремі ротаційні елементи або ж комплексні сівозмінні системи.

У регіонах, де домінуючою культурою в польових сівозмінах є озима пшениця, типова послідовність сівозмінної ланки представлена наступним чином: попередня культура — озима пшениця — подальша культура. Якщо в рамках експерименту передбачається оцінка доцільності застосування різноманітних попередників для озимої пшениці, при умові вирощування цукрових буряків після неї в усіх експериментальних варіантах, то структура дослідження передбачатиме кількість варіантів, що відповідає кількості задіяних попередників озимої пшениці. Зокрема, якщо в Лісостеповій зоні озиму пшеницю та подальші цукрові буряки культивують після багаторічних трав (на один укіс), озимих та ярих культур на зелений корм, гороху, кукурудзи на силос, гречки та інших, то схема дослідження ротаційних елементів може бути представлена наступним чином:

- 1) ротаційний елемент з багаторічними травами;
- 2) ротаційний елемент з культурами-зайнятими парами;
- 3) ротаційний елемент з горохом;
- 4) ротаційний елемент з кукурудзою на силос;
- 5) ротаційний елемент з гречкою;
- 6) ротаційний елемент з іншими попередниками озимої пшениці.

У випадках, коли перші два компоненти сівозмінної ланки є ідентичними, експериментальний варіант іменується за фінальною (заключною) культурою, наприклад:

- 1) ротаційний елемент з кукурудзою;
- 2) ротаційний елемент з цукровими буряками;
- 3) ротаційний елемент з картоплею;
- 4) ротаційний елемент з соняшником;
- 5) ротаційний елемент з іншою заключною культурою.

Крім того, в експериментальних дослідженнях можуть бути розглянуті сівозмінні ланки, що відрізняються за двома або трьома культурними

компонентами, комбінації яких можуть суттєво відрізнятись в різних агрокліматичних регіонах. Зокрема, для лісостепової зони схема дослідження з двома різними культурами може включати такі варіанти:

- 1) горох — озима пшениця — цукрові буряки;
- 2) горох — ячмінь — кукурудза;
- 3) горох — кукурудза — гречка;
- 4) горох — картопля — соняшник.

Експериментальна модель, яка передбачає варіанти, що відрізняються складом трьох культур у ланці сівозміни, може бути представлена наступними конфігураціями: 1) горох – озима пшениця – цукрові буряки; 2) ячмінь – картопля – соя; 3) овес – картопля – соняшник; 4) кукурудза – кукурудза – кукурудза.

Під час аналізу продуктивності цілих сівозмінних систем, дослідницька схема має інтегрувати такі ключові параметри: використання покривних культур або чистого пару, наявність чи відсутність багаторічних трав'янистих рослин, а також питому вагу провідних культур.

За такого підходу, до дослідницької схеми інтегруються варіації сівозмін, які відрізняються виключно одним умовним полем під паром. Ілюстративну схему подібного експерименту для п'ятипільних сівозмін представлено у Таблиці 3.4.

Для встановлення впливу багаторічних бобових трав з різним видовим складом у сівозмінних системах з визначеною кількістю полів, експеримент структурується за наступним типовим принципом: в одному із сегментів полів першої експериментальної сівозміни передбачається культивування одного виду багаторічної бобової культури, у наступному — іншого виду, і так далі, тоді як у заключному варіанті висівають однорічні трави, що зазвичай використовуються для порівняння з багаторічними. На інших сегментах полів усіх досліджуваних сівозмін культивуються ідентичні рослинні види. Як ілюстративний приклад, звернемося до схеми експерименту з п'ятипільними сівозмінами, поданої у Таблиці 3.5.

Таблиця 3.4

Варіанти досліду з чистим і зайнятим паром у 5-пільній сівозміні

Варіант	Номер поля				
	1	2	3	4	5
1	Чистий пар	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь
2	Озимі на зелений корм	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь
3	Вико-овес на сіно	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь
4	Конюшина на сіно	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь з підсівом конюшини
5	Кукурудза на зелений корм	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь

Таблиця 3.5

Варіанти дослідів з вивчення багаторічних трав у 5-пільній сівозміні

Варіант	Порядковий номер поля				
	1	2	3	4	5
1	Конюшина	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь з підсівом трав
2	Еспарцет	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь з підсівом трав
3	Люцерна	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь з підсівом трав
4	Вико-овес	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Ячмінь

Розробка та дослідження комплексних експериментальних схем сівозмін, спрямованих на вивчення ефективності інтеграції провідних культур у певній агрокліматичній зоні, є завданням підвищеної складності. Це обумовлено тим, що розширення посівних площ однієї культури неминуче спричиняє пропорційне скорочення площ інших культур і навпаки. Отже, такі інтегровані дослідження дозволяють одночасно аналізувати кілька взаємопов'язаних питань, зосереджених на концентрації різних сільськогосподарських культур, при мінімальних витратах ресурсів.

Проте, принципово важливо, щоб дослідник не виходив за встановлені межі допустимого розширення або скорочення посівів конкретної культури. Наприклад, у зонах спеціалізованого бурякосіяння неприпустимо повне виключення цукрових буряків із сівозміни, так само як і їхнє збільшення до половини або більше в структурі зерно-бурякової ротації. З огляду на це, при формуванні 10-пільних сівозмін рекомендовано включати варіанти з варіативним розміщенням цукрових буряків – від одного до чотирьох полів. Частка озимої пшениці в польових сівозмінах таких експериментів може коливатися в межах 10-40%, гороху – 0-30%. Для кукурудзи допускаються дещо ширші діапазони варіацій. Ілюстративна схема 10-пільних сівозмін з різним ступенем насичення зазначеними культурами представлена у таблиці 3.6.

Зіставлення варіантів 2,4 і 5 дозволяє оцінити вплив збільшення частки озимої пшениці з 20 % до 40 %. Аналогічно, шляхом порівняння сівозмін 1,2 і 3 досліджується ефективність регулювання посівних площ цукрових буряків.

Для визначення впливу зміни частки кукурудзи відносно науково обґрунтованих рекомендацій передбачається зіставлення інших варіантів сівозмін з другою. Аналіз ефективності включення або виключення гороху зі структури посівних площ, а також розширення його культивування (до 2–3 полів), здійснюється шляхом порівняння другої сівозміни з шостою, сьомою та восьмою.

Таблиця 3.6

Орієнтовні варіанти 10-пільних сівозмін з різним насиченням пшеницею озимою, кукурудзою на зерно, горохом і цукровими буряками

Номер поля сівозмінні	Номер варіанту							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	30% пшениці, 20% кукурудзи, 10 % гороху, 10 % буряків	30% пшениці, 10 % кукурудзи, 10 % гороху, 20 % буряків	30% пшениці, 0 % кукурудзи, 10 % гороху, 30 % буряків	40 % пшениці, 0 % кукурудзи, 10 % гороху, 20 % буряків	20 % пшениці, 20 % кукурудзи, 10 % гороху, 20 % буряків	20 % пшениці, 30 % кукурудзи, 0 % гороху, 20 % буряків	20% пшениці, 30 % кукурудзи, 20 % гороху, 10 % буряків	20% пшениці, 30 % кукурудзи, 30 % гороху, 10 % буряків
1	Кукурудза на зелену масу	Кукурудза на зелену масу	Кукурудза на зелену масу	Кукурудза на зелену масу	Кукурудза на зелену масу	Кукурудза на зелену масу	Горох	Горох
2	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима
3	Кукурудза	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Кукурудза	Кукурудза
4	Ячмінь з підсівом конюшини	Ячмінь з підсівом конюшини	Ячмінь з підсівом конюшини	Ячмінь з підсівом конюшини	Ячмінь з підсівом конюшини	Ячмінь з підсівом конюшини	Ячмінь з підсівом конюшини	Ячмінь
5	Конюшина	Конюшина	Конюшина	Конюшина	Конюшина	Конюшина	Конюшина	Горох
6	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима
7	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки	Цукрові буряки
8	Горох	Горох	Горох	Горох	Горох	Кукурудза	Кукурудза	Кукурудза
9	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Пшениця озима	Кукурудза	Кукурудза	Горох	Горох
10	Кукурудза	Кукурудза	Цукрові буряки	Пшениця озима	Кукурудза	Кукурудза	Кукурудза	Кукурудза

Зіставлення сівозмін 2, 4, 5 і 6 уможлиблює виявлення ефективності взаємозамінності зернових культур, оскільки у всіх цих варіантах питома вага зернових культур залишається сталою і становить 60 %.

Представлена у табл. 3.6 експериментальна схема також є актуальною для дослідження ефективності варіацій у частці зернових культур. Для цього сівозміна 2, що характеризується типовим 60-відсотковим насиченням зерновими, порівнюється з варіантами 1, 3, 7 і 8, де частка зернових культур становить відповідно 50 – 90 %.

Окремим напрямком дослідження є аналіз сівозмін за рівнем інтеграції просапних культур. У межах стаціонарного експерименту з 10-пільними сівозмінами (табл. 3.6) виокремлюються: варіант 4 з трьома полями просапних культур; варіанти 1-3, 7-8 з 40-відсотковим їхнім насиченням, але з відмінним видовим складом; а також варіанти 5 і 6, де просапні культури представлені в обсязі 50 % і 60 % відповідно. З метою аналізу ефективності 100-відсоткового насичення сівозмін просапними культурами передбачено використання експериментальної схеми, представленої в табл. 3.7.

Організація та методика спостережень і обліку показників. Зміст дослідницької програми визначається характером об'єкта дослідження у довготривалих польових експериментах із ротацією культур — чи це окремі елементи сівозміни, чи цілі сівозмінні системи. У дослідженнях, що зосереджені на окремих елементах сівозміни, можна обмежитись аналізом аналогічних параметрів, що й при вивченні впливу попередників. Додатково передбачається оцінка продуктивності цих елементів із застосуванням загальновизнаних метрик, таких як урожайність продукції з одиниці площі, виражена в натуральних величинах (наприклад, зерно, коренеплоди), або в стандартизованих показниках (зернові, кормові та кормопротейнові одиниці).

**Орієнтовні варіанти 5-пільних сівозмін з різним насиченням
просапними культурами**

Варіант	Частка просапних, %	Культури в порядку чергування (зліва-праворуч)				
1	20	Горох	Озима пшениця	Цукрові буряки	Ячмінь	Овес
2	40	Вико-овес	Озима пшениця	Цукрові буряки	Ячмінь	Кукурудза
3	40	Вико-овес	Озима пшениця	Цукрові буряки	Ячмінь	Соняшник
4	60	Кукурудза на силос	Озима пшениця	Цукрові буряки	Ячмінь	Соняшник
5	60	Кукурудза на силос	Озима пшениця	Цукрові буряки	Ячмінь	Кукурудза
6	80	Кукурудза на силос	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Кукурудза
7	80	Кукурудза на силос	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза	Соняшник
8	100	Соя	Кукурудза	Цукрові	Соя	Кукурудза
9	100	Соя	Кукурудза	Цукрові	Соя	Картопля

Сучасні підходи також пропонують виражати всю отриману продукцію в енергетичних одиницях (калоріях або джоулях) відповідно до світових стандартів. Методики дослідження, що застосовуються для вивчення впливу попередників та окремих елементів сівозміни, є релевантними також для аналізу цілих сівозмінних систем. Однак довготривалі стаціонарні експерименти з ротацією культур дозволяють дослідити аспекти, які неможливо вивчити в короткострокових дослідженнях. Це стосується, зокрема, динаміки змін окремих показників ґрунтової родючості протягом одного або декількох циклів ротації тестових сівозмін. Для комплексного розкриття цієї проблематики дослідник має включити до програми такі пункти:

- ✓ аналіз динаміки вмісту ключових поживних елементів у кореневмісному шарі (на початку та наприкінці ротаційного періоду) з подальшим проведенням балансових розрахунків для різних варіантів сівозмін;
- ✓ визначення гумусового балансу в ґрунті протягом ротації культур;
- ✓ дослідження впливу різних сівозмін на трансформацію основних фізичних характеристик орного шару ґрунту (зокрема, щільності, структурності, водотривкості структури);
- ✓ вивчення змін у забур'яненості ґрунту вегетативними та генеративними органами розмноження бур'янів протягом ротації сівозмінних систем різної конфігурації;
- ✓ оцінка здатності сівозмінних систем до ґрунтозахисту від ерозії, запобігання акумуляції патогенів найбільш небезпечних хвороб та шкідників, а також забезпечення умов для виробництва екологічно безпечної продукції.

3.2.3 Досліди з вивчення добрив

Ефективність застосування агрохімікатів детермінується специфікою об'єкта дослідження і може бути структурована за кількома основними напрямками. Предметом вивчення може бути вплив індивідуальних елементів мінерального живлення у варіативних співвідношеннях для конкретних сільськогосподарських культур, або ж цілісних систем удобрення в контексті ротації культур (сівозміни). Самостійними напрямками досліджень є оптимальні терміни та методи аплікації добрив, а також порівняльна ефективність їхніх різноманітних форм. Орієнтовні варіанти дослідів з вивчення доз і співвідношення добрив наведені у табл. 3.8.

У схеми експериментів також можуть бути включені варіанти, що передбачають зміну пропорцій не лише одного, але й кількох визначених елементів живлення.

При дослідженні ефективності відмінних термінів та методів внесення мінеральних добрив, експеримент може базуватися на наступній типовій схемі:

Орієнтовні варіанти дослідів з визначення доз добрив

N	N : P : K
1.рекомендована норма на фоні фосфорно-калійних добрив (контроль) 2.0,25 рекомендованої норми; 3.0,50 норми 4.0,75 норми 5.1,25 норми 6.1,50 норми 7.1,75 норми 8.подвійна рекомендована норма	1.рекомендоване з врахуванням культури і ґрунту (контроль); 2.1 : 1 : 1; 3.0 : 1 : 1; 4.0,5 : 1 : 1; 5.1,5 : 1 : 1; 6.2 : 1 : 1; 7.1 : 0 : 1; 8.1 : 0,5 : 1; 9.1 : 1,5 : 1; 10.1 : 2 : 1; 11.1 : 1 : 0; 12. 1 : 1 : 0,5; 13.1 : 1 : 1,5; 14.1 : 1 : 2.

- 1) Усі елементи живлення інтегровані під час основного обробітку ґрунту;
- 2) Аналогічне внесення здійснюється під передпосівний обробіток;
- 3) Фосфорно-калійні добрива застосовуються під основний обробіток, тоді як азотні – під передпосівний;
- 4) Фосфорно-калійні добрива вносяться під основний обробіток, а азотні — під час посіву та у вигляді 1–3 додаткових підживлень протягом вегетаційного періоду.

Для порівняльного аналізу ефективності функціонування органічної, мінеральної або органо-мінеральної систем удобрення культур у сівозміні, необхідно створити стаціонарний експеримент (оскільки короткострокові дослідження для цієї проблематики є неефективними), що включатиме такі варіанти:

- 1) Рекомендована норма органічних добрив (гною) на 1 гектар ріллі, спрямована на просте відтворення гумусу;

2) Половина зазначеної норми органічних добрив, причому дефіцит за вмістом азоту, фосфору та калію компенсується повними мінеральними добривами;

3) Повна заміна органічних добрив мінеральними аналогами;

4) Рекомендована норма органічних добривів на 1 гектар ріллі, призначена для забезпечення розширеного відтворення запасів гумусу в ґрунті;

5–6) Варіанти, ідентичні пунктам 2 і 3, але із застосуванням норми органічних добрив, визначеної у варіанті 4.

У випадку вивчення дії специфічних видів органічних добрив, експеримент формується за такою схемою:

1) Напівперепрілий гній (контрольний варіант);

2) Рідкий гній (гноївка);

3) Пташиний послід;

4) Торф;

5) Торфо-земляні компости;

6) Солома злакових культур;

7) Зелена маса сидеральних культур;

8) Сапропель.

Предметом дослідження в експериментах можуть слугувати різні форми мінеральних добрив. Наприклад, у дослідженні азотних добрив до схеми необхідно інтегрувати добрива, що належать до шести основних груп:

1) Аміачні — рідкий аміак або водний аміак;

2) Амонійні — сульфат амонію або хлористий амоній;

3) Нітратні — натрієва чи кальцієва селітра;

4) Амонійно-нітратні — аміачна або кальцієво-аміачна селітра;

5) Амідні — карбамід (сечовина);

6) Аміакати — КАС (карбамідно-аміачна селітра).

При вивченні форм фосфорних добрив, типова схема експерименту може охоплювати наступні варіанти:

1) Водорозчинні добрива;

- 2) Напіврозчинні добрива;
- 3) Нерозчинні у воді добрива.

Об'єктом вивчення можуть також бути окремі різновиди фосфорних добрив із раніше згаданих груп. Наприклад, при аналізі виключно водорозчинних форм фосфорних добрив, до експериментальної схеми доцільно інтегрувати варіанти із застосуванням таких сполук: 1) простий гранульований суперфосфат; 2) подвійний (концентрований) суперфосфат; 3) амонізований суперфосфат; 4) суперфос.

У дослідженнях, присвячених добривам, об'єктами вивчення можуть також виступати ключові мікроелементи або їх специфічні форми. Експериментальна схема, що передбачає вивчення основних мікроелементів, може включати наступні варіанти: 1) бор; 2) марганець; 3) мідь; 4) цинк; 5) кобальт; 6) молібден; 7) залізо.

Самостійним напрямом досліджень може бути вивчення бактеріальних препаратів. У таких випадках, наприклад, можливим є порівняння різних методів інокуляції насіння бобових культур, таких як застосування нітрагіну та ризоторфіну. У двофакторному дослідженні, згадані бактеріальні агенти можуть виступати як фактор А, тоді як фактор Б може охоплювати різноманітні варіанти мікроелементів.

Планування та методологія моніторингу та оцінки параметрів.

Враховуючи, що внесення добрив переважно обумовлює зміни у поживному режимі ґрунту, інтегральною складовою досліджень у даному напрямку є планування вивчення статусу живлення рослин на ключових етапах їхнього онтогенезу. У процесі таких досліджень встановлюється рівень доступності для рослин нітратного та амонійного азоту, а також рухомих форм фосфору і калію. У дослідженнях, що передбачають довгострокове застосування добрив, здійснюється розрахунок балансу ключових поживних елементів у ґрунті.

У дослідженнях, що передбачають застосування мінеральних добрив, значна частина яких характеризується фізіологічною кислотністю, до обов'язкових дослідницьких програм інтегрується аналіз реакції ґрунтового розчину.

Подібний аналіз також передбачається в експериментах із застосуванням органічних добрив та вапнувальних матеріалів, зважаючи на те, що їхнє внесення безпосередньо спрямоване на оптимізацію кислотності ґрунтового середовища.

Неодмінною складовою експериментальних досліджень з різними видами агрохімікатів є оцінка мікробіологічної активності ґрунту, критеріями якої слугують швидкість розкладання органічних речовин (зокрема, целюлозних матеріалів, таких як лляні волокна), нітрифікаційна спроможність ґрунтового субстрату та інші релевантні показники.

В експериментах, що передбачають пролонговане застосування добрив (переважно стаціонарного характеру), паралельно з оцінкою ключових агрохімічних та агрофізичних характеристик ґрунтової родючості, обов'язковим є моніторинг трансформацій гумусового стану коренеактивного шару ґрунту, вивчення профільного розподілу есенціальних елементів живлення, аналіз міграції нітратних сполук за межі коренедоступної зони рослин, а також визначення концентрації важких металів у ґрунтовому субстраті.

При аналізі систем базового удобрення озимих агроценозів доцільно передбачати оцінку умов перезимівлі культурних рослин.

У посівах культур, схильних до вилягання за певних умов, дослідницька програма в експериментах з агрохімікатами повинна включати, окрім біометричних параметрів розвитку, оцінку резистентності рослин до вилягання.

Оскільки агрохімікати впливають на ріст як культивованих рослин, так і бур'янової рослинності, моніторинг ступеня забур'яненості посівів є також імперативним компонентом подібних експериментів.

Окрім кількісних показників продуктивності (врожайності), в експериментах з добривами аналізуються також якісні характеристики врожаю. Зокрема, при застосуванні азотних добрив є обов'язковим визначення рівня нітратів у рослинницькій продукції.

Оскільки поживні компоненти агрохімікатів не повністю асимілюються рослинами в рік їх внесення, тому в експериментальних умовах з добривами, окрім безпосередньої їх дії, слід враховувати і пролонгований ефект (післядію)

на наступні ротаційні культури. У цьому контексті програма досліджень має містити ідентичні спостереження та реєстрації показників, які були заплановані для оцінки прямої дії внесених агрохімікатів.

3.2.4 Організація дослідів з вивчення обробітку ґрунту

Сфера досліджень, присвячених обробітку ґрунту, характеризується значною варіативністю. Класифікація експериментальних досліджень у цій галузі може ґрунтуватися на цільовому призначенні обробітку — для ярих або озимих культур, а також на його функціональному характері (основний, передпосівний чи доглядовий обробіток). Кожна з цих категорій, у свою чергу, може бути деталізована за трьома основними параметрами: термінами виконання, глибиною впливу та застосовуваними методами обробітку.

Методологія експериментальних схем обробітку ґрунту під озимі культури детермінується типом попередньої культури та агрокліматичною зоною проведення досліджень. У контексті лісостепової зони типові схеми однофакторних експериментів, спрямованих на аналіз основного обробітку ґрунту під озиму пшеницю після різноманітних попередників, включають наступні варіанти.

При розміщенні озимої пшениці після конюшини першого року використання:

- 1) Відвальна оранка на глибину 24—25 см (контрольний варіант);
- 2) Безвідвальний обробіток на глибину 24—25 см;
- 3) Дискування важкими дисковими агрегатами на глибину 10—12 см;
- 4) Обробіток ґрунту на глибину 14—16 см за допомогою комбінованого агрегату, що включає плоскорізні робочі органи, голчасту борону та коток.

Для попередників, таких як горох та кукурудза на силос:

- 1) Поверхнєве дискування дисковими луцильниками (контрольний варіант);
- 2) Глибинне дискування важкими дисковими боронами;
- 3) Відвальна оранка на глибину 20—22 см;

4) Безвідвальний обробіток на глибину 20—22 см;

5) Інтегрований обробіток на глибину 14—16 см.

У разі організації елементарних двофакторних експериментів, що передбачають аналіз впливу двох варіантів способів та двох рівнів глибини обробітку ґрунту після багаторічних бобових трав та кукурудзи, вирощеної на зелену масу, доцільно застосовувати таку схему:

1) Відвальна оранка на глибину 20—22 см (контрольний варіант);

2) Відвальна оранка на глибину 14—16 см;

3) Безвідвальний (плоскорізний) обробіток на глибину 20—22 см;

4) Безвідвальний (плоскорізний) обробіток на глибину 14—16 см.

Дослідження оптимальних термінів виконання основного обробітку ґрунту після різних культур-попередників може базуватися на такій експериментальній схемі:

1) Негайне проведення обробітку ґрунту після збирання врожаю попередньої культури;

2) Обробіток ґрунту з інтервалом у дві доби після збирання попередника;

3) Обробіток ґрунту з інтервалом у чотири доби після збирання попередника;

4) Обробіток ґрунту з інтервалом у шість діб після збирання попередника.

Далі представлено типові *схеми експериментів з обробітку ґрунту під ярі сільськогосподарські культури*.

Дослідження методів зяблевого обробітку ґрунту для цукрових буряків може бути організоване за наступною експериментальною схемою:

1.Оранка в серпні на глибину 28—30 см (контрольний варіант).

2.Оранка в серпні на 28—30 см з подальшим коткуванням та наступними культиваціями, що проводяться за появи бур'янової рослинності (що відповідає напівпаровому обробітку).

3.Поверхневий обробіток лемішними знаряддями в серпні з одночасним коткуванням, культивація після появи бур'янів та оранка плугом з відвалом на 28—30 см на початку жовтня.

4.Серпневий обробіток на глибину 10—12 см важкими дисковими боронами з наступним коткуванням, культивуація після появи бур'янів та оранка плугом з відвалом на 28—30 см на початку жовтня.

5.Поверхневий обробіток лемішними знаряддями в серпні з одночасним коткуванням, культивуація після появи бур'янів та безвідвальний обробіток на глибину 28—30 см на початку жовтня.

У разі дослідження оптимальних глибин основного обробітку ґрунту під горох, схема однофакторного експерименту може містити такі варіанти:

1. Оранка на глибину 12—14 см.
2. Оранка на глибину 16—18 см.
3. Оранка на глибину 20—22 см (контрольний варіант).
4. Оранка на глибину 24—26 см.
5. Оранка на глибину 28—30 см.

В окремому експерименті на аналогічні глибини доцільно передбачити безвідвальний обробіток ґрунту.

Ефективність застосування різних методів весняного основного обробітку ґрунту як альтернативи зяблевому може бути оцінена в експерименті з наступними варіантами:

1. Зяблева оранка на глибину 20—22 см (контрольний варіант).
2. Весняна оранка на глибину 20—22 см.
3. Весняний безвідвальний плоскорізний обробіток на 20—22 см.
4. Весняний безвідвальний плоскорізний обробіток на 10—12 см.
5. Весняний обробіток важкими дисковими боронами на глибину 10—12 см.

Експериментальна схема для вивчення доцільності осіннього або весняного вирівнювання ріллі може передбачати такі варіації:

- 1.Ділянка не вирівнюється восени, а вирівнюється навесні за допомогою борін (контрольний варіант).
- 2.Вирівнювання ділянки культиватором восени та боронами навесні.
- 3.Вирівнювання ділянки восени без подальшого весняного вирівнювання.

Окреме дослідження може бути присвячене оцінці ефективності застосування різних технічних засобів для передпосівної підготовки ґрунту, зокрема:

1. Культиватора УСМК 5,4.
2. Культиватора КПС-4.
3. Шлейф-борін.
4. Борін Радченка (ВНЩ-Р).
5. Важких зубових борін.

Експеримент, спрямований на визначення оптимальної кількості допосівних проміжних культивацій (за винятком передпосівної) під пізні ярі культури (зокрема, кукурудзу, просо, гречку), може бути реалізований за такою схемою:

1. Відсутність проміжних культивацій.
2. Одна проміжна культивація (контрольний варіант).
3. Дві проміжних культивації.
4. Три проміжних культивації.

Під час експериментального дослідження впливу обробітку ґрунту на агроценозах просапних культур, до схеми експерименту доцільно інтегрувати варіанти, що передбачають варіативність кількості або глибини культивації міжрядь. В рамках вивчення міжрядних агротехнічних заходів, диференційованими об'єктами дослідження можуть виступати різноманітні робочі елементи просапних культиваторів, до яких належать, зокрема: 1) стрілчасті лапи; 2) лапи-бритви; 3) лапи-долота; 4) пружинні лапи.

У контексті дослідження ґрунтозахисних методів обробітку ґрунту, предметом вивчення можуть виступати як ізольовані агротехнічні операції, так і інтегровані комплекси таких заходів. У разі зосередження на індивідуальних прийомах обробітку, експериментальна схема повинна передбачати диференційовані варіанти полицевої та безполицевої оранки на різну глибину, а також методи, що застосовують знаряддя з відмінним ступенем розпушення верхнього горизонту ґрунту. Як ілюстрація, наводиться схема однофакторного експерименту, що передбачає вивчення таких варіантів базового обробітку ґрунту: 1) традиційна полицева оранка на глибину 20—22 см (контрольний

варіант); 2) безвідвальна оранка плугами на 20—22 см; 3) плоскорізне розпушення на 20—22 см; 4) дискування важкими дисковими боронами.

У випадку компаративного аналізу різних систем ґрунтозахисної обробки ґрунту, експериментальні варіанти мають відрізнятися винятково тими агротехнічними прийомами, що здатні істотно впливати на ерозійну стійкість поверхневого шару ґрунту.

У ситуації, коли метою дослідника є аналіз опірності ґрунту вітровій ерозії в умовах застосування різних систем осіннього обробітку після зернових попередників, необхідно сформувавши сукупність експериментальних варіантів, що гарантуватимуть диференційований рівень збереження пожнивних решток на поверхні ґрунту. Наведеним критеріям, наприклад, відповідає схема, що включає чотири варіанти: 1) дворазовий обробіток: дискове лушення пожнивних решток з подальшою полицевою оранкою на глибину 20—22 см (контроль); 2) дворазовий обробіток: дискове лушення пожнивних решток з подальшим плоскорізним розпушенням на 20—22 см; 3) одноразове плоскорізне розпушення на 20—22 см без попереднього лушення стерні; 4) одноразове плоскорізне розпушення на глибину 14—16 см без попереднього лушення стерні.

На територіях, схильних до водної ерозії, антиерозійні прийоми осіннього обробітку ґрунту в експериментальних умовах доцільно досліджувати за такою типовою схемою:

- 1) Полицева оранка на встановлену глибину;
- 2) Аналогічний обробіток із ґрунтопоглибленням;
- 3) Створення переривчастих борозен;
- 4) Формування валків;
- 5) Утворення лунок;
- 6) Безполицевий обробіток із залишенням пожнивних решток на поверхні поля.

Встановлено, що на посівах озимих культур та багаторічних трав як протиерозійний агротехнічний захід практикують щільовання ґрунтового покриву. Дослідження ефективності даної агротехнології доцільно проводити з

урахуванням глибини аплікації щілин або інтенсивності їх виконання на полі. Прикладом експериментальної схеми для вивчення глибини може слугувати наступна:

- 1) контрольний варіант (без щілювання);
- 2) щілювання на глибину 30 см;
- 3) щілювання на глибину 40 см;
- 4) щілювання на глибину 50 см;
- 5) щілювання на глибину 60 см.

Окрім того, варіації щілювання можуть бути комбіновані з елементами кротування.

Одним з першочергових напрямків сучасних агрономічних досліджень у сфері обробітку ґрунту є його мінімізація. З огляду на розробку різноманітних підходів до мінімізації ґрунтообробітку, об'єкти досліджень у відповідних експериментах можуть варіювати. До них належать: скорочення глибини або кількості обробіток, застосування комбінованих ґрунтообробних агрегатів, а також прямиї посів насіння без попередньої передпосівної підготовки.

Відповідно, до експериментальної схеми з вивчення мінімізації обробітку ґрунту для ярого ячменю, що вирощується після кукурудзи, зібраної на силос у фазі молочно-воскової стиглості зерна, доцільно включати наступні варіанти:

- 1) оранка на глибину 24–25 см (контрольний варіант);
- 2) оранка на глибину 20–22 см;
- 3) оранка на глибину 16–18 см;
- 4) дисковий обробіток важкими агрегатами;
- 5) без обробітку ґрунту.

За потреби, зазначена експериментальна схема може бути сегментована на два самостійні дослідження. При цьому перше дослідження охоплювало б виключно перші три варіанти, спрямовані на вивчення ефективності редукції глибини оранки для ячменю. Решта ж варіантів, у поєднанні з оранкою на визначену глибину, могли б сформувати схему окремого дослідження,

присвяченого мінімізації обробітку шляхом заміни традиційної оранки менш енергоємними методами або повного виключення основного обробітку ґрунту.

Окремі дослідні схеми можуть передбачати варіації мінімізації за рахунок зменшення глибини передпосівного або післяпосівного обробітку, або ж виключно їхньої кількості.

Моніторинг та оцінка показників. Зважаючи на потенційно суттєві зміни фізичного стану верхнього шару ґрунту внаслідок його обробітку, що впливають на водно-повітряний режим та мікробіологічну активність, обов'язкова дослідницька програма має включати аналіз таких аспектів:

- ✓ морфології ґрунту на глибину максимального обробітку, включаючи співвідношення пор і твердої фази, капілярної та некапілярної пористості, а також об'єму води та повітря у ґрунтових проміжках;
- ✓ об'ємної маси 30-сантиметрового шару ґрунту безпосередньо після обробітку, а також на початку, в середині та наприкінці вегетаційного періоду культури;
- ✓ ґрунтової структури та її агрегатостійкості до гідролітичного впливу;
- ✓ водопроникності ґрунтового профілю;
- ✓ вологості коренеактивного шару ґрунту на момент посіву та у ключові фази розвитку рослин.

В експериментах, спрямованих на вивчення методів та глибин основного обробітку, до переліку обов'язкових досліджень варто включити аналіз якості заробки рослинних решток попередника та органічних добрив. У досліді із варіаціями передпосівного обробітку ґрунту необхідно також оцінювати якість загортання насіння.

Ключові аспекти аналізу в дослідженнях систем обробітку ґрунту включають оцінку засміченості посівів, а також розподілу діаспор бур'янів у ґрунтовому профілі оброблюваного шару та вивчення стійкості ґрунту до деградації внаслідок водної та вітрової ерозії.

Як допоміжні дослідження, доцільно планувати вивчення дистрибуції добрив у ґрунтовому профілі та розподілу ключових макроелементів живлення в межах

оброблюваного шару. Однак, при порівнянні конвенційних та мінімальних систем обробітку, такі дослідження набувають статусу обов'язкових.

Ростові процеси культур та формування продуктивності в експериментах з обробітку ґрунту оцінюються за ідентичними критеріями, що й у раніше згаданих дослідженнях.

В експериментах з дослідження протиерозійних систем обробітку рекомендується інтегрувати вивчення динаміки переміщення ґрунтових частинок на поверхні агроландшафту (при оцінці ефективності заходів щодо запобігання вітрової ерозії) та інтенсивності змиву ґрунтового покриву (при аналізі заходів, спрямованих на боротьбу з водною ерозією).

3.2.5 Досліди з вивчення строків сівби (садіння)

У межах експериментальних досліджень, спрямованих на визначення оптимальних термінів посіву або висаджування, дослідними об'єктами виступають сільськогосподарські культури, що можуть бути категоризовані за такими основними групами: озимі, ярі ранніх строків дозрівання та ярі пізніх строків дозрівання. Окрему категорію дослідних об'єктів у таких випробуваннях можуть складати посіви проміжних культур (післяукісні та післяжнивні).

При вивченні термінів посіву озимих культур, як контрольний варіант застосовується середня дата рекомендованого для відповідної природно-економічної зони періоду сівби. Наприклад, для регіонів південного Лісостепу, при вивченні озимої пшениці, контрольним строком сівби є 15 вересня, що відповідає оптимальному посівному періоду для цієї культури (10-20 вересня).

Інтервал між варіантами посіву для всіх озимих культур рекомендується встановлювати в діапазоні 3-5 діб. Його збільшення вважається недоцільним, хоча в попередніх або розвідувальних дослідженнях допускається розширення цього інтервалу до 10 діб.

До структури експериментальної схеми необхідно обов'язково включати 2-3 варіанти з ранішими та 3-4 варіанти з пізнішими термінами посіву відносно контролю.

Загальна тривалість періоду досліджуваних термінів посіву може варіюватися: бути дещо більшою для озимих культур, призначених на зелений корм, та меншою для озимих зернових культур. Зокрема, довшою для ячменю або жита, та коротшою для озимої пшениці. Загальна кількість варіантів у дослідженнях з озимими культурами зазвичай становить 6-10.

При встановленні інтервалу між варіантами посіву озимої пшениці в 5 днів для лісостепових регіонів, типова експериментальна схема може охоплювати наступні дати: 1) 5 вересня; 2) 10 вересня; 3) 15 вересня (контроль); 4) 20 вересня; 5) 25 вересня; 6) 30 вересня; 7) 5 жовтня.

При плануванні досліджень щодо термінів посіву ярих культур нерелевантним є прив'язування варіантів до фіксованих календарних дат. Натомість, більш обґрунтованим підходом є визначення термінів посіву на основі термічного режиму ґрунтового шару. Це зумовлено значною міжрічною варіабельністю: в один рік ґрунт на глибині заробки насіння може прогріватися до 10 °С вже у першій декаді квітня, тоді як в інший рік аналогічна температура може не фіксуватися навіть наприкінці цього місяця. З огляду на це, планування посіву ярої культури на одну й ту саму календарну дату протягом кількох послідовних років є методологічно недоцільним.

Відповідно, щорічне використання актуальних даних про досягнення оптимального температурного режиму ґрунту для проростання насіння досліджуваної культури є науково обґрунтованим підходом. Цей показник температури ґрунту на глибині заробки насіння слід розглядати як контрольний варіант в експерименті. Дослідні варіанти з диференціацією в 1—2 °С відносно контрольного показника можуть бути структуровані симетрично, згідно з наступною загальною схемою:

1. Оптимальний температурний показник ґрунту на глибині заробки насіння (контроль);

2. Температура, нижча за оптимальну на 1—2 °С;
3. Аналогічно, нижча на 2—4 °С;
4. Температура, вища за оптимальну на 1—2 °С;
5. Аналогічно, вища на 2—4 °С;
6. Аналогічно, вища на 4—6 °С.

Щодо пізніх ярих культур, додатковою методологією визначення термінів посіву є моніторинг інтенсивності проростання насіння сегетальних видів. Це пояснюється тим, що оптимальний період для їх посіву корелює з фазою інтенсивного проростання насіння переважної більшості бур'янів. У цьому контексті, доцільно застосовувати таку експериментальну схему:

1. Фаза відсутності проростання насіння сегетальних рослин;
2. Фіксація поодиноких проростків сегетальних рослин у ґрунті на етапі білої ниточки;
3. Масове проростання сегетальних рослин у ґрунті на етапі білої ниточки;
4. Поява поодиноких сходів сегетальних рослин над поверхнею ґрунту;
5. Масове формування сходів сегетальних рослин над поверхнею ґрунту.

Проведення подібних досліджень є особливо актуальним на земельних масивах, які характеризуються високим ступенем засміченості насінням бур'янів, що забезпечить можливість оцінки термінів посіву як ефективного агротехнічного заходу контролю забур'яненості.

Методичні підходи до спостережень та обліків. У експериментальних дослідженнях, присвячених оптимізації термінів сівби чи садіння, основна увага експериментальної роботи зосереджується на динаміці ростових процесів та продуктивності культури. Водночас, з комплексу екологічних факторів передбачається аналіз лише фітосанітарного стану та окремих аспектів водного балансу. Оскільки терміни сівби можуть модифікувати вологість посівного горизонту ґрунту, кількісна оцінка запасів доступної вологи у верхньому ґрунтовому шарі є імперативним елементом програми досліджень.

У межах фітосанітарних досліджень, що проводяться у подібних експериментах, обов'язковим є моніторинг ступеня забур'яненості посівів ярих

культур. Це зумовлено тим, що зміщення термінів сівби на пізніші дати може сприяти стимулюванню проростання насіння бур'янів у передпосівний період. І навпаки, рання сівба культури часто корелює зі збільшенням інтенсивності проростання бур'янів безпосередньо у посівах.

Окрім аналізу бур'янової рослинності, у дослідженнях термінів сівби необхідно передбачати проведення фітопатологічних та ентомологічних обстежень. Це зумовлено тим, що терміни сівби здатні модифікувати фенологічний розвиток рослин, створюючи таким чином диференційовані умови для інвазії та прогресування хвороб, а також заселення шкідниками у різних варіантах експерименту.

Поряд з фенологічними спостереженнями, обліком показників урожайності та детальним аналізом якості отриманої продукції, у подібних дослідженнях необхідно враховувати густоту рослинного покриву (густоту сходів), встановлювати ключові біометричні параметри розвитку рослин, а також оцінювати посіви на предмет їхньої стійкості до вилягання. При проведенні експериментів з озимими культурами, критично важливим є визначення ступеня їхньої перезимівлі. З огляду на це, значна увага приділяється дослідженню температурного режиму протягом зимового періоду, включаючи обов'язкове вимірювання температури ґрунту на глибині розташування вузла куштиння.

До біометричних обліків у дослідженнях, що стосуються термінів сівби злакових культур, обов'язково включають вивчення розвитку вторинної кореневої системи рослин, функціонування якої значною мірою залежить від досліджуваного агротехнічного заходу.

3.2.6 Організація дослідів з вивчення глибини сівби (садіння)

При плануванні експериментів, що стосуються оптимальної глибини висіву, досліднику необхідно враховувати розмір насінневого матеріалу. Існує пряма залежність: чим дрібніше насіння, тим вужчим є діапазон допустимих мінімальних і максимальних глибин його заробки, і навпаки.

Наприклад, у дослідженнях з дрібнонасіневими культурами, такими як конюшина або люцерна, діапазон досліджуваних глибин заробки може варіювати від 1 до 4—5 см. Водночас, для кукурудзи, насіння якої має значно крупніші розміри, діапазон варіювання глибини є суттєво ширшим — від 2 до 10—12 см.

Розмір насіння також визначає величину експериментального кроку (інтервалу) між варіантами: крупніше насіння вимагає більшого кроку, тоді як для дрібного насіння доцільно застосовувати менший крок. Так, для кукурудзи інтервал між послідовними варіантами може становити 1—2 см, тоді як для конюшини він зазвичай складає 0,5 см.

Нижче наводяться типові експериментальні схеми для визначення оптимальної глибини заробки насіння вищезгаданих культур:

Експериментальна схема для кукурудзи:

1) 1—2 см; 2) 2—3 см; 3) 3—4 см; 4) 4-5 см; 5) 5-6 см; 6) 6-7 см; 7) 7-8 см; 8) 8-9 см; 9) 9-10 см; 10) 10-11 см; 11) 11-12 см.

Експериментальна схема для конюшини:

1) 0,5—1,0 см; 2) 1,0—1,5 см; 3) 1,5—2,0 см; 4) 2,0-2,5 см; 5) 2,5-3,0 см; 6) 3,0-3,5 см; 7) 3,5-4,0 см; 8) 4,0-4,5 см; 9) 4,5-5,0 см.

При вивченні глибини висаджування бульб картоплі, діапазон може сягати від 2—3 до 18—20 см, при цьому застосовується порівняно значний експериментальний крок у 2—3 см.

Обліки і спостереження. У дослідженнях, що стосуються глибини посіву насіння, моніторинг динаміки проростання є обов'язковим, оскільки від цього параметра безпосередньо залежить схожість культур. Необхідними є також фенологічні обліки та оцінка ключових морфометричних показників, що характеризують приріст вегетативної маси. Для всебічного аналізу процесу

урожаєутворення важливо враховувати не лише загальну величину врожаю, а й його структурні компоненти.

При вивченні злакових культур в умовах варіювання глибини загортання насіння обов'язково планується визначення глибини залягання вузла кущіння та коефіцієнта кущистості.

Для озимих культур програма обов'язкових досліджень включає спостереження за чинниками перезимівлі, такими як наявність і стабільність снігового покриву, формування пригрунтової льодової кірки, акумуляція талих вод на поверхні ґрунту, а також температурний режим ґрунту на глибині розташування вузла кущіння.

У дослідях з цукровими буряками, окрім визначення маси коренеплодів, аналізуються їхня форма та особливості локалізації в ґрунті — наскільки мілко чи глибоко вони розміщені, а також рівномірність їхнього розташування відносно поверхні ґрунту.

Для картоплі до переліку обов'язкових обліків та спостережень входять підрахунок числа стебел у кущі, глибина розміщення столонів та формування бульб, кількість бульб у кущі, їхні розміри, форма та маса.

Незалежно від ботанічної належності культур, у дослідях з глибиною загортання насіння обов'язковими є вимірювання вологості ґрунту на глибині посіву, комплексне вивчення кореневої системи (включаючи розподіл коренів та їхню масу в шарі 0–40 см, а за можливості й глибше), а також оцінка ступеня ураження коренів хворобами (наприклад, коренеїдом, кореневими гнилями) та ґрунтовими шкідниками (як-от дротяниками, капустянками). При цьому фітопатологічні та ентомологічні обстеження слід пріоритетно зосереджувати на ранніх етапах розвитку кореневої системи – у період проростання та формування сходів, оскільки молоді первинні кореневі системи є найбільш сприйнятливими до дії шкідливих консументів.

До програми обов'язкових досліджень на посівах високорослих культур також додається оцінка стійкості рослин до полягання, зважаючи на те, що у багатьох культур (зокрема, кукурудзи, соняшнику) при поверхневому посіві

рослини схильні до полягання навіть під впливом помірних вітрових навантажень.

3.2.7 Досліди з вивчення способів сівби (садіння)

Методи посіву зумовлюються численними факторами, серед яких ключовим є рівень забур'яненості ґрунту насінням небажаної рослинності. Відтак, у випадках значного потенційного засмічення посівних площ, доцільно обирати такий спосіб посіву, який забезпечить ефективний контроль бур'янів протягом вегетаційного періоду за допомогою механічних засобів. Це особливо актуально в умовах органічного землеробства або при обмеженій доступності високоєфективних гербіцидних препаратів для аграрних підприємств.

Залежно від специфіки культури та особливостей її агротехніки, до експериментальної схеми можуть бути включені різноманітні варіанти. Наприклад, якщо традиційним для досліджуваного регіону був звичайний рядковий метод посіву для досліджуваної культури (що виступає контрольним варіантом в експерименті), то з ним можуть бути співставлені різні варіації стрічкових, перехресних та широкорядних способів. У дослідженнях, де планується культивування просапних культур, до схеми раціонально інтегрувати квадратно-гніздовий, стрічковий та пунктирний способи посіву з варіативною шириною міжрядь.

З представлених нижче багатоваріантних експериментальних схем для окремих категорій просапних культур та для звичайного рядкового методу посіву дослідник має можливість обрати найбільш релевантні варіанти.

Експериментальна схема для культур, що вирощуються традиційним рядковим способом посіву:

- 1) Рядковий спосіб з міжряддями 15 см (контрольний варіант);
- 2) Рядковий спосіб з міжряддями 7,5 см;
- 3) Рядковий спосіб з міжряддями 22,5 см.

У дослідженнях, що передбачають стрічковий метод посіву, можуть бути вивчені наступні схеми:

- 1) 30-15-15 см;
- 2) 45-15-15 см;
- 3) 30-7,5-7,5 см;
- 4) 30-7,5-7,5-7,5 см;
- 5) 30-7,5-7,5-7,5-7,5 см;
- 6) 45-7,5-7,5-7,5-7,5 см;
- 7) 45-7,5-7,5-7,5-7,5-7,5 см;
- 8) 45-7,5-7,5-7,5-7,5-7,5-7,5 см.

Експериментальна схема для досліджень культур із широкорядним способом сівби може включати наступні варіанти:

- 1) Точний посів (пунктирний) з міжрядною відстанню 45 см;
- 2) Точний посів (пунктирний) з міжрядною відстанню 60 см;
- 3) Точний посів (пунктирний) з міжрядною відстанню 70 см;
- 4) Точний посів (пунктирний) з міжрядною відстанню 140 см;
- 5) Точний посів (пунктирний) з міжрядною відстанню 210 см;
- 6) Квадратно-гніздовий посів з міжрядною відстанню 45 см;
- 7) Квадратно-гніздовий посів з міжрядною відстанню 60 см;
- 8) Квадратно-гніздовий посів з міжрядною відстанню 70 см.

У дослідженнях з картоплею до схеми додатково можуть бути інтегровані такі методи садіння:

- 1) Традиційний (безгребневий) з міжрядною відстанню 45 см;
- 2) Традиційний (безгребневий) з міжрядною відстанню 60 см;
- 3) Традиційний (безгребневий) з міжрядною відстанню 70 см;
- 4) Напівгребневий з міжрядною відстанню 45 см;
- 5) Напівгребневий з міжрядною відстанню 60 см;
- 6) Напівгребневий з міжрядною відстанню 70 см;
- 7) Гребневий з міжрядною відстанню 45 см;
- 8) Гребневий з міжрядною відстанню 60 см;

9) Гребневий з міжрядною відстанню 70 см.

Окремі просапні польові культури (у зоні бурякосіяння до них належать і цукрові буряки) можуть вирощуватися розсадним методом. Цей підхід є недостатньо поширеним та малодослідженим в умовах лісостепової зони. Його вивчення може здійснюватися в рамках тимчасових експериментів, схема яких, наприклад, охоплює такі варіанти посіву насіння та висадки розсади:

- 1) Прямий посів насіння на остаточну густоту з міжрядною відстанню 45 см;
- 2) Прямий посів насіння на остаточну густоту з міжрядною відстанню 60 см;
- 3) Прямий посів насіння на остаточну густоту з міжрядною відстанню 70 см;
- 4) Висадка розсади з міжрядною відстанню 45 см;
- 5) Висадка розсади з міжрядною відстанню 60 см;
- 6) Висадка розсади з міжрядною відстанню 70 см.

Експериментальні схеми для вивчення методів посіву багаторічних трав мають передбачати різноманітні варіанти підпокровного посіву та чистих посівів (монокультур). Чисті посіви, своєю чергою, можуть бути весняного та літнього термінів із міжряддями 15, 30, 45 та 60 см.

На рисових чеках різні варіанти рядкового посіву можна зіставити з авіаційним розкидом насіння рису на попередньо затоплених невеликим шаром води ділянках.

Методологічна основа спостережень та збору даних. У експериментальних дослідженнях, зосереджених на методах посіву та посадки, критично важливим є аналіз засміченості агроценозів, а також оцінка ефективності використання вологи для біомасоутворення. Істотне значення надається моніторингу проходження рослинами ключових фенологічних фаз та оцінці виживання рослин упродовж вегетаційного циклу. Однак, пріоритетним у подібних експериментах є збір даних щодо показників, що відбивають динаміку накопичення вегетативної маси та формування ключових компонентів структури врожайності досліджуваної культури.

Серед першочергових біометричних параметрів, що підлягають реєстрації, виділяють густоту агроценозу, лінійні розміри рослин (зокрема, висоту), число

листоків та площу листової поверхні на індивідуальну рослину, а також коефіцієнт кушення для злакових культур.

У експериментах із культурою картоплі оцінка формування врожаю здійснюється на основі таких критеріїв, як глибина залягання бульб, кількість бульб на рослину, середня маса окремої бульби, а також вихід товарної фракції та насінневого матеріалу.

Серед методів статистичного аналізу, що найчастіше застосовуються в цих дослідженнях, слід виокремити кореляційний аналіз, який дозволяє виявити та кількісно оцінити взаємозалежності між певними параметрами росту рослин та їх продуктивним потенціалом.

3.2.8 Організація дослідів з вивчення гербіцидів

Предметом дослідження в експериментах із гербіцидами можуть виступати такі параметри, як дозування активної речовини, терміни та методи внесення гербіцидів або їхніх комбінацій. Типові схеми одноваріантних досліджень для вищезгаданих об'єктів аналізу представлені нижче.

Дослідження дозування гербіцидів:

- 1) Рекомендована доза (контрольний варіант);
- 2) 0,5 від рекомендованої дози;
- 3) 0,75 від рекомендованої дози;
- 4) 1,25 від рекомендованої дози;
- 5) 1,5 від рекомендованої дози;
- 6) 1,75 від рекомендованої дози;
- 7) 2 рекомендованої дози;
- 8) Варіант без гербіцидного обробітку.

При плануванні експериментів із дозуванням гербіцидів рекомендується обирати найменший можливий крок між варіантами.

Вивчення термінів внесення гербіцидів:

- 1) Рекомендований термін (контрольний варіант);
- 2) Ранній;
- 3) Дуже ранній;
- 4) Пізніший;
- 5) Дуже пізній;
- 6) Варіант без гербіцидного обробітку.

Дослідження гербіцидних сумішей:

- 1) Рекомендована доза першого препарату;
- 2) Рекомендована доза другого препарату;
- 3) Рекомендована доза третього препарату;
- 4) Половинні (0,5 від рекомендованої) дози першого та другого препаратів;
- 5) Половинні (0,5 від рекомендованої) дози першого та третього препаратів;
- 6) Половинні (0,5 від рекомендованої) дози другого та третього препаратів;
- 7) Третинні (1/3 від рекомендованої) дози першого, другого та третього препаратів;
- 8) Варіант без гербіцидного обробітку.

Під час планування будь-яких досліджень із гербіцидами необхідно враховувати, що результативність препаратів значною мірою залежить від умов їх застосування, які також можуть виступати як самостійні експериментальні фактори.

Відповідно до наукових джерел, ефективність стандартної дози гербіциду на ґрунтах з варіативним вмістом органічної речовини (гумусу) демонструє значну відмінність. Водночас, довідникові матеріали з гербіцидів переважно не враховують показники вмісту гумусу в ґрунті під час визначення рекомендованих норм застосування. Ця розбіжність підкреслює актуальність дослідження результативності різних доз одного й того ж гербіцидного препарату в залежності від рівня органічної речовини в ґрунті.

Для проведення такого аналізу найбільш доцільною є застосування наступної загальної схеми двофакторного експерименту:

Фактор А (доза внесення гербіциду):

1. Рекомендована норма;
2. 50% від рекомендованої норми;
3. 75% від рекомендованої норми;
4. 125% від рекомендованої норми;
5. 150% від рекомендованої норми;
6. Контроль (без застосування гербіциду).

Фактор Б (рівень гумусованості ґрунту):

1. Низький;
2. Середній;
3. Високий.

У рамках дослідження вивчаються всі можливі комбінації цих факторів, що формує 18 експериментальних варіантів.

Слід зазначити, що інтервали градації норм внесення гербіцидів можуть варіюватися в залежності від абсолютного значення рекомендованої дози: для вищих рекомендованих норм доцільною є ширша градація, тоді як для нижчих норм — вужча.

Альтернативно, вплив норм гербіцидів може бути досліджено у взаємозв'язку з гранулометричним складом ґрунту. У цьому контексті, Фактор А залишається шкалою норм гербіцидів (із застосуванням аналогічної градації, як і в попередній схемі), а Фактор Б включатиме різні типи ґрунтів за механічним складом: легкі, середні та важкі.

Якщо дослідник прагне встановити оптимальні норми гербіцидів з урахуванням температурного режиму або вологості ґрунту, Фактор Б у двофакторній схемі буде модифіковано. Для вивчення температурної залежності Фактор Б представлятиме різні градації температури ґрунту з кроком експерименту 0,5—1 °С. При аналізі впливу вологості ґрунту, Фактор Б визначатиметься показниками вологості на глибині заробки гербіцидів, з кроком експерименту 1—2 %.

Дослідження гербіцидів також може передбачати порівняння ефективності різних препаратів щодо конкретних груп бур'янів. Наприклад, при необхідності

відбору найбільш дієвих гербіцидів для контролю двосім'ядольних бур'янів на посівах озимої пшениці, за еталон (контроль) слід обирати препарат, що є найбільш розповсюдженим та апробованим у даній агроценологічній зоні. Інші гербіциди, що мають менше поширення або є недостатньо вивченими, але потенційно придатними для боротьби з двосім'ядольними бур'янами у посівах зернових колосових культур згідно з науковою та довідковою літературою, доцільно включати до групи експериментальних варіантів.

Згідно з аналогічним методологічним підходом формуються експериментальні схеми, призначені для порівняння ефективності агрохімікатів на посівах інших сільськогосподарських культур.

Особливе значення мають дослідження, що оцінюють результативність сумісного застосування гербіцидів та добрив. У цьому контексті, рекомендується закладати двофакторні експерименти, де першим фактором (А) виступають окремі гербіцидні засоби, їхні норми або комбінації, а другим фактором (Б) – певні елементи живлення (азот, фосфор, калій тощо) чи їхні дозові режими. Наприклад, якщо дослідник планує вивчити вплив двох доз аміної солі 2,4-Д на посівах озимої пшениці у взаємодії з різними обсягами внесених азотних добрив, то за наявності трьох градацій азотного живлення, загальний дизайн такого експерименту може включати наступні варіанти:

- 1) Контрольний варіант (без гербіциду та азоту);
- 2) Перша доза гербіциду без азоту;
- 3) Друга доза гербіциду без азоту;
- 4) Без гербіциду на фоні першого рівня азоту;
- 5) Перша доза гербіциду на фоні першого рівня азоту;
- 6) Друга доза гербіциду на фоні першого рівня азоту;
- 7) Без гербіциду на фоні другого рівня азоту;
- 8) Перша доза гербіциду на фоні другого рівня азоту;
- 9) Друга доза гербіциду на фоні другого рівня азоту;
- 10) Без гербіциду на фоні третього рівня добрив;
- 11) Перша доза гербіциду на фоні третього рівня добрив;

12) Друга доза гербіциду на фоні третього рівня добрив.

В експериментальних умовах також можливе одночасне вивчення результативності гербіцидів та систем зрошення. У такому випадку першим фактором (А) будуть різні варіанти гербіцидних обробок, а другим фактором (Б) — режими іригації (із застосуванням зрошення або без нього, різні поливні норми води тощо).

З метою оптимізації витрат пестицидів та забезпечення екологічної безпеки на посівах просапних культур, необхідно досліджувати ефективність внесення гербіцидів як суцільним, так і смуговим методами. Типова схема такого експерименту може включати такі варіанти:

- 1) Контроль (без гербіцидів);
- 2) Суцільний метод внесення гербіцидів;
- 3) Смуговий метод внесення гербіцидів.

Слід зазначити, що останній варіант у вищезазначеній схемі може передбачати різні градації ширини смуги обробки.

Для об'єктивної оцінки стимулюючої або фітотоксичної дії досліджуваних гербіцидних засобів (враховуючи різні дози, терміни та методи аплікації), до вищеописаних експериментальних схем додатково впроваджується варіант (або їх сукупність), де на ділянках без застосування гербіцидів бур'яни видаляються вручну.

Протоколи моніторингу та оцінки. З огляду на першочергову функцію гербіцидів як засобів контролю бур'янової рослинності, експериментальні дослідження в цій галузі повинні включати систематичне оцінювання ступеня забур'яненості агроценозів. Зазначене дослідження виконується різноманітними методологічними підходами багаторазово протягом вегетаційного періоду, охоплюючи ключові фенологічні стадії розвитку культивованих рослин. У випадках післясходового внесення гербіцидів, визначення рівня забур'яненості проводиться також до застосування агрохімікатів.

Окрім кількісних та вагових показників забур'яненості агроценозів, в експериментах з гербіцидами необхідно враховувати репродуктивний потенціал

бур'янів, а саме їхню насіннєву продуктивність. Цей аспект значною мірою детермінує потенційний рівень забур'яненості наступних культурних ротацій.

З огляду на потенційну здатність гербіцидів впливати на культивовані рослини як інгібітори або стимулятори росту, обов'язковим компонентом експериментів є моніторинг та реєстрація динаміки росту і розвитку цільової культури.

Елімінація бур'янового компонента за допомогою гербіцидів здатна істотно модифікувати водно-поживний режим ґрунтового субстрату. З цієї причини в рамках експериментальних протоколів передбачається також оцінка запасів ґрунтової вологи в кореновому шарі та доступності основних поживних елементів для культурних рослин.

Невід'ємною складовою досліджень у цій сфері є аналіз характеристик мікробіологічної активності в орному горизонті ґрунту. Зокрема, слід визначати інтенсивність ґрунтового дихання (за швидкістю емісії вуглекислого газу), целюлозолітичну активність мікроорганізмів та нітрифікаційну спроможність ґрунту.

Крім традиційного обліку врожайності та визначення ключових параметрів якості, у дослідженнях з гербіцидами аграрна продукція підлягає аналізу на наявність залишкових концентрацій діючих речовин. Такі аналітичні процедури здійснюються у спеціалізованих акредитованих лабораторіях, висновки яких є підставою для дозволу використання сільськогосподарської продукції в харчовій та кормовій промисловості.

3.2.9 Досліди з вивчення хімічного захисту рослин

У сфері дослідження хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР) проти хвороб та шкідливих організмів перед науковцями стоїть ряд ключових завдань:

- а) оптимізація дозувань (норм витрати) препаратів, що рекомендуються до використання;
- б) встановлення найбільш ефективних строків аплікації (застосування) рекомендованих засобів;

в) ідентифікація найефективніших препаратів з числа доступних або рекомендованих.

Реалізація цих завдань часто здійснюється за допомогою двофакторних експериментів, де чинником А виступають варіації норм застосування препарату, а чинником Б – строки його внесення.

Наприклад, при плануванні дослідження оптимальних параметрів дозувань та строків використання 2,5%-ї концентрованої емульсії Деціса на посівах озимої пшениці з метою контролю злакових мух, експериментальна схема може включати такі варіанти:

- 1) 0,15 л/га у фенофазі 1–2 листків;
- 2) 0,15 л/га у фенофазі 2–3 листків;
- 3) 0,20 л/га у фенофазі 1–2 листків;
- 4) 0,20 л/га у фенофазі 2–3 листків;
- 5) 0,25 л/га у фенофазі 1–2 листків;
- 6) 0,25 л/га у фенофазі 2–3 листків;
- 7) контрольний варіант без хімічної обробки.

Однофакторні польові дослідження, спрямовані на порівняння ефективності різноманітних препаратів, також є поширеною методологією. Прикладом може слугувати експеримент з вивчення дії інсектицидів на посадках картоплі проти колорадського жука, що включає такі варіанти: 1) Актара; 2) Карате; 3) Конфідор; 4) Моспілан; 5) Банкол; 6) необроблений контроль.

Аналогічна схема може застосовуватися для оцінки п'яти різних препаратів для фунгіцидного протруювання насіння озимої пшениці для захисту від кореневих гнилей: 1) Вінцит; 2) Дивіденд; 3) Вітавакс 200 ФФ; 4) Раксил; 5) Байтан-Універсал; 6) контроль без хімічної обробки насіння.

Дослідження ефективності різних протруйників насіння може бути розширене до двофакторного дизайну, де чинником Б виступатимуть різні полімерні плівкоутворювачі або регулятори росту.

Окрему категорію становлять дослідження комплексного застосування ХЗЗР. Наприклад, схема такого експерименту на посівах кукурудзи може передбачати такі комбінації:

1) протруювання насіння препаратом Вітавакс 200 ФФ з подальшим обприскуванням посівів Децісом у фенофазі 2–3 листків;

2) протруювання насіння Раксиллом із подальшим обприскуванням посівів Бі-58 у вищезазначений період;

3–4) комбінації протруювання Вітаваксом 200 ФФ з обприскуванням Бі-58, та протруювання Раксиллом з обприскуванням Децісом відповідно.

Ефективність ХЗЗР також доцільно досліджувати в інтеграції з агротехнічними заходами. У такому двофакторному експерименті чинником Б можуть бути такі агротехнічні параметри, як попередники, методи обробітку ґрунту, строки сівби та інші. Наприклад, при вивченні ефективності різноманітних норм хімічних препаратів у контексті впливу попередників озимої пшениці, чинник А має охоплювати як рекомендовані, так і занижені/завищені норми препаратів, тоді як чинник Б – різні категорії попередників, наприклад, раннього, середнього та пізнього строку збирання.

Крім того, варіювання норм ХЗЗР можна досліджувати у залежності від сортових особливостей культури. У цьому випадку кожна норма препарату (чинник А) аналізуватиметься на фоні існуючих (зареєстрованих) та перспективних сортів (чинник Б).

Пріоритетними є дослідження, що сфокусовані на порівнянні ефективності хімічних та біологічних методів захисту рослин від шкідливих організмів, особливо зважаючи на зростаючу роль біологічного контролю як альтернативного рішення в умовах біологізації сільськогосподарського виробництва. Наприклад, у випадку дослідження, спрямованого на зіставлення впливу різних концентрацій інсектициду (такого як децис) та норм інтродукції ентомофага (трихограми) для контролю кукурудзяного метелика на посівах кукурудзи, експериментальна схема може передбачати наступні варіанти:

1) застосування децису у дозі 0,5 л/га;

- 2) застосування децису у дозі 0,6 л/га;
- 3) застосування децису у дозі 0,7 л/га;
- 4) випуск трихограми з нормою 50 тис. особин/га;
- 5) випуск трихограми з нормою 100 тис. особин/га;
- 6) випуск трихограми з нормою 150 тис. особин/га;
- 7) випуск трихограми з нормою 200 тис. особин/га.

Методологія спостережень та обліків. У дослідженнях, що стосуються застосування хімічних засобів для захисту рослин від патогенів, першочерговим об'єктом вивчення є ступінь ураження рослин різними захворюваннями. Обов'язковим елементом таких досліджень є також оцінка фітотоксичності та реакції рослин на внесені хімікати. Зокрема, при передпосівній обробці насіння передбачається оцінка польової схожості, енергії проростання, синхронності появи сходів, густоти стояння рослин, темпів приросту вегетативної маси та показників формування врожаю. У випадках обробки вегетуючих рослин, окрім моніторингу ураженості хворобами, доцільно обмежуватися біометричними показниками, які потенційно можуть зазнавати впливу від застосованого хімічного засобу. Наприклад, при внесенні препаратів у першій фазі вегетації (до повного формування вегетативної маси) до ключових біометричних параметрів включають висоту рослин, їхню біомасу, кількість листків та площу листової поверхні. Натомість, якщо обробка проти захворювань проводиться у другій половині вегетації, коли асиміляційний апарат вже сформований, післядія препаратів оцінюється за тривалістю функціонування окремих органів, вмістом води та хлорофілу в листках, а також за інтенсивністю фотосинтезу.

У дослідженнях, присвячених хімічному контролю шкідників, необхідно здійснювати моніторинг чисельності шкідливих організмів до та після застосування препаратів, визначати відсоток пошкоджених рослин та оцінювати вторинний вплив ураження на ростові процеси та формування врожаю. Біометричні вимірювання в цьому випадку проводяться аналогічно тим, що застосовуються в дослідженнях з хімічного захисту від хвороб.

Незалежно від об'єкта захисту, при використанні хімічних засобів необхідно обов'язково оцінювати біологічну, технічну (господарську) та економічну ефективність кожного дослідного варіанту.

3.2.10 Досліди з вивчення протиерозійних заходів

Предметом дослідження у роботах, що вивчають протиерозійні заходи, можуть бути системи ґрунтообробітку, структура посівних площ у сівозмінних ротаціях, смугове розміщення культур, лісомеліоративні насадження та інші агротехнічні прийоми.

У дослідженнях, що оцінюють вплив частки просапних культур у сівозміні на інтенсивність ерозійних процесів, типова експериментальна схема може передбачати такі градації: 1) регіонально-специфічна концентрація просапних культур без багаторічних трав; 2) цей же варіант з інкорпорацією багаторічних трав; 3) знижена пропорція просапних культур (із відповідним кроком) без багаторічних трав; 4) цей же варіант з багаторічними травами; 5) підвищена пропорція просапних культур (із відповідним кроком) без багаторічних трав; 6) цей же варіант з багаторічними травами.

Крім того, у межах дослідження доцільним є аналіз періоду використання багаторічних трав у сівозмінних ротаціях та їх впливу на протиерозійну стійкість ґрунту. Експериментальна схема може включати такі варіанти як однорічне, дворічне, трирічне та пролонговане вирощування багаторічних трав на одній ділянці.

Об'єктом вивчення у подібних дослідженнях також може виступати видовий склад багаторічних трав. Загальна схема експерименту у такому випадку може передбачати: 1) різні види бобових культур (еспарцет, люцерна, конюшина); 2) різні види злакових культур (грястиця, вівсяниця лучна, кострець безостий, тимофіївка та ін.); 3) різні суміші бобових та злакових компонентів.

Поряд із багаторічними травами, об'єктами досліджень у вивченні протиерозійних заходів можуть слугувати й однорічні сільськогосподарські

культури. Загальна експериментальна схема охоплюватиме: 1) ярі зернові колосові (ячмінь, овес, пшениця); 2) озимі зернові колосові (пшениця, жито, ячмінь); 3) зернобобові культури (горох); 4) корене- та бульбоплідні просапні (цукрові та кормові буряки, картопля); 5) інші просапні культури (кукурудза, соняшник).

Із запропонованої схеми дослідник має можливість обирати лише конкретні варіанти для вивчення. Таким чином, може бути проведене самостійне дослідження, що порівнюватиме: а) виключно культури суцільного способу сівби; б) тільки просапні культури; в) ярі зернові колосові з озимими зерновими колосовими; г) ярі зернові колосові із зернобобовими; д) окремі види культур суцільного способу сівби з окремими просапними культурами.

У степових регіонах доцільно також досліджувати вплив введення чистого пару до сівозмінної ротації на ерозійну стійкість ґрунту. Окремими варіантами у такому експерименті слугуватимуть схеми сівозмін із застосуванням чистого пару та різними видами парозаймаючих культур (озимі та ярі культури на зелений корм).

При дослідженні ґрунтозбережної функції смугового землеробства та чергування посівів з паром у степовій зоні, експериментальні ділянки зазвичай організовують за такою типовою схемою:

- 1) використання чистого пару;
- 2) системи із чергуванням чистого пару та смуг озимих культур;
- 3) впровадження різних типів просапних культур;
- 4) комбінації просапних культур (різних видів) із смугами зернових та інших культур звичайного рядового посіву, що відрізняються складом.

У рамках цих досліджень, особливу увагу слід приділяти вивченню впливу ширини смуг на протиерозійну стійкість ґрунтового покриву. Це зумовлено тим, що оптимальна ширина смуг варіюється залежно від крутизни схилу. Існує гіпотеза, що для крутіших схилів доцільне зменшення ширини смуг, тоді як для пологіших — їх збільшення. Для емпіричного обґрунтування цих параметрів

експерименти проводяться на схилах з різною крутизною або на різних рівнях одного схилу.

На схилах з варіативною крутизною найбільш ефективним є проведення двофакторного експерименту. Рекомендована схема може бути наступною:

- 1) територія з пологим схилом (до 1°), ширина смуг 30 м;
- 2) територія з пологим схилом (до 1°), ширина смуг 50 м;
- 3) територія з пологим схилом (до 1°), ширина смуг 70 м;
- 4) схил від 1 до 3° , ширина смуг 30 м;
- 5) схил від 1 до 3° , ширина смуг 50 м;
- 6) схил від 1 до 3° , ширина смуг 70 м;
- 7) схил від 3 до 5° , ширина смуг 30 м;
- 8) схил від 3 до 5° , ширина смуг 50 м;
- 9) схил від 3 до 5° , ширина смуг 70 м;
- 10) схил від 5 до 7° , ширина смуг 30 м;
- 11) схил від 5 до 7° , ширина смуг 50 м;
- 12) схил від 5 до 7° , ширина смуг 70 м.

При визначенні ширини смугових ділянок у різних варіантах експерименту, необхідно дотримуватися кратності робочої ширини посівної техніки. У випадках, коли на одних смугах застосовується традиційний рядовий посів, а на інших — просапні культури, ширина смуги першочергово повинна бути кратною робочій ширині сівалок, призначених для посіву просапних культур.

На ділянках з мінімальним ухилом (дуже пологих схилах) ефективність застосування смуг різної ширини потребує окремого вивчення на різних топографічних рівнях: у верхній, середній та нижній частинах схилу.

При аналізі ролі лісосмуг як елемента протиерозійної системи, ключовим аспектом є визначення дальності ефективного впливу лісосмуг різних конструкцій. Отже, предметом вивчення у цьому контексті може бути як архітектоніка самих лісосмуг, так і просторова віддаленість від них. Ці два фактори доцільно досліджувати в рамках двофакторного експерименту. Якщо здійснюється порівняльний аналіз ефективності лісосмуг проникної конструкції

з щільною, та при використанні як критерію відстані показників, кратних 1, 5, 10, 15 та 20 середнім висотам деревного ярусу в лісосмузі, рекомендована схема експерименту матиме такий вигляд:

1. Лісосмуга проникного типу на віддалі одноразової висоти дерева;
2. Лісосмуга проникного типу на віддалі 5-кратної висоти дерев;
3. Лісосмуга проникного типу на віддалі 10-кратної висоти дерев;
4. Лісосмуга проникного типу на віддалі 15-кратної висоти дерев;
5. Лісосмуга проникного типу на віддалі 20-кратної висоти дерев;
6. Лісосмуга щільного типу на віддалі одноразової висоти дерева;
7. Лісосмуга щільного типу на віддалі 5-кратної висоти дерев;
8. Лісосмуга щільного типу на віддалі 10-кратної висоти дерев;
9. Лісосмуга щільного типу на віддалі 15-кратної висоти дерев;
10. Лісосмуга щільного типу на віддалі 20-кратної висоти дерев.

Проектування експериментальних досліджень обумовлюється специфікою протиерозійних заходів, що є об'єктом вивчення.

У випадку, коли предметом аналізу виступає ґрунтозахисний обробіток ґрунту, до програми експериментальних робіт обов'язково включається дослідження фізичних параметрів верхнього кореневмісного шару ґрунту. Це передбачає оцінку таких індикаторів, як структурний стан та його водостійкість, інфільтраційна здатність, наявність рослинних решток на поверхні поля, а також інтенсивність водної чи вітрової ерозії. Подібний комплекс вимірювань є актуальним і в дослідках, присвячених вивченню диференційованої структури сівозмінних ланок та смугового розміщення посівів. У експериментах, де структура посівних площ модифікується шляхом варіювання пропорцій просапних і культур суцільної сівби, а також однорічних і багаторічних агрокультур, є доцільним також аналізувати зміни біологічного режиму ґрунту. Це включає визначення загальної чисельності мікроорганізмів, їх таксономічного різноманіття та інтенсивності метаболічних процесів.

Якщо ж протиерозійним заходом у дослідженні є застосування полезахисних лісових насаджень, пріоритетним стає вивчення мікрокліматичних

трансформацій, спричинених деревною рослинністю. При цьому на різних дистанціях від лісосмуги необхідно обов'язково визначати швидкість вітрового потоку, характер розподілу опалого листя та снігового покриву, показники температури й відносної вологості повітря, термічний режим ґрунту та глибину його промерзання, а також запаси продуктивної вологи в ґрунтовому профілі. Під час вимірювання швидкості вітру у приземному шарі критично важливо враховувати потенціал повітряних мас до транспортування ґрунтових часток, що є каталізатором пилових бур та інтенсифікації вітрової ерозії.

Мікрокліматичні зміни в агроценозах, індуковані лісосмугами, потенційно впливають на фітосанітарний стан культурних рослин. Відтак, аналіз цих умов у дослідках із застосуванням лісосмуг є обов'язковим компонентом дослідницької методології. При цьому досліджується поширеність фітопатогенів та шкідників, а також ступінь їхнього негативного впливу на культивовані рослини.

Динаміка росту рослин та показники продуктивності агрокультур у дослідках із застосуванням протиерозійних заходів оцінюються шляхом проведення біометричних вимірювань, специфічних для кожної культури, незалежно від конкретної спрямованості експерименту.

3.2.11 Організація дослідів з вивчення нових сортів та гібридів

Дослідження з сортовипробування, як правило, здійснюються в умовах державних обласних сортовипробувальних станцій. Проте, їх організація можлива також на базі інших наукових установ або безпосередньо в сільськогосподарських підприємствах. Слід підкреслити, що рекомендації щодо офіційної реєстрації нового сорту або гібриду певної сільськогосподарської культури формуються виключно за результатами державного сортовипробування.

План сортовипробувань розробляється для всього спектру сільськогосподарських культур, які культивуються у зоні відповідальності випробувальної станції. Важливим елементом є визначення еталонного зразка

(стандарту) для кожної культури з числа найкращих та найпоширеніших на поточному етапі зареєстрованих сортів чи гібридів.

Залежно від цілей дослідження, в межах одного експерименту може бути одночасно досліджено декілька сортів або гібридів. Зокрема, у розширеному сортовипробуванні аналізуються як ті сорти, що вже проходять апробацію на сортостанціях області, так і нові для регіону вітчизняні чи іноземні селекційні зразки.

Перспективні нові сорти, що продемонстрували високі показники у розширеному сортовипробуванні, після 1-2 років тестування направляються на конкурсне випробування до інших сортовипробувальних станцій. Натомість, сорти, які не виправдали очікувань, вилучаються з випробувального процесу без переведення до наступного етапу. Обсяг дослідження при розширеному сортовипробуванні може сягати 20 або більше варіантів. У випадках, коли кількість варіантів перевищує 20, у межах кожної повторності передбачається розміщення двох або більше ділянок з еталонним сортом.

Крім того, при значному різноманітті досліджуваних варіантів, сорти можуть істотно відрізнитися за темпами дозрівання. З огляду на це, їхнє групування за цим критерієм є обов'язковим, і для кожної сформованої групи доцільно встановлювати окремий еталон. Наприклад, для групи ранньостиглих сортів як еталон використовується зареєстрований ранньостиглий сорт, тоді як для групи пізньостиглих сортів застосовується відповідний пізньостиглий зареєстрований зразок. Аналогічний методологічний підхід використовується при вивченні сортів, що відрізняються за висотою рослин або за сприйнятливістю та стійкістю до вилягання. При цьому кожна виділена група сортів чи гібридів зіставляється виключно зі своїм відповідним стандартом.

У державних сортовипробувальних установах у межах широкомасштабного сортовипробування здійснюється оцінка сортів (гібридів), які проходять конкурсне випробування в інших агрозонах.

Конкурсне сортовипробування є етапом, де формуються рекомендації для державної реєстрації нових сортів (гібридів), які демонструють значну перевагу

над стандартними (еталонними) сортами за показниками продуктивності та якісними характеристиками врожаю. Для забезпечення репрезентативності та статистичної значущості результатів, кількість експериментальних варіантів у цих дослідженнях є меншою порівняно з широкомасштабними випробуваннями. Посів культур у конкурсному випробуванні здійснюється, як правило, із застосуванням не менше ніж чотирикратної повторності, з використанням спеціалізованих методів розміщення ділянок, таких як ямб- або дактиль-метод.

Схеми дослідів виробничого сортовипробування передбачають ще меншу кількість експериментальних варіантів. Це випробування проводиться у провідних агропідприємствах з високою культурою землеробства. До відбору для виробничого випробування включаються лише найбільш перспективні, ще не зареєстровані сорти (гібриди), які показали перевагу в конкурсному випробуванні. Зазвичай, в одному господарстві виробниче випробування охоплює 2–3 культури, де один-два нові сорти (гібриди) порівнюються з найкращим зареєстрованим сортом (гібридом), що вже культивується в даному господарстві.

Незалежно від обраного методу випробування, експериментальні ділянки завжди розміщуються після попередників, типових для конкретної культури та агрозони.

У дослідженнях із сортовипробування, незалежно від виду культури, обов'язково плануються наступні вимірювання та аналізи [81]:

1. Визначення щільності стояння рослин (на етапі сходів та передзбиральної щільності), з урахуванням щільності продуктивного стеблостою.
2. Реєстрація фенологічних фаз розвитку рослин.
3. Оцінка морозо- та зимостійкості посівів (для озимих зернових і багаторічних кормових культур).
4. Визначення посухостійкості посівів шляхом фіксації ознак в'янення листової маси.
5. Моніторинг динаміки росту рослин, що включає облік кількості та площі листової поверхні, висоти та біомаси надземної частини.

6. Аналіз однорідності посівів за висотою рослин (для коренеплідних культур — за ступенем заглиблення коренеплоду в ґрунт).
7. Оцінка резистентності рослин до ураження хворобами та пошкодження шкідниками.
8. Визначення стійкості посівів до вилягання (для високорослих культур), розтріскування бобів та стручків, обсипання зерна та проростання в колосі (для зернових культур).
9. Аналіз синхронності досягання врожаю (для зернових, олійних культур, насінників цукрових буряків та багаторічних трав тощо).
10. Комплексний аналіз елементів структури врожаю, що охоплює: довжину колоса, число колосків у колосі, кількість зерен у колосі, масу зерна в колосі (для колосових культур); кількість зерна у волоті, масу зерна у волоті, довжину та масу качана, масу зерна в качані (для неколосових зернових культур); число бобів та стручків на рослині, кількість зерен у бобі та стручці, масу зерна та насіння в бобі/стручці, а також загальну масу зерна/насіння з однієї рослини (для зернобобових і хрестоцвітних культур); діаметр кошика, кількість та масу насінин у кошику, кількість рослин з вираженою пустозернистістю, відсоток порожніх зерен (для соняшнику); кількість плодкових коробочок на рослині, масу насіння в коробочці та загальну масу насіння з однієї рослини (для льону олійного та маку олійного).
11. Реєстрація показників врожайності основної та побічної продукції (за умови її господарського використання).
12. Комплексний аналіз якісних показників врожаю, що включає: масу 1000 зерен (насінин), натуру зерна (насіння) (для зернових та олійних культур); середню масу коренеплідів та бульб (для коренеплідних та бульбоплідних культур); вихід та однорідність насінневого матеріалу (для всіх культур); вміст білка в зерновій продукції (для всіх культур); вміст клейковини в зерні продовольчої пшениці; вміст цукру в коренеплодах цукрових буряків; вміст крохмалю в бульбах картоплі; вміст олії в насінні олійних культур; вміст перетравного протеїну в кормовій продукції; лузжистість насіння соняшнику;

вміст алкалоїдів у зерні люпину.

3.3 Оптимізація параметрів основних елементів методики польового дослідження згідно його схеми

До ключових компонентів експериментальної методології належать: кількість варіантів у схемі дослідження, періодичність контрольних вимірювань, характеристики експериментальних ділянок та буферних смуг, конфігурація ділянок і їх просторова орієнтація, реплікація та відтворення експерименту, методи розміщення варіантів, а також процедури збору даних та спостережень.

Завданням дослідника є вибір найбільш оптимальної методології, яка б забезпечила можливість коректного зіставлення результатів, отриманих протягом багаторічного циклу досліджень.

Щодо кількості експериментальних варіантів, вони можуть бути класифіковані як кількісні (наприклад, концентрації добрив, норми зрошення, площа живлення рослин, глибина обробітку ґрунту) або якісні (такі як різні сорти культур, види культур, типи ґрунтів, форми добрив). При формуванні експериментальної схеми дослідник керується принципом оптимальності кількості варіантів, що відповідає специфіці дослідження та експериментальним умовам. Число варіантів має дозволяти конструювання кривої відгуку на основі отриманих показників, яка б за формою апроксимувала параболу. Це передбачає включення таких градацій досліджуваного фактора, які забезпечують відхилення врожайності від оптимального значення в обох напрямках. Згідно з принципами математичної статистики, для адекватного відображення такої залежності необхідно щонайменше п'ять репрезентативних точок. Отже, *мінімальна кількість варіантів в експерименті становить п'ять.*

Для ілюстрації розглянемо приклад дослідження впливу п'яти різних концентрацій нового стимулятора росту на урожайність озимої пшениці. За умови коректного підбору цих доз, урожайність (Y) може бути представлена у вигляді функціональної залежності, відомої як крива відгуку (рис. 3.1).

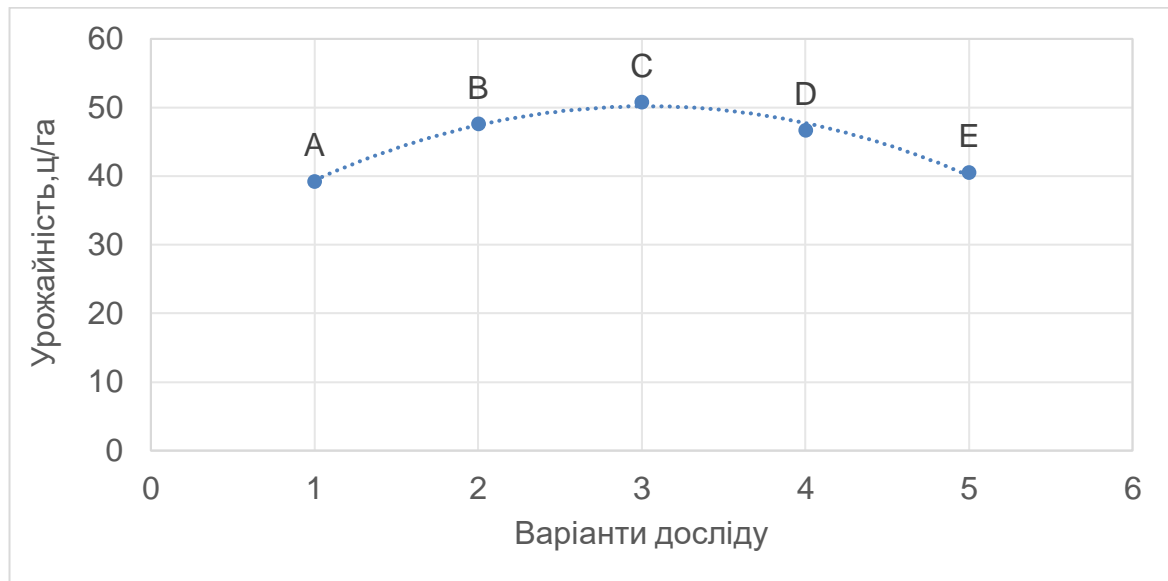


Рис. 3.1. Крива відгуку урожайності пшениці озимої на передпосівну обробку насіння стимулятором росту

Відрізки кривої мають певні назви і значення: *AB* — лімітуюча область, *BCD* — стаціонарна, *DE* — інгібіруюча область. У лімітуючій області починається ефект стимулятора росту, у стаціонарній — він стає найвищим, в інгібіруючій — пригнічується. Різні рівні впливу фактора, що досліджується, визначаються як його градації. Інтервал між послідовними градаціями позначається як крок експерименту, що у наведеному контексті відповідає дозам (концентраціям) стимулятора росту.

Адекватно розроблена експериментальна схема повинна включати повний спектр градацій досліджуваного фактора, що охоплюють всі три ключові області кривої відгуку: лімітуючу, стаціонарну та інгібуючу. Такий підхід дозволяє ідентифікувати як оптимальні варіанти, так і ті, де ефект лише проявляється або, навпаки, пригнічується. Останнє має вирішальне значення для запобігання надмірному застосуванню агрохімікатів (добрив, норм зрошення, пестицидів) у сільськогосподарській практиці, що може призвести до небажаних наслідків.

У дослідженнях з якісними факторами, наприклад, при вивченні сортів, їх кількість регламентується наявністю районованих та перспективних генотипів,

число яких може досягати кількох десятків. Аналогічно, у деяких випадках кількість кількісних варіантів також може бути значною.

Різноманітність ґрунтів та земельних ділянок характеризується неоднаковим ступенем просторової гетерогенності щодо їх родючості. Збільшення кількості варіантів у досліді неминуче веде до розширення його площі, що, у свою чергу, посилює варіабельність ґрунтової родючості. Підвищена варіабельність родючості ґрунту безпосередньо впливає на зростання експериментальної похибки. Отже, число варіантів у досліді також залежить від ступеня варіабельності ґрунтової родючості: при збільшенні її неоднорідності кількість варіантів, як правило, скорочується, і навпаки.

Кількість та частота контрольних варіантів є важливим аспектом. Як правило, за еталонний контроль приймаються дози або норми фактора, які традиційно використовувались у відповідному господарстві до початку експерименту і вважались оптимальними (виробничий контроль).

У дослідженнях, спрямованих на виявлення безпосередньої дії самого фактора (наприклад, фосфорних добрив), вводиться абсолютний контроль – варіант без застосування досліджуваного компонента. Таким чином, додатковими, хоча й не основними, контрольними варіантами можуть бути варіант без добрив у агрохімічних дослідях або варіант без пестицидів у випробуваннях засобів захисту рослин. Введення таких додаткових варіантів визначається конкретними дослідницькими завданнями. Абсолютні контролю є обов'язковими у дослідях, що вивчають ефективність фунгіцидів, інсектицидів та інших препаратів для захисту рослин, оскільки вони дозволяють обґрунтувати доцільність застосування певних пестицидів проти конкретних патогенів чи шкідників.

Експериментальна схема може передбачати наявність декількох контрольних варіантів. Наприклад, *при оцінці сортів за стандарт (контроль) може бути прийнятий не тільки районований, а іноді й перспективний сорт.*

З метою мінімізації перехресного впливу, що виникає між суміжними експериментальними ділянками, передбачається облаштування латеральних та трансверсальних буферних зон (захисних смуг). Розмір цих зон (їх ширина)

визначається інтенсивністю дії та потенційним поширенням ефекту від конкретних агротехнологічних заходів. Відповідно, у різних дослідницьких проєктах ширина захисних смуг може суттєво відрізнятись, проте в межах одного експериментального циклу вона має залишатися сталою та уніфікованою (рис. 3.2).

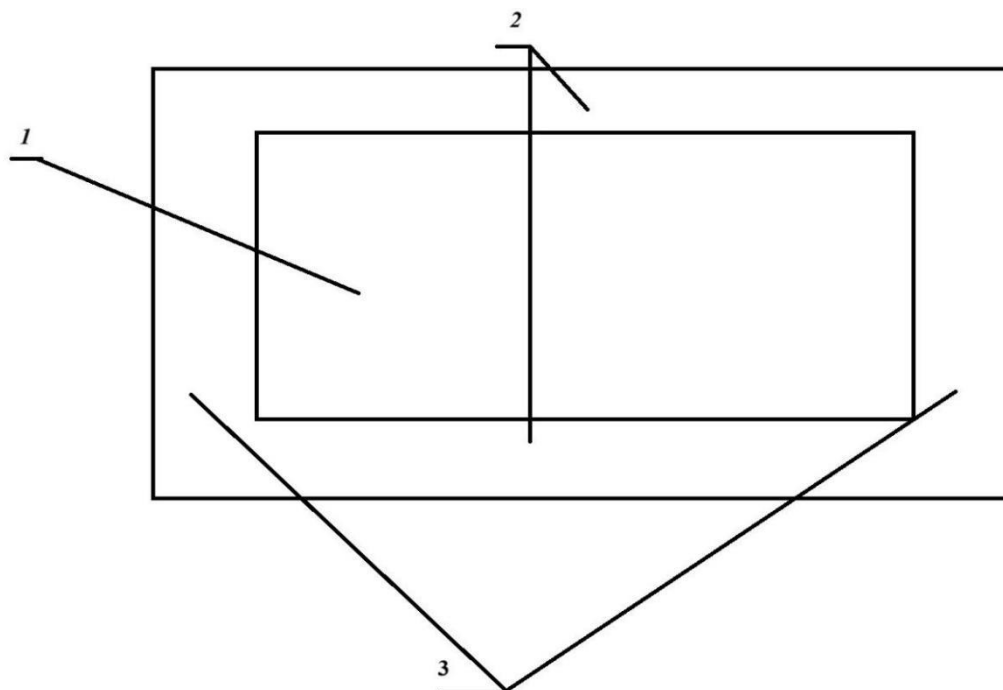


Рис. 3.2. Дослідна ділянка. 1- облікова площа; 2 - латеральні захисні смуги; 3 - трансверсальні захисні смуги

Інтенсивність розвитку рослин в експериментальних умовах, залежно від культивованих сортів або застосовуваних агротехнологій, може варіюватися від посиленої до пригніченої, а також бути помірною. Високорослі та густі насадження на одній дослідній ділянці здатні чинити суттєвий конкурентний тиск на сусідні культури. Такий ефект інтерференції унеможлиблює об'єктивне порівняння різноманітних агротехнічних заходів чи сортів на суміжних ділянках, оскільки порушується принцип єдиної відмінності, що компрометує методологічну чистоту експерименту.

З метою мінімізації негативного впливу рослин на сусідні зони, передбачається створення буферних смуг, як бічних, так і кінцевих. Максимальна ширина таких захисних зон розраховується з урахуванням варіанта досліджу, що передбачає найінтенсивніший вплив. Ключовими чинниками, які найбільш істотно

впливають на ростові процеси рослин, є удобрення, іригація та обробіток ґрунту. Відповідно до цих факторів встановлюється і ширина бічних захисних смуг.

Поперечні буферні зони застосовуються не лише для розмежування варіантів, але й для забезпечення простору для маневрування ґрунтообробної, посівної та збиральної техніки, тому їхня ширина є більшою. Ще ширші захисні смуги (5-10 м) створюються по периметру всього експериментального поля для забезпечення ізоляції дослідних рослин від шкідливого зовнішнього впливу.

В експериментах з дослідженням впливу добрив ширина бічних захисних смуг корелює з методикою їхнього застосування. При ручному розподілі добрив виділяють смуги шириною щонайменше 1 метр, при механізованому внесенні сівалками — 50 сантиметрів, а при заорюванні органічних добрив, які потенційно можуть бути переміщені плугом на сусідні ділянки, мінімальна ширина становить 1,5 метра. Для дослідів з добривами рекомендована ширина захисних смуг для короткострокових експериментів становить 0,75 м, для багаторічних — не менше 1 метра.

В експериментах з іригацією ширина захисних смуг збільшується до 2-3 метрів, щоб запобігти латеральному поширенню вологи в ґрунті або її аерозольному переносу під час дощування. Необхідно передбачати широкі бічні захисні смуги також у дослідях, що включають обробку посівів пестицидами, з метою запобігання вітровому дрейфу робочих розчинів на сусідні ділянки. На основі практичного досвіду встановлено, що за умов обробки посівів у безвітряну погоду ширина захисних смуг повинна становити 2 метри.

У ході експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення глибини обробітку ґрунту, рекомендована ширина захисної смуги повинна відповідати робочому захвату 1–2 корпусів плуга або іншого відповідного ґрунтообробного знаряддя. Якщо ж культивація здійснюється уздовж дослідних ділянок, ідентичні буферні зони формуються і для інших агрегатів, що інтегровані в комплекс агротехнологічних операцій.

Під час оцінки норм висіву насіння та методів сівби в якості захисних смуг доцільно задіювати певну кількість посівних рядів. Для зернових культур, що

висіваються зі стандартним міжряддям, рекомендується відводити 2–3 рядки, тоді як при вузькорядному посіві їх кількість збільшується до 3–4.

У разі сортовипробування для формування захисних смуг зазвичай виділяють 2 рядки, або ж під час посівної кампанії здійснюють блокування крайніх сошників. Кінцеві (поперечні) захисні смуги мають бути організовані таким чином, щоб забезпечувати можливість маневрування та розвороту сільськогосподарської техніки й агрегатів, а також дозволяти проведення додаткових експериментальних досліджень за необхідності. З огляду на їх багатофункціональність, ці смуги також класифікуються як лабораторні смуги.

Проведення експериментальних досліджень на ділянках обмеженого розміру без захисних смуг є припустимим, за умови, що їхньою основною метою є вивчення нових агрохімікатів для живлення та протекції культурних рослин. З метою диференціації експериментальних варіантів та забезпечення робочих процесів у таких дослідах, як правило, передбачаються службові проходи шириною в діапазоні 30–40 см. Під час сортовивчення зернових культур допускається використання однорядкових ділянок без захисних смуг, проте з розширеними міжряддями: 30 см для ярих і 40–50 см для озимих форм.

Захисні смуги не тільки запобігають взаємодії та перехресному впливу різноманітних агротехнічних заходів і генетичних ліній на суміжних ділянках, але й забезпечують протекцію експериментальних площ від механічних пошкоджень, витоптування та інших деструктивних чинників. Необхідно підкреслити, що поблизу транспортних магістралей ширина цих смуг має бути значно збільшена, часто сягаючи 5–10 метрів і більше в окремих випадках.

Конфігурація та просторова орієнтація експериментальних ділянок. Експериментальні ділянки зазвичай мають прямокутну форму, проте їх аспектне співвідношення може значно варіювати — від витягнутих до рівносторонніх (квадратних) конфігурацій, де ширина ділянки дорівнює її довжині. Продовгасті ділянки умовно класифікують як короткопродовгасті, якщо їх довжина перевищує ширину в межах від 2 до 10 разів, і як довгопродовгасті, коли це співвідношення перевищує десятикратний показник.

Оптимальною є близькоквдратна конфігурація ділянок у дослідженнях, що стосуються захисту рослин від шкідливих організмів (патогенів, шкідників, бур'янів) із застосуванням пестицидних розчинів шляхом обприскування посівів. Це зумовлено тим, що на вузьких ділянках існує висока ймовірність дрейфу розчину на суміжні експериментальні варіанти під впливом вітру. Крім того, з центральної зони квадратної ділянки спостерігається менша міграція шкідників та поширення захворювань порівняно з ділянками продовгастої форми. Квадратна форма експериментальних ділянок також є більш доцільною у багатьох інших дослідженнях, де існує значна взаємодія між суміжними обробками або коли експеримент сплановано за схемою латинського квадрата.

Виявлено, що для експериментальних ділянок площею від 20 до 200 м² доцільним є співвідношення довжини до ширини в діапазоні 5—10, тоді як для ділянок значніших розмірів цей показник рекомендується в межах 10—20.

Підвищення ефективності видовжених експериментальних ділянок досягається їхньою орієнтацією вздовж головного напрямку неоднорідності ґрунтової родючості. Ця неоднорідність типово корелює з напрямком схилу, що обумовлює необхідність розміщення ділянок паралельно до нього, від верхньої до нижньої частини. При цьому протяжність ділянок має відповідати довжині схилу для повного охоплення всіх його сегментів.

Розміщення дослідних ділянок може відбуватися поблизу лісозахисних смуг, польових шляхів або огорожень. У таких випадках ділянки слід розташовувати коротшою стороною до зазначених об'єктів, забезпечуючи рівновіддаленість всіх експериментальних варіантів та, як наслідок, однорідність умов проведення дослідження. Відносно панівних вітрів орієнтація ділянок передбачає їхнє розташування довгою стороною.

На територіях, призначених для проведення експериментальних досліджень, можуть зустрічатися ділянки з варіативним рівнем ґрунтової родючості (низьким або високим). Такі зони, як правило, не включаються до складу дослідницького полігону. Однак, у випадку їх вимушеного залучення до експерименту, ці локації іменуються зв'язаними площадками (або

ділянками з вираженою неоднорідністю), і розташування дослідних ділянок здійснюється перпендикулярно до напрямку їх поширення. Дотримання цього принципу орієнтації експериментальних одиниць дозволяє мінімізувати потенційні похибки та підвищити точність і достовірність одержаних результатів.

Окрему увагу слід приділяти геометричній формі окремих повторень, яка має бути квадратною або максимально наближеною до неї. Усі реплікації повинні мати ідентичні розміри та пропорції сторін. Це є можливим, якщо співвідношення довжини ділянки до її ширини еквівалентне кількості досліджуваних варіантів.

Принцип реплікації в експериментальних дослідженнях. Реплікація експериментальних досліджень є фундаментальним принципом забезпечення їхньої методологічної достовірності та прецизійності. Вона реалізується шляхом повторення дослідів як у просторовому, так і в часовому вимірах. Просторова реплікація передбачає використання кількох ідентичних експериментальних ділянок або об'єктів для кожного варіанта дослідів. Часова реплікація, своєю чергою, стосується проведення серій короткострокових експериментів у контрольованих умовах (лабораторіях, теплицях, фітотронах) протягом одного або декількох років, що може доповнювати довготривалі польові дослідження.

Визначення оптимальної кількості реплікацій тісно пов'язане з рівнем варіабельності досліджуваних параметрів. Так, при низькому рівні варіабельності ґрунтової родючості (коефіцієнт варіації, CV, до 10%) задовільна точність експерименту досягається вже за три-чотириразової реплікації, тоді як для високої точності необхідно 6-8 повторень. Якщо варіабельність є середньою (CV у діапазоні 10-20%), для забезпечення прийнятної точності потрібна шести-восьмиразова реплікація. Однак, за умови значної варіабельності (CV понад 20%), навіть десятиразова реплікація може виявитися недостатньою для досягнення задовільної точності. Відтак, експериментальні ділянки, що

характеризуються істотною гетерогенністю, є непридатними для проведення достовірних досліджень і повинні бути виключені.

Крім рівня варіабельності ґрунтової родючості досліджуваної площі, вибір кількості реплікацій детермінується й іншими чинниками, зокрема, геометричною формою експериментальних ділянок, а саме – співвідношенням їхньої довжини до ширини. Відомо, що видовжені ділянки сприяють підвищенню точності експерименту, що дає змогу зменшити необхідну кількість повторностей порівняно з експериментами на коротших ділянках. Наприклад, аналогічний рівень точності може бути досягнутий за трьох повторностей на ділянках, видовжених у 9 разів; за шести повторностей на ділянках, видовжених у 2 рази; та за восьми повторностей на квадратних ділянках. Таким чином, кількість реплікацій має бути гармонізована з формою ділянок, і шляхом їхнього видовження можна редукувати необхідну кількість повторень до трьох-чотирьох.

Зі збільшенням кількості реплікацій та варіацій на розширених дослідних ділянках зростає рівень експериментальної похибки, що зумовлено збільшенням площі експерименту та, як наслідок, зростанням неоднорідності ґрунтової родючості. Отже, ці фактори впливають на оптимальне число повторень, яке потребує оптимізації відповідно до специфічних умов дослідження.

Існують різноманітні наукові підходи до вибору числа реплікацій. В експериментах, спланованих за принципом латинського квадрата, кількість повторень має дорівнювати числу досліджуваних варіантів. У дослідженнях, що використовують дизайн латинського прямокутника, число реплікацій повинно бути кратним числу варіантів. Наприклад, для експерименту з 12 варіаціями можливі 3, 4 або 6 повторень, тоді як для 15 варіацій — 3 або 5.

Встановлення універсального стандарту для визначення оптимальної кількості повторень експерименту є складним завданням. Хоча для сортовипробування широкого спектру сільськогосподарських культур, таких як зернові (колосові, круп'яні), зернобобові, кукурудза, олійні, технічні

(коноплі, тютюн), картопля та лучні трави, існують загальні рекомендації щодо використання дослідних ділянок площею 50 м² з 4–6 повтореннями, слід враховувати, що зазначені культури характеризуються відмінностями в площі живлення та, відповідно, у щільності розміщення рослин на одиниці площі. Це, своєю чергою, впливає на варіабельність та точність отриманих статистичних показників, зокрема середніх арифметичних значень.

Крім того, просторова неоднорідність ґрунтових умов у різних агрокліматичних зонах зумовлює потребу в адаптації кількості повторень. Наприклад, у регіонах з відносно гомогенною родючістю ґрунту (як Степ і Лісостеп) допустима менша кількість повторень порівняно з територіями, що демонструють значну строкатість ґрунтового покриву (наприклад, Полісся). В останньому випадку, для забезпечення репрезентативності результатів, може бути доцільним збільшення кількості повторень із потенційним зменшенням площі окремих дослідних ділянок.

Методологія визначення оптимальної кількості повторень в експерименті. Для емпіричного визначення оптимальної кількості повторень у польовому експерименті рекомендується застосовувати наступний методичний підхід:

1. Здійснити попередній (рекогносцирувальний) посів обраної культури на зелену масу із застосуванням стандартного рядкового методу.
2. Розпланувати дослідну ділянку, сегментувавши її на фрагменти, що відповідають розмірам і конфігурації майбутніх експериментальних ділянок.
3. Провести облік урожайності зеленої маси на кожному з виділених фрагментів.
4. Візуалізувати отримані дані обліку шляхом їх нанесення на схематичний план дослідного поля.
5. На основі аналізу плану, ідентифікувати та об'єднати фрагменти з максимально схожою урожайністю зеленої маси в блоки, що представлятимуть майбутні повторення.

6. Обчислити коефіцієнт варіації (CV) для показника врожайності зеленої маси в межах кожного сформованого блоку (повторення).

7. Ідентифікувати блок із найвищим значенням коефіцієнта варіації серед усіх повторень.

8. Використовуючи найбільший виявлений коефіцієнт варіації, розрахувати необхідну кількість повторень за відповідною статистичною формулою:

$$n = \left(\frac{V}{S_{x\%}} \right)^2, \quad (3.1)$$

де n — оптимальна повторність; V — найбільший коефіцієнт варіації врожаю; $S_{x\%}$ — відносна похибка дослідження.

Тривалість польових експериментальних досліджень, що відображає їхню темпоральну реплікацію, детермінується діапазоном мінливості погодних умов, зафіксованих упродовж усього періоду проведення експерименту. Як правило, цей період становить від трьох до п'яти років, хоча в окремих випадках може бути значно подовжений.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні елементи методики дослідження.
2. Чим відрізняються кількісні варіанти у дослідженні від якісних, наведіть приклади?
3. Назвіть принципи побудови кривої відгуку.
4. Які значення мають області кривої відгуку – лімітуюча, стаціонарна та інгібуюча?
5. Що називається градацією, кроком експерименту?
6. Назвіть основний принцип побудови наукової схеми дослідження?
7. За яким принципом визначають кількість варіантів у дослідженні з сортами?
8. Як змінюється кількість варіантів у дослідженні зі зміною родючості?

9. Поясніть поняття виробничий та абсолютний контроль.
10. В яких дослідях абсолютний контроль є необхідним?
11. Назвіть мету введення бокових та поперечних захисних смуг при плануванні дослідів?
12. Який принцип розрахунку максимальної ширини захисних смуг у досліді?
13. Призначення та принцип побудови поперечних захисних смуг.
14. Особливості побудови форми ділянок та їх орієнтації на місцевості.
15. Чим відрізняються поняття повторність у просторі та повторність у часі?
16. Яка існує залежність між встановленням повторності у досліді та коефіцієнтом варіації?
17. Які фактори впливають на визначення повторності у досліді?
18. Алгоритм визначення оптимальної кількості повторностей у досліді.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

В умовах Південного Степу України досліджували вплив передпосівної обробки насіння пшениці озимої стимулятором росту Марс. Розвідувальний дослід дозволив отримати наступні результати за показниками якості насіння:

Варіант	Натура, г/л	Вміст білку, %	Схожість, %
1. Дистильована вода (контроль)	639,5	10,9	88,1
2. Марс; 2%	649,23	11,0	88,6
2. Марс; 1%	662,7	11,1	90,1
2. Марс; 3%	676,4	11,3	92,9
2. Марс; 4%	678,7	11,6	94,6
2. Марс; 5%	670,8	11,2	93,2
2. Марс; 4,5%	654,4	11,2	90,3

Побудуйте криві відгуку за всіма показниками якості насіння пшениці. Складіть оптимальну схему досліду для точного порівняння ефективності різних концентрацій препарату Марс. Визначте оптимальний крок експерименту.

3.4 Вибір методу розміщення варіантів у польових дослідах

Принцип розміщення варіантів передбачає детерміноване чергування експериментальних умов (варіантів) на дослідних ділянках у межах кожного повторення.

Цілі наукового дослідження та специфічні характеристики навколишнього середовища (зокрема, конфігурація земельних ділянок, гетерогенність ґрунтової родючості, орієнтація схилів) зумовлюють вибір конфігурації та чисельності експериментальних ділянок, кількості повторень, а також визначають стратегію розташування як повторень, так і самих варіантів, і загальну структуру досліду.

Традиційно виокремлюють три основні групи методів розміщення варіантів і повторень [81-83]: рандомізований (випадковий), систематичний та стандартний (рис. 3.3).

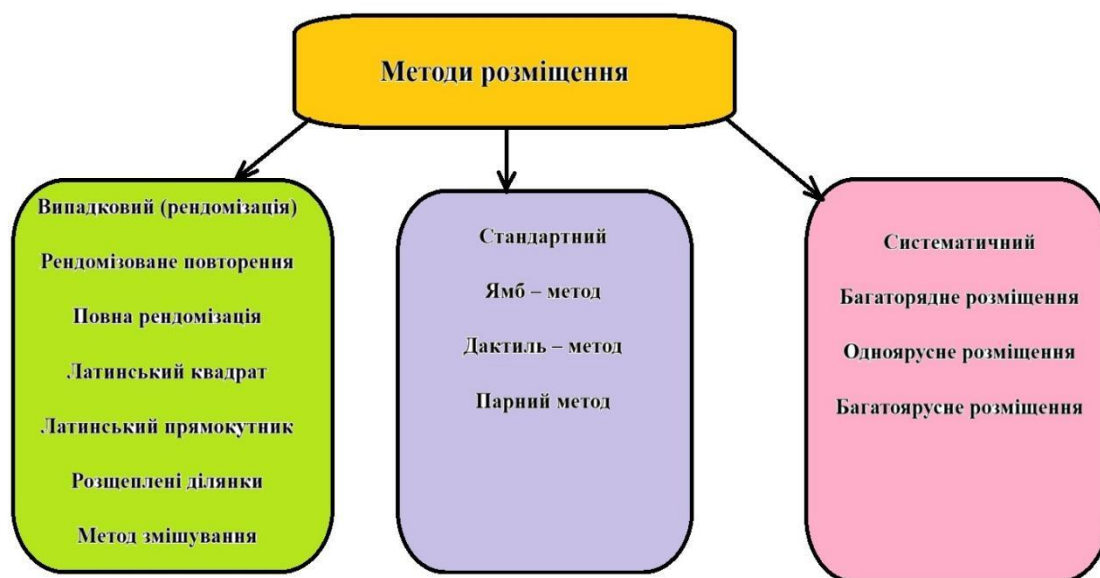


Рис. 3.3. Класифікація методів розміщення варіантів у досліді

Випадкове розміщення експериментальних варіантів здійснюється за допомогою кількох конкретних методик, які будуть детально розглянуті нижче. Вибір кожної з них диференціюється залежно від характеру варіабельності ґрунтової родючості. Незважаючи на різноманіття підходів, спільним для всіх є положення про те, що позиція експериментальних варіантів встановлюється із застосуванням таблиць випадкових чисел (див. додаток 1) або шляхом випадкового вибору (жеребкування). Нижче буде проаналізовано методологію рандомізації.

Основою найпростішого методу рандомізації є наступна процедура: для розташування, наприклад, п'яти варіантів дослідник готує п'ять елементів (наприклад, жетонів, карток) з пронумерованими позначками від 1 до 5. Потім ці елементи необхідно ретельно перемішати, а потім послідовно витягувати їх, призначаючи відповідні номери першому експериментальному повторенню. Процес рандомізації індивідуально здійснюється для кожного наступного повторення.

Сучасніший підхід до рандомізації полягає у застосуванні *таблиць випадкових чисел* (див. додаток 1). Для розташування, наприклад, п'яти варіантів, експериментатор вибирає довільну колонку в таблиці випадкових чисел і систематично переміщується в ній (вгору, вниз, вправо або вліво), ідентифікуючи числа в діапазоні від 1 до 5. Подібний алгоритм застосовується для визначення послідовності розміщення варіантів у подальших повтореннях. Для забезпечення більшої випадковості доцільно для кожного повторення модифікувати початкову точку відліку та напрямок вибору чисел у таблиці.

Рендомізовані блоки (повторення) характеризуються випадковим розташуванням усіх експериментальних варіантів у межах кожного окремого блоку (повторення). Цей підхід є доцільним у ситуаціях, коли варіабельність ґрунтової родючості в межах одного блоку (повторення) є мінімальною, тоді як між різними блоками вона може бути значною. Принцип цього методу полягає в тому, що кожен варіант представлений у кожному блоці лише один раз.

На рисунку 3.4 демонструється схема розташування шести варіантів, отримана за допомогою таблиці випадкових чисел.

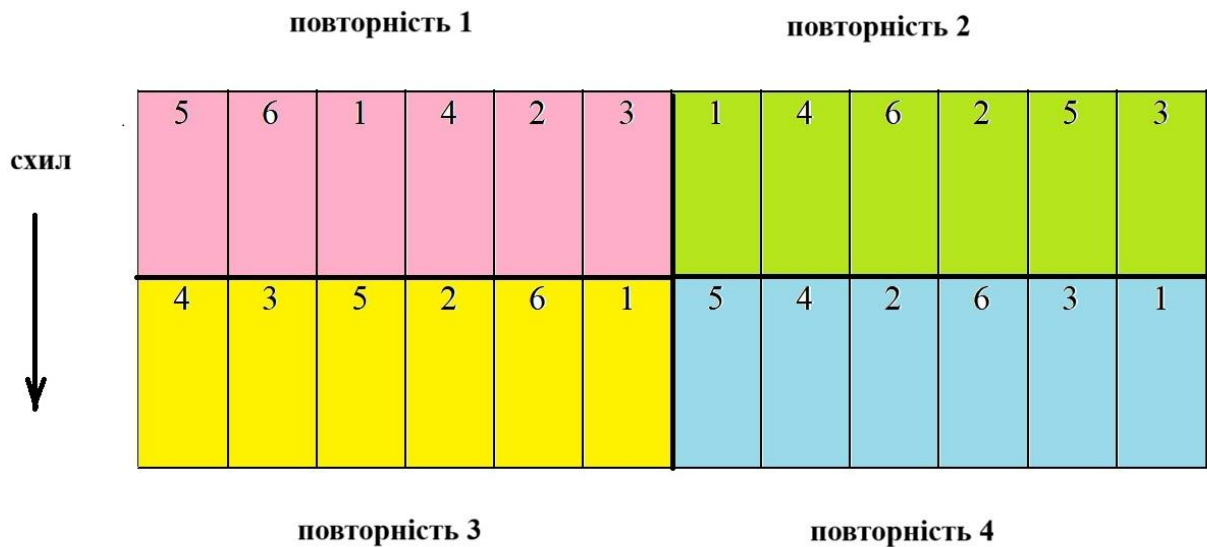


Рис.3.4. Розміщення шести варіантів у чотирьох повтореннях методом рендомізованих повторень (блоків) за таблицею випадкових чисел

Експериментальні ділянки розташовуються подовжнім чином вздовж схилу, що відповідає напрямку зміни показників родючості ґрунту. Як було зазначено, принциповою умовою для ефективного застосування методу рендомізованих блоків є досягнення мінімальної варіабельності ґрунтової родючості в межах кожного блоку та максимальної між ними. За відсутності суттєвих відмінностей у ґрунтовій родючості між блоками, застосування цього методу виявиться малоефективним. Для забезпечення мінімального варіювання ґрунту всередині блоку, необхідно обмежити його масштаб, що передбачає незначну кількість експериментальних варіантів та зменшений розмір кожної дослідної ділянки.

Застосування даного підходу гарантує повне представлення експериментальних варіантів у кожному блоці (кожен варіант зустрічається в межах блоку лише один раз). Це забезпечує методиці високий рівень стійкості та адаптивності. Стійкість методу рендомізованих блоків полягає в його здатності

дозволяти виключення окремих блоків або варіантів з аналізу у випадку їх втрати чи пошкодження з різних причин. Гнучкість методики виявляється в тому, що за потреби вона дозволяє інтегрувати нові експериментальні варіанти.

Метод рендомізованих латинських квадратів являє собою підхід до організації експериментальних обробок (або рівнів факторів), що гарантує, що кожен рядок і кожен стовпчик матриці експерименту містять усі визначені обробки, при цьому кожна з них застосовується лише один раз у межах даного рядка чи стовпчика (рис.3.5).

Метод латинського квадрата рекомендується використовувати за умов, коли плодючість ґрунту демонструє мінливість у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Зокрема, така варіація може спостерігатися в одному напрямку – вздовж схилу, а в протилежному – від захисної лісосмуги або елементів дорожньої інфраструктури.

2	3	1	4
1	4	2	3
3	1	4	2
4	2	3	1

Рис 3.5. Розміщення чотирьох варіантів методом рендомізованого латинського квадрата 4×4

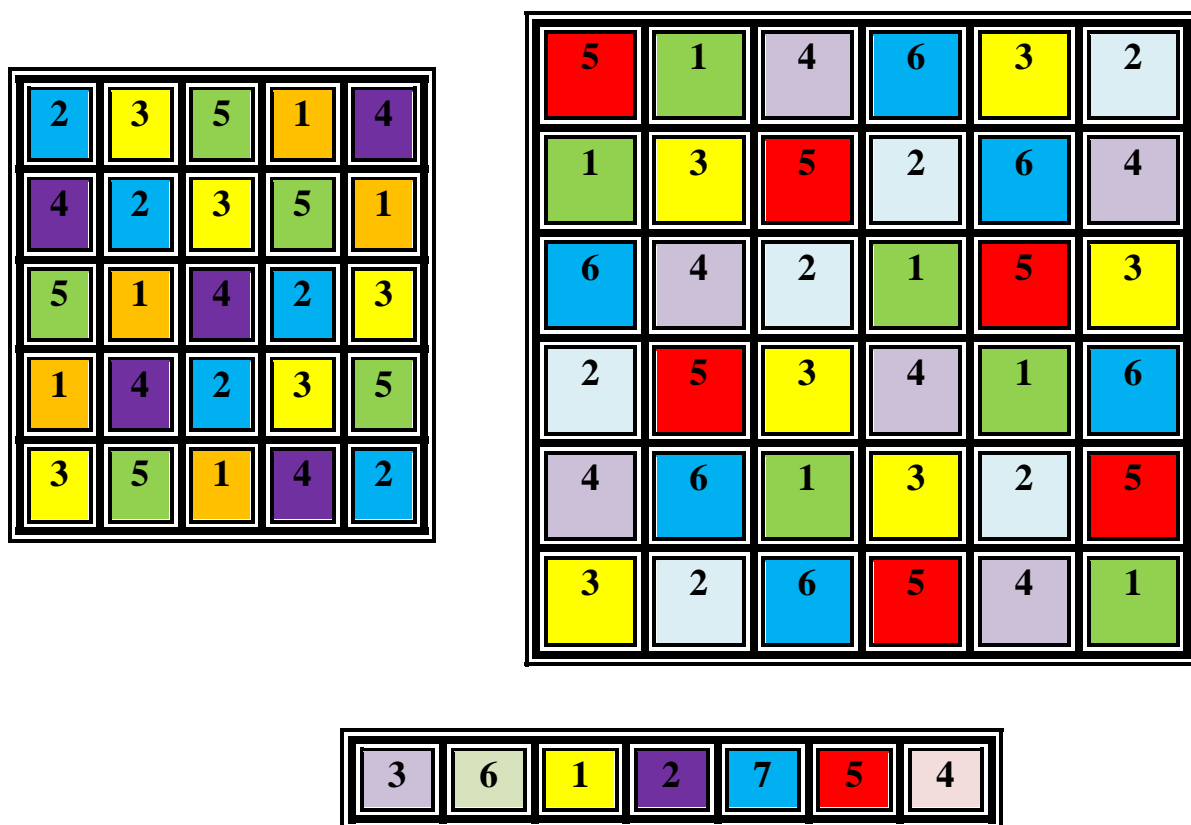
Для імплементації цього підходу необхідне використання дослідних ділянок квадратної форми. При цьому кількість реплікацій дослідження завжди повинна дорівнювати кількості досліджуваних варіантів, причому їх число має

знаходиться в діапазоні від чотирьох до восьми. Це обмеження щодо числа варіантів та повторень свідчить про придатність методу для експериментів з відносно невеликою кількістю факторів. Збільшення кількості варіантів призводить до значного ускладнення експериментальної схеми та зростання обсягу робіт.

Ключовим недоліком цього методу є суворі вимоги щодо тотожності кількості реплікацій та кількості варіантів. Ілюстрацію розміщення від чотирьох до восьми варіантів за допомогою латинського квадрата представлено на рисунку 3.6.

У деяких випадках для упорядкування експериментальних факторів у дизайні латинського квадрата застосовується послідовний підхід (див. Рис. 3.7).

Далі розглянемо основні принципи розподілу чотирьох експериментальних умов за допомогою методології латинського квадрата, використовуючи послідовну схему. Як ілюструє рисунок 3.7, у початковому рядку та стовпці фіксується лінійна послідовність варіантів (1, 2, 3, 4), тоді як в інших позиціях спостерігається закономірне циклічне зсування.



1	3	6	5	4	2	7
7	2	3	4	6	1	5
2	4	5	6	1	7	3
5	7	4	1	2	3	6
6	1	7	3	5	4	2
4	5	2	7	3	6	1

Рис. 3.6. Розміщення п'яти, шести і семи варіантів методом латинського квадрата

За умов систематичної (закономірної) мінливості ґрунтової родючості в ортогональних напрямках, така варіація може співпадати з упорядкованим розміщенням експериментальних варіантів у дизайні латинського квадрата. Це може призвести до порушення принципу єдиної логічної відмінності. Для запобігання цьому явищу, необхідно застосовувати виключно рандомізоване (випадкове) розміщення експериментальних об'єктів.

1	2	3	4
2	3	4	1
3	4	1	2
4	1	2	3

Рис. 3.7. Розміщення варіантів методом латинського квадрата 4×4 за послідовною системою

Рандомізований латинський прямокутник являє собою стохастичне розташування всіх факторних рівнів у межах кожного рядка та кожного окремого експериментального блоку. Цей методологічний підхід доцільно використовувати у випадках, коли ґрунтова родючість демонструє варіабельність не тільки в ортогональних, але й у діагональних напрямках, а

кількість експериментальних варіантів є кратною кількості реплікацій (рис. 3.8). Зазначене розташування оптимально репрезентує просторову динаміку ґрунтової родючості за трьома вимірами: двома ортогональними та діагональним.

Стрічки	Блоки											
	1			2			3			4		
1	4	9	11	1	7	2	8	12	10	6	3	5
2	1	5	2	6	10	12	4	3	7	11	9	8
3	12	6	8	3	4	9	1	5	11	2	7	10
4	3	7	10	5	8	11	9	2	6	4	1	12

Рис. 3.8. Розміщення 12 варіантів у чотирьох повтореннях методом рендомізованого латинського прямокутника

Повна рендомізація визначається як метод несистематичного розподілу експериментальних варіантів серед усіх дослідних ділянок, що *виключає попереднє формування блоків або виділення повторень*.

Цей підхід доцільно застосовувати у випадках, *коли індивідуальна мінливість показників росту та продуктивності рослин переважає над просторовою варіабельністю ґрунтової родючості, що особливо характерно для експериментів з багаторічними культурами*.

Додатковою умовою для ефективного використання методу повної рандомізації є обмежена кількість експериментальних варіантів, невелика кількість повторень та значний розмір окремих дослідних ділянок, особливо за умови невеликої загальної площі експерименту. На рис. 3.9 показано розміщення трьох досліджуваних варіантів у чотирьох повтореннях.

3	1	2	3
1	3	2	1

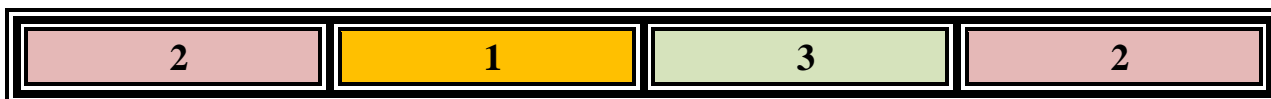


Рис. 3.9. Розміщення трьох варіантів досліду у чотирьох повтореннях методом повної рендомізації

Для ефективного застосування цього методу необхідно підготувати відповідні рандомізаційні елементи (жеребки). Їхня загальна кількість повинна відповідати сумарному числу експериментальних ділянок у дослідженні (наприклад, $3 \times 4 = 12$). Важливо забезпечити рівномірне представлення кожного варіанту, тобто однакову кількість жеребків для кожного з них. У розглядуваному прикладі, для кожного з трьох варіантів буде виділено по чотири жеребки. Далі дослідником використовується процедура рандомізації за допомогою вищеприписаної техніки з жеребками. Номери витягнутих жеребків послідовно фіксуються на схематичному плані ділянок. Приклад можливого розташування варіантів ілюструє рис. 3.9. Аналіз розподілу варіантів у чотирьох стовпцях показує, що не кожен стовпець обов'язково містить усі три варіанти. Відсутність певного варіанта в одному стовпці може компенсуватися його більшою частотою появою в інших.

Метод рендомізованих розщеплених ділянок (split-plot design) полягає у розміщенні варіантів фактора першого рівня на головних ділянках, тоді як варіанти факторів другого та подальших рівнів розміщуються на субділянках, які формуються шляхом поділу головних ділянок. Цей метод є доцільним для застосування у експериментах, які характеризуються наступними умовами:

1. він є багатofакторними;
2. основний акцент дослідження спрямований на оцінку взаємодії між факторами, а не на вивчення ефекту кожного фактора окремо;
3. існує необхідність інтегрувати нові групи варіантів шляхом поділу площі основних експериментальних ділянок.

На рис. 3.10 представлено схему розташування варіантів у двофакторному експерименті, де фактор А відповідає сорту, а фактор В – режиму удобрення. У рамках цього дослідження вивчаються два сорти (A_1 та A_2) та три рівні удобрення (B_1, B_2, B_3), котрі рандомізовано розподілені в межах кожного з чотирьох повторень. Літерні позначення A_1 та A_2 вказують на головні ділянки (першого порядку), тоді як B_1, B_2 та B_3 позначають субділянки (другого порядку).

A ₂			A ₁			A ₁			A ₂		
B ₃	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₁	B ₁	B ₃	B ₂	B ₂	B ₁	B ₃
1 повторення						2 повторення					
A ₁			A ₂			A ₂			A ₁		
B ₁	B ₃	B ₂	B ₃	B ₂	B ₁	B ₂	B ₁	B ₃	B ₂	B ₃	B ₁
3 повторення						4 повторення					

Рис. 3.10. Розміщення варіантів методом розщеплених ділянок двох градацій фактору А і трьох градацій фактору В

При проведенні експериментальних досліджень сортових особливостей культурних рослин оптимальною є така ієрархічна *послідовність розщеплення* експериментальних ділянок: *перший рівень поділу призначається для факторів, що стосуються сортів, другий – для методів обробітку ґрунту, а третій – для схем застосування засобів захисту рослин (інсектицидів/фунгіцидів)*. Для ілюстрації, можна розглянути дослідження, що охоплює два генотипи (A_1 та A_2), три різні системи обробітку ґрунту (B_1, B_2, B_3) та дві стратегії контролю шкідливих організмів (C_1, C_2).

В агрономічних дослідженнях пріоритетним є віднесення до факторів першого порядку тих елементів агротехнології, що виконуються хронологічно раніше. Схема розташування експериментальних варіантів у рамках дизайну розщеплених ділянок зазвичай демонструється на прикладі одного реплікату (рис. 3.11), з аналогічним розподілом варіантів у всіх подальших реплікатах. Для введення додаткових факторних рівнів передбачається подальше розщеплення вже існуючих ділянок попередніх порядків. Це вимагає, щоб вихідні та наступні за ними ділянки мали розмір, пропорційно більший за оптимальний, з урахуванням запланованої кількості подальших підрозділів.

Багатофакторні експерименти можуть бути організовані не лише за принципом розщеплених ділянок, а й із застосуванням дизайну рендомізованих повних блоків, за умови, що в межах кожного реплікату буде представлено повний набір експериментальних варіантів згідно з прийнятою схемою дослідження.

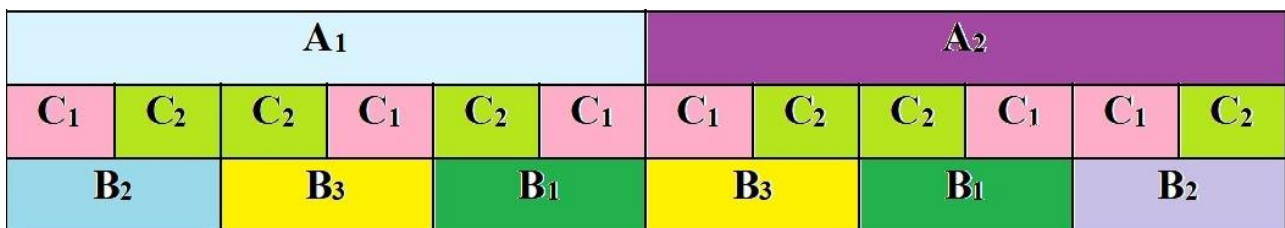


Рис. 3.11. Розміщення варіантів методом розщеплених ділянок двох градацій фактору А , трьох градацій фактору В і двох градацій фактору С в одному повторенні

Метод змішування факторів (конфаундинг) є експериментальним підходом, який дозволяє пріоритетно оцінювати головні ефекти факторів першого порядку, при цьому зменшуючи акцент на взаємодіях вищих порядків. Як демонструють візуальні дані на схемах 3.10 та 3.11, експериментальні одиниці, що належать до факторів наступного порядку (наприклад, фактор В порівняно з фактором А, та фактор С порівняно з фактором В), представлені з

вищою частотою. Отже, кожен фактор вищого рівня піддається значно ретельнішому контролю в межах дослідження, ніж фактор попереднього рівня.

Для забезпечення достовірної оцінки головних факторів першого порядку, *експериментальні повторення групуються в дискретні блоки*. Це призводить до порушення початкової систематики розташування варіантів, які, по суті, піддаються змішуванню. Саме через цю специфічну організацію дослідних варіантів даний метод отримав назву "метод змішування". Важливо зазначити, що у межах кожного сформованого блоку розміщення груп варіантів здійснюється за принципом випадковості. Приклад такої конфігурації для трифакторного експерименту з двома рівнями кожного фактора, що охоплює вісім варіантів у чотирьох повтореннях, ілюструється на рис. 3.12.

1		2		3		4			
I	001	111	011	101	000	110	100	010	II
	100	010	000	110	011	101	111	001	
III	101	000	111	100	010	100	011	101	IV
	110	011	001	010	001	111	110	000	
5		6		7		8			

Рис. 3.12. Розміщення восьми варіантів у чотирьох повтореннях і двох блоках методом змішування (I – IV – повторення, 1-8 – блоки)

Пропонується до розгляду восьмифакторна класична експериментальна схема дослідження впливу добрив. Ключовими факторами виступають азотні (N), фосфорні (P) та калійні (K) добрива, кожен з яких вивчається у двох рівнях: 0 (відсутність) та 1 (наявність). Варіанти досліду та їхнє кодування наведено наступним чином: 1) 000; 2) 100; 3) 010; 4) 001; 5) 110; 6) 101; 7) 011; 8) 111.

З цих восьми варіантів, згідно з алгоритмом Ф. Єйтса, формуються дві групи, які є еквівалентними за сумою рівнів кожного фактора: перша група

включає варіанти 1, 5, 6, 7, а друга – 2, 3, 4, 8. Важливою умовою коректного групування є рівність суми рівнів кожного фактора в усіх блоках. Як приклад, у блоці 1 першої реплікації, сума перших цифр у кодах складає $0+1+1+0=2$, сума других цифр – $0+1+0+1=2$, а сума третіх цифр – $1+1+0+0=2$. Ефективність застосування методу змішування зростає зі збільшенням кількості експериментальних варіантів.

Систематичний підхід до розміщення варіантів. Систематичний, або послідовний, метод передбачає розміщення експериментальних варіантів у чіткій відповідності до їхнього порядку, визначеного у схемі дослідження. Його модифікаціями є однорядне (рис. 3.13), дворядне (рис. 3.14) та багаторядне (рис. 3.15) розміщення. Цей метод розташування ділянок застосовується на земельних масивах, що характеризуються однорідною родючістю ґрунту по всій їхній площі.



Рис. 3.13. Систематичне розміщення п'яти варіантів у чотирьох повтореннях в один ярус

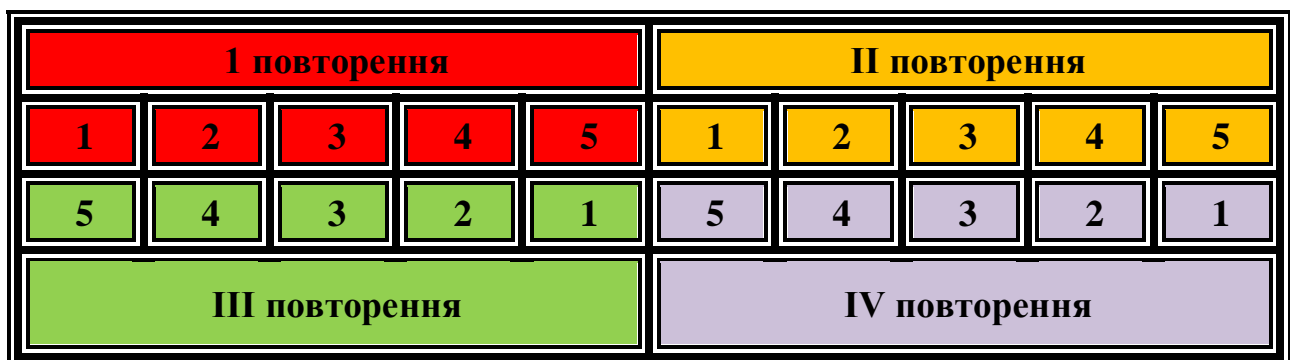


Рис. 3.14. Систематичне розміщення п'яти варіантів у чотирьох повтореннях у два яруси

1	2	3	4	5	I повторення
2	3	4	5	1	II повторення
3	4	5	1	2	III повторення
4	5	1	2	3	IV повторення

Рис. 3.15. Систематичне розміщення п'яти варіантів у чотирьох повтореннях у чотири яруси

Стандартний метод розміщення експериментальних варіантів передбачає розташування контрольної (стандартної) ділянки безпосередньо поряд з кожним досліджуваним варіантом або між двома послідовними. Цей підхід демонструє високу ефективність у випадках значної просторової мінливості ґрунтової родючості.

Ямб-метод базується на інтеркаляції стандартного контролю (Ст) після кожного дослідного варіанту (рис. 3.16). Його застосування є доцільним за умов різких флуктуацій ґрунтової родючості на експериментальній ділянці. Однак, суттєвим недоліком є те, що стандартний контроль займає до 50% загальної площі експерименту.

I повторення						II повторення						III повторення						
Ст	1	Ст	2	Ст	3	Ст	2	Ст	1	Ст	3	Ст	3	Ст	2	Ст	1	Ст

Рис. 3.16. Розміщення трьох дослідних сортів (1,2 і 3) і стандарту (Ст) ямб-методом

Дактиль-метод передбачає розміщення ділянок зі стандартом (Ст) через кожні два дослідні варіанти (рис. 3.17). Цей підхід є релевантним при менш вираженій просторовій неоднорідності ґрунтових умов, надаючи можливість

оптимізувати використання площі за рахунок скорочення ділянок під стандарт до однієї третини.

Спільною характеристикою для систематичних (наприклад, ямбового та дактилевого) методів є те, що експериментальне дослідження має розпочинатися і завершуватися з контрольного стандарту. Переважно, стандартизовані схеми розміщення застосовуються у програмах сортового випробування.

I повторення						II повторення						III повторення						
Ст	1	2	Ст	3	4	Ст	1	2	Ст	3	4	Ст	1	2	Ст	3	4	Ст

Рис. 3.17. Розміщення чотирьох дослідних сортів (1,2,3 і 4) і стандарту (Ст) дактиль-методом

Передумови для впровадження цього підходу включають:

1. Наявність значної площі, доступної для проведення дослідю.
2. Обмежені розміри експериментальних ділянок (що є особливо актуальним при вивченні нових сортів в умовах дефіциту посівного матеріалу).

Експериментальні варіанти можуть бути розташовані як у послідовному (систематичному), так і у випадковому (рандомізованому) порядку. Слід зазначити, що рандомізований підхід до чергування сприяє підвищенню об'єктивності та ефективності результатів дослідження, отриманих за допомогою стандартизованого методу.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте ключові чинники, що детермінують вибір методології розташування повторень та варіативних елементів.

2. Сформулюйте дефініцію концепції методу розташування варіантів.
3. Опишіть методичні підходи, що застосовуються для реалізації випадкового розташування варіантів.
4. Визначте спільні характеристики, притаманні різним варіаціям випадкового методу.
5. Представте та обґрунтуйте сутність існуючих методик рендомізації.
6. Проаналізуйте передумови, за яких дослідник може застосовувати методику рендомізованих повторень у експерименті, та ілюструйте це на конкретному прикладі.
7. Сформулюйте дефініцію методики рендомізованих латинських квадратів, визначте її переваги та недоліки, демонструючи їх на практичному прикладі.
8. Визначте специфічні умови, які уможливають застосування методики рендомізованого латинського прямокутника для розташування варіантів.
9. Наведіть приклад експерименту, в якому оптимальним є використання методики повної рендомізації для розташування варіантів.
10. Розкрийте фундаментальну сутність методики рендомізованих розщеплених ділянок.
11. Обґрунтуйте причини та визначте умови, за яких дослідник застосовує метод змішування для розташування варіантів у експерименті, розкривши його основні принципи.
12. Проаналізуйте позитивні та негативні аспекти застосування випадкового методу розташування варіантів у експериментальному дослідженні.
13. Визначте обставини, за яких доцільно надавати перевагу систематичному методу розташування варіантів у експериментальному дослідженні.
14. Окресліть типові контексти експериментальних досліджень, де застосовується стандартизований метод розташування варіантів.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

З урахуванням методичних підходів та схеми запланованого наукового дослідження, необхідно обґрунтувати вибір оптимального методу та відповідного субметоду для просторового розміщення експериментальних варіантів у польових умовах. Отримані рішення слід ілюструвати схематично.

3.5 Вибір і підготовка земельної ділянки під дослід

При виборі ділянки для проведення досліджень її параметри обчислюють шляхом кількісного аналізу. Відповідно до поставлених завдань та специфіки експерименту заздалегідь встановлюють загальні габарити та конфігурацію дослідного полігону, із залученням буферних зон та транспортних магістралей навколо [84,85].

Під час селекції земельної ділянки здійснюють комплексне ґрунтово-біологічне обстеження, що включає аналіз історії агроценозів, дослідження вегетаційного покриву, а також вивчення макро- та мікрорельєфних особливостей території. З огляду на специфіку досліджуваної культури, обирають ґрунти, що відповідають встановленим агрохімічним параметрам, мають репрезентативне для регіону підґрунття та характерний рівень залягання ґрунтових вод. На відведеній площі виконують вирівнювальні та попередні (рекогносцирувальні) посівні роботи.

Ґрунтово-біологічне обстеження території. Вибір ділянки для проведення експерименту базується на дослідницькій програмі, комплексі природних факторів та біологічних вимогах культур. Геоморфологічні особливості (рельєф, крутизна та експозиція схилу), а також ґрунтовий покрив, підґрунття та гідрологічний режим (рівень ґрунтових вод) на експериментальній ділянці повинні максимально відповідати тим умовам, у яких культивується

дослідний вид у типовій для нього ґрунтово-кліматичній зоні, регіоні чи агровиробничому районі. У процесі дослідження необхідно дотримуватися принципу виробничої репрезентативності експерименту, орієнтуючись на передові агротехнологічні практики та провідні господарства регіону.

Вибір попередніх культур є критично важливим для успішного вирощування наступних культурних рослин. Зокрема, для озимої пшениці в умовах центрального Лісостепу доцільними попередниками є сидеральні пари, багаторічні бобові трави, горох, кукурудза на зелений корм, тоді як у Степовій зоні перевага надається чистому пару. На Поліссі ж оптимальними попередниками вважаються льон та картопля. Експериментальні ділянки для цукрових буряків та соняшнику зазвичай розміщують після озимої пшениці або інших відповідних культур.

При виборі ділянки для проведення експериментальних робіт ключовим аспектом є забезпечення гомогенності ґрунтового покриву. Проте, ідентичний експеримент може бути реалізований на ділянках з різним типом ґрунту або схилами, якщо ці параметри (крутизна схилу або властивості ґрунту) самі є предметом наукового вивчення.

Топографічне положення експериментальної площі має бути максимально рівним, оскільки наявність схилів здатна негативно вплинути на достовірність отриманих результатів. Кут нахилу схилів має відповідати типовим характеристикам регіону, де передбачається проведення експерименту. Переважно обирають схили з рівномірною поверхнею та однорідною структурою. На дослідній ділянці слід уникати наявності локальних понижень або западин, за винятком випадків, коли їх вивчення є частиною експериментальної програми. Як було раніше зазначено, експериментальні ділянки слід орієнтувати довшою стороною вздовж лінії схилу. На обраній земельній площі обов'язковим є проведення нівелювання. У науково-дослідних установах це здійснюється з інтервалом горизонталей у 0,2 м, тоді як у виробничих умовах допускається інтервал у 1 м.

До початку польових експериментальних досліджень здійснюється ретельне *геодіагностичне обстеження території*. Метою цього є комплексна характеристика ґрунтового покриву, підстилаючих порід, гідрологічного режиму (включаючи рівень ґрунтових вод) та інших геоecологічних параметрів.

З метою детального *дослідження морфології ґрунтових профілів* виконуються ґрунтові розрізи глибиною 1,5—2 метри, які закладаються по діагональних лініях дослідної ділянки. Периферичні розрізи розміщуються на межах експериментальної площі, а центральні — у місцях передбачуваного розташування службових доріг або захисних смуг. Між основними розрізами додатково закладаються шурфи (прикопки) глибиною 40—60 см. За результатами цих польових робіт складається ґрунтова карта у масштабі 1 : 5000. З кожного ґрунтового розрізу та шурфу відбираються репрезентативні зразки ґрунту для подальшого фізико-хімічного аналізу.

Ґрунтове обстеження є критично важливим для об'єктивного виділення експериментальних реплікацій та оптимального вибору схеми розміщення варіантів досліду.

У межах одного експерименту для підзолистих ґрунтів допустимими вважаються варіації від середньо- до слабкопідзолистих. Проте, кожна така ґрунтова відмінність має бути представлена окремими повтореннями. Не рекомендується закладати експерименти на перезволожених (заболочених) ґрунтах Полісся та засолених ґрунтах Степу, за винятком випадків, коли саме ці особливості (перезволоженість, засоленість) є безпосереднім предметом наукового вивчення.

Дослідження історії оброблюваних угідь. Під час агрономічного обстеження сільськогосподарських угідь проводиться детальний аналіз їхньої попередньої історії використання. Встановлюються дані щодо видів сільськогосподарських культур, що вирощувались на даній ділянці у попередні періоди, а також послідовність їх розміщення у сівозміні, включаючи безпосередніх попередників та культури, що передували їм. Рекомендується

мати інформацію про історію поля за період щонайменше 2-3 років, а оптимально – за повний цикл ротації сівозміни.

Особлива увага приділяється ідентифікації чинників, які істотно впливають на динаміку ґрунтової родючості. До таких чинників належать: додавання високих норм вапнуючих матеріалів на певних ділянках; внесення фосфорних чи інших мінеральних та органічних добрив у значних обсягах, або їх систематичне застосування протягом кількох послідовних років; а також довготривале культивування багаторічних трав. Залишкова дія багатьох із зазначених факторів може спостерігатися протягом 2-3 років, тоді як ефект від вапнування ґрунту може зберігатися до 10 років.

При аналізі історії використання угідь також необхідно враховувати ступінь окультуреності ґрунту, що включає такі показники, як глибина орного шару, потенційна родючість, показник рН ґрунтового розчину, а також наявність насінневого банку бур'янів. Інформація з агрономічних журналів чи карт полів дозволяє встановити дані про місця, терміни, види та норми внесення добрив, зокрема органічних, які суттєво впливають на динаміку ґрунтової родючості. Норми внесення добрив, їх агрегатний стан, глибина, строки та методи застосування в попередні періоди мають бути уніфікованими на всій території запланованого дослідження. Аналогічно, агротехнічні заходи з обробітку ґрунту на цих ділянках також повинні бути однорідними.

Ділянки, де раніше розташовувалися літні табори для худоби, довготривалі ґрунтові дороги, глибокі виїмки та западини (навіть якщо вони були засипані), місця розташування будівель, скірт соломи або гноєсховищ, повинні бути виключені з площі проведення експерименту.

Аналіз рослинного покриву. Високий рівень урожайності попередніх сільськогосподарських культур є індикатором високої ґрунтової родючості, її окультуреності та відповідності для проведення експериментальних робіт. Також враховується наявність у посівах рослин-індикаторів, таких як хвощ польовий або щавель, що можуть свідчити про підвищену кислотність ґрунтів.

Наявність солянкової рослинності, в свою чергу, вказує на засолення ґрунтового субстрату.

Аналіз топографічних характеристик та мікрорельєфу місцевості.

Рельєф дослідної ділянки повинен бути репрезентативним для відповідної зони досліджень та забезпечувати захист експериментальних культур від дії інтенсивних вітрів та суховіїв. При цьому слід враховувати напрямок панівних вітрів при проектуванні захисних лісосмуг або ефективно використовувати вже існуючі. Для забезпечення гомогенних умов для рослин в межах одного експерименту, необхідно обирати ділянки з уніфікованими морфологічними характеристиками та експозицією схилу. Оскільки на результати дослідження може впливати не лише макрорельєф, а й локальні топографічні форми (мікрозападини, підвищення, дренажні елементи), необхідним є ретельне вирівнювання поверхні ділянки.

Підбір ґрунтового покриву для основних дослідних культур. Як правило, експериментальні дослідження доцільно проводити на ґрунтах, на яких широко культивуються сільськогосподарські культури у конкретній ґрунтово-кліматичній зоні.

Вибір місця для дослідної ділянки. Площу для проведення дослідження слід обирати на певній відстані від лісових масивів (50-70 м). Від лісосмуг відступ має становити не менше півтора-двократної її висоти, що дозволяє мінімізувати вплив деревної рослинності на експериментальні культури. Від суцільних огорож ділянку розміщують на відстані не ближче 15-20 м, задля забезпечення належного повітрообміну та уникнення затінення дослідних рослин. Аналогічна відстань має дотримуватися до ґрунтових доріг. Розміщення дослідів подалі від автомагістралей є важливим фактором, оскільки викиди автотранспорту можуть негативно впливати на рослини. Також доцільно уникати розміщення ділянок поблизу населених пунктів, де домашні тварини можуть завдавати шкоди посівам, а мешканці можуть утворювати непроєктні стежки. У випадку розміщення дослідів поблизу населеного пункту, рекомендується огороджувати ділянку металеву сіткою.

Підготовка земельної ділянки для експерименту. Як зазначалося раніше, навіть ретельно вирівняна ділянка, обрана для досліду, може мати неоднорідну ґрунтову родючість, тому вимагає додаткового вирівнювання. Після цього ґрунт культивують до необхідної глибини орного шару. Якщо дослідження інтегровано у сівозміну, то застосовують спеціалізовані сівозміни або їх елементи з диференційованими системами удобрення.

Для уніфікації ґрунтової родючості та підвищення культурності ґрунту застосовують *вирівнювальні посіви*. Цей метод передбачає висів єдиної культури одного сорту із застосуванням ідентичної агротехніки на всій площі майбутнього досліду протягом двох-трьох вегетаційних періодів. Принцип дії цього агротехнічного заходу базується на наступному: на ділянках з вищою початковою родючістю ґрунту формується більший урожай, що призводить до інтенсивнішого винесення поживних речовин; тоді як на ділянках з меншою родючістю винесення елементів живлення з урожаєм є менш значним. Протягом двох-трьох років подібна практика сприяє нівелюванню відмінностей у ґрунтовій родючості під цими посівами.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть, як і з якою метою здійснюють ґрунтово-біологічне обстеження території перед закладанням агрономічних дослідів.
2. Охарактеризуйте критерії вибору оптимального попередника для досліджуваної сільськогосподарської культури.
3. Як обирають топографічне положення дослідної ділянки?
4. Опишіть мету і суть геодіагностичного обстеження території перед закладанням агрономічних дослідів.
5. Що може розповісти “історія поля” для вченого-агронома?
6. Які характеристики земельної ділянки показує аналіз рослинного покриву на ній?

7. Яке оптимальне розташування агрономічної дослідної ділянки по відношенню до лісових масивів, лісосмуг, суцільних загорож і автомобільних доріг?

8. Яким чином “вирівнює” родючість ґрунту вирівнювальний посів?

3.6 Планування супутніх спостережень

Дослідницька програма визначає комплекс спостережень, необхідних для реалізації поставлених завдань, з урахуванням наявних можливостей. Серед основних видів спостережень виділяють *метеорологічні, фенологічні, а також ентомологічні та фітопатологічні*.

Комплексний аналіз результатів польових спостережень та лабораторних досліджень надає можливість всебічно обґрунтувати вплив зовнішніх умов та факторів на продуктивність сільськогосподарських культур і якість одержуваної продукції.

Метеорологічні спостереження охоплюють реєстрацію температурного режиму повітря та ґрунту, характеристик атмосферних опадів (зокрема їхнього типу, об'єму та інтенсивності), термінів настання заморозків і відлиг, висоти снігового покриву та інших відповідних показників. Для аналізу найчастіше застосовуються узагальнені декадні, місячні та річні дані щодо кількості опадів і температурного режиму. Під час сортовипробування особлива увага приділяється метеорологічним умовам в період входження рослин у зимовий спокій, перебігу зимівлі, початку весняної вегетації, а також наявності льодової кірки та параметрам снігового покриву.

Фенологічні спостереження спрямовані на реєстрацію термінів настання фенологічних фаз та етапів органогенезу рослин. Для озимих культур (пшениця, жито, ячмінь) фенологічні спостереження передбачають моніторинг появи сходів, досягнення повної схожості, фаз куціння, колосіння, цвітіння та визначення стадій стиглості зерна (молочна, воскова, повна). Щодо ярих культур (пшениця, ячмінь, овес,

просо), фіксуються такі фенологічні явища, як поява сходів, повна схожість, початок кушіння, фази колосіння або викидання волоті, а також стадії стиглості зерна (молочна, за винятком проса, воскова, повна).

Основними категоріями дослідницьких спостережень, що проводяться в аграрній сфері, є: фенологічні спостереження; моніторинг стану посівів (зокрема, густоти рослин, розвитку вегетативної маси, структури врожаю); фітопатологічні та ентомологічні дослідження; а також оцінка рівня засміченості сільськогосподарських угідь.

Особливості проведення фенологічних спостережень для озимих, ярих, зернобобових культур. Для зернобобових культур фенологічні спостереження охоплюють фіксацію таких етапів розвитку, як: поява повних сходів, фази початку та повного цвітіння, а також моменти початку та настання господарської стиглості зерна.

Особливості проведення фенологічних спостережень для плодових культур та кукурудзи. Фенологічні спостереження для кукурудзи включають фіксацію початку та повного розвитку сходів, етапів початку та появи чоловічих суцвіть (мітелок), а також початку та повного цвітіння жіночих суцвіть (качанів) із появою ниток. Додатково відстежуються всі стадії дозрівання зерна: молочна, молочно-воскова, воскова та повна стиглість. Щодо плодових культур, то для них визначають наступні фенофази: період розпускання бруньок, стадії початку та завершення цвітіння, припинення росту пагонів, фазу дозрівання плодів, а також початок і кінець листопаду, що позначає завершення вегетаційного періоду.

Основна мета проведення фенологічних спостережень полягає у виявленні та аналізі чинників, які спричиняють зміни у часових рамках настання окремих фенологічних фаз розвитку рослин. Це дозволяє глибше зрозуміти взаємодію рослинного організму з навколишнім середовищем та адаптацію до нього.

Фітопатологічні спостереження охоплюють моніторинг пошкоджень та випадків загибелі рослин, спричинених патогенними організмами. Зокрема, на зернових культурах реєструється наявність та ступінь розвитку таких захворювань, як: снігова пліснява, кореневі гнилі, борошниста роса, різні види іржі (бура, жовта, стеблова), вірусні хвороби, септоріоз, сажка та ріжок, які вражають стебла та колосся.

Ентомологічні спостереження, у свою чергу, зосереджені на виявленні та ідентифікації шкідників, які можуть завдавати шкоди посівам, особливо зерновим культурам. До них відносяться внутрішньостеблові шкідники (наприклад, гессенська, шведська мухи), а також такі види, як клоп-черепашка, попелиці та кузька.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які супутні спостереження є найбільш інформативними з точки зору впливу на результати агрономічного дослідження?
2. Опишіть показники, що входять до метеорологічних спостережень.
3. Охарактеризуйте особливості проведення фенологічних спостережень для зернових культур.
4. Опишіть суть фітопатологічних і ентомологічних спостережень під час проведення агрономічних досліджень.

ТЕМА 4. ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ. СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗ. МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ДОСЛІДІВ

4.1 Загальне поняття про математичну статистику і її роль у агрономічній науці

4.2

Слово «статистика» має латинське походження, від терміна «status», що означає «стан» або «становище». У наукову термінологію його вперше ввів німецький науковець Г. Ахенваль у середині XVII століття. Тоді воно позначало політичний стан держави: «stato» перекладається як «держава», а «statistika» — як сукупність знань про неї. Осіб, які володіли інформацією про устрій та стан справ у різних державах, тобто державних діячів і політиків, називали «statista» [86].

Виникнення статистики як практики пов'язане з країнами Стародавнього Сходу, де вперше були сформовані розвинені системи адміністративного та державного обліку. Це зумовлювалося створенням держав, зростаючими потребами населення та процесами їхнього становлення й розвитку. Для ефективного управління державою вимагалася інформація про безліч різноманітних показників, таких як чисельність та склад населення, стан торгівлі, земельні угіддя тощо. Регулярні військові конфлікти, збір податків, державне управління та торгівля створювали потребу в даних щодо кількості населення, розміру земель, лісів, поголів'я худоби.

З часом статистичні методи почали систематизуватися та вдосконалюватися. З них виділилися два основні напрямки: *описовий (дескриптивний)*, що включає збирання інформації, перевірку її якості, інтерпретацію та представлення статистичного матеріалу; та *індуктивний*, який передбачає застосування теорії ймовірності та закону великих чисел.

Математична статистика як наука виникла на стику практичного обліку та теорії ймовірностей, розвинувшись у самостійну науку в XVII–XIX століттях задля обробки масових даних. Її поява зумовлена потребою держав аналізувати населення та економіку, а згодом — потребою науки в методах аналізу невизначеності, засновниками чого вважають Карла Пірсона та інших вчених.

Основні етапи появи та розвитку математичної статистики:

Передумови (XVII–XVIII ст.): Розвиток ідей описової статистики (облік населення, економіки) та перші спроби застосування теорії ймовірностей до аналізу випадкових подій.

Виникнення (XIX ст.): Поява методу найменших квадратів (Гаусс, Лежандр), розробка теорії помилок та поняття про нормальний розподіл, що дозволило пов'язати імовірнісні моделі з реальними даними.

Становлення (кінець XIX – поч. XX ст.): Формування основ математичної статистики як самостійної дисципліни, пов'язане з іменами Карла Пірсона (засновник), Френсіса Гальтона, Вільяма Госсета (Стюдент). Вони розробили методи кореляційного аналізу, перевірки статистичних гіпотез та оцінювання параметрів.

Сучасний етап: Розвиток послідовного аналізу, теорії статистичних рішень (пов'язана з теорією ігор) та широке застосування в біології, економіці, техніці.

Вона стала необхідною для обробки масових явищ, які не можна описати точними детермінованими законами, пропонуючи інструменти для прийняття рішень за умов невизначеності.

Історичні праці про становлення математичної статистики “розкривають очі” на той факт, що математична статистика як наука зародилася із спроб науково обґрунтувати “євгеніку” (назва походить від грецького “євгеній” - “шляхетний”, соціальна псевдонаука і філософська течія, що ставить на меті “покращення” населення і виправдовує сегрегацію за расовими, етнічними, фізичними, інтелектуальними, соціальними ознаками) [86-88]. Як буде показано далі, це не зовсім так (хоча, звісно, захоплення євгенікою деякого з “батьків” математичної статистики суттєво покращувало їх положення у суспільстві і матеріальне забезпечення, дозволяючи більше часу приділяти теоретичним дослідженням у галузі статистики).

Карл Пірсон (Carl Pearson) – видатний англійський учений, чії наукові інтереси охоплювали математику, статистику, біологію, євгеніку. Упродовж 1884-1911 років він обіймав посаду професора прикладної математики та механіки в

Лондонському університеті. З 1911 року Пірсон керував Лабораторією еволюції цього ж університету, де йому було присвоєно звання заслуженого професора.

Його науковий доробок включає понад 400 фундаментальних публікацій у галузі математичної статистики. Пірсон є творцем теорії кореляції, розробником критеріїв узгодженості та методології прийняття рішень для оцінки параметрів.

З ім'ям Карла Пірсона нерозривно пов'язані такі ключові поняття та методології, які широко застосовуються в сучасній статистиці:

Критерій узгодженості Пірсона (χ^2) – один із фундаментальних і найпоширеніших статистичних тестів, відомий також як «критерій хі-квадрат». Його призначення – перевірка гіпотез щодо відповідності спостережуваних даних певному теоретичному закону розподілу.

Коефіцієнт кореляції Пірсона (Pearson correlation coefficient, PCC) – це статистичний показник, призначений для кількісної оцінки сили та напрямку лінійного взаємозв'язку між двома змінними. Він визначається як відношення коваріації двох наборів даних до добутку їхніх стандартних відхилень.

Коефіцієнт кореляції рангів – показник, що вимірює ступінь узгодженості або подібності між двома ранжованими наборами даних. Він використовується для оцінки статистичної значущості виявленого співвідношення.

Коефіцієнт варіації (coefficient of variation, cv) – це відносна міра розсіювання, яка характеризує ступінь мінливості або гетерогенності даних. Він розраховується як відношення стандартного (середнього квадратичного) відхилення до середнього арифметичного значення і зазвичай виражається у відсотках ($cv = S/\bar{x}$ (%)).

Критерій Стьюдента (t-критерій або t-тест) був вперше представлений **Вільямом Сілі Госсетом** (William Sealy Gosset) у 1908 році під час його професійної діяльності як хіміка на пивоварні Guinness у Дубліні. На той час Госсет стикнувся з проблемою оцінки якості пива за малими партіями (маленькі вибірки), коли використання великих вибірок (для нормального розподілу) було неможливим. Госсет зрозумів, що на малих вибірках стандартне відхилення сильно коливається, і розробив новий розподіл ймовірностей (t-розподіл), який враховує цей розмір вибірки. З огляду на корпоративні обмеження щодо публікації наукових досліджень (пивоварня не

дозволяла співробітникам публікувати наукові дослідження), Госсет оприлюднив свою методологію, використовуючи псевдонім «Student». Цей статистичний критерій було розроблено з метою забезпечення надійного порівняння середніх значень у випадках, коли об'єм вибірки був малим, що унеможливило застосування традиційних статистичних підходів, заснованих на припущеннях класичного нормального розподілу. Його роботу пізніше розвинув Рональд Фішер, зробивши t-критерій стандартом у наукових дослідженнях.

Сер Рональд Ейлмер Фішер (Sir Ronald Aylmer Fisher) — англійський статистик, теоретик-еволюціоніст, генетик та євгеник (ввів поняття “демографічного потенціалу населення”, гіпотезу “привабливого сина”, теорію “статевого добору”, засновник кількісної генетики і генетики популяцій). Попри все вищеперелічене, його внесок у математичну статистику є настільки вагомим, що його нароби використовуються і у наш час. Під час своєї праці (з 1919 до 1933 року) у Ротамстедській дослідній станції (Rothamsted Research — найстаріша у світі сільськогосподарська дослідницька установа, заснована Джоном Беннетом Лоусом у 1843 році) Рональд Фішер розробив основи планування і статистичного аналізу агрономічного експерименту. Так, у своїй книзі «Планування експериментів» (1935) він наводить основні принципи планування експерименту, якими ми користуємося і досі:

Порівняння. У численних галузях досліджень абсолютне відтворення точних результатів вимірювань часто виявляється складним. Водночас, порівняння між різними умовами є значно легшим для реплікації, і тому їм зазвичай віддають перевагу. Нерідко такі порівняння здійснюються відносно еталонних або типових умов, що слугують базовим референсним пунктом.

Рандомізація. Існує математична теорія, що вивчає наслідки розподілу експериментальних одиниць за допомогою стохастичних механізмів, таких як таблиці випадкових чисел або спеціалізовані пристрої рандомізації (наприклад, гральні карти чи кості). За умови достатньої вибірки, ймовірності похибок, пов'язаних з випадковим розподілом (як-от відсутність репрезентативної вибірки в опитуваннях або значний дисбаланс ключових характеристик між експериментальними та контрольними

групами), можуть бути кількісно оцінені й, відповідно, мінімізовані до толерантного порогу. Важливо зазначити, що поняття "випадковий" не тотожне "неорганізованому", отже, необхідно забезпечити застосування адекватних стохастичних методів.

Реплікація. У процесі вимірювань варіації можуть спостерігатися як при послідовних вимірюваннях одного й того ж об'єкта, так і серед реплікованих об'єктів чи процесів. Повторні спостереження реплікованих елементів є необхідними для точної оцінки величини похибки.

Блокування. Блокування полягає у структуруванні експериментальних елементів у групи (блоки), які характеризуються гомогенністю. Цей підхід нейтралізує відомі, але небажані джерела варіації між одиницями, тим самим підвищуючи точність в оцінці ефектів досліджуваного фактора.

Ортогональність. Ортогональність відноситься до властивостей порівнянь (контрастів), які можуть бути оптимально реалізовані. Контрасти можуть бути представлені векторами, а групи ортогональних контрастів є статистично незалежними та розподіленими незалежно, за умови, що дані відповідають нормальному розподілу. Завдяки цій незалежності кожна ортогональна умова вносить унікальний внесок в інформаційний простір. Якщо існує T умов і $T-1$ ортогональних контрастів, то повний обсяг інформації, яка може бути вилучена з експерименту, може бути отриманий з цих контрастів.

Факторіальні експерименти. Цей підхід передбачає одночасне вивчення кількох факторів, на відміну від однофакторних дизайнів. Факторіальні експерименти є оптимальними для оцінки як прямих ефектів, так і потенційних взаємодій між численними факторами (незалежними змінними).

Методологія планування експерименту ґрунтується на принципах дисперсійного аналізу – наборі статистичних моделей, у яких загальна варіативність спостережуваних даних декомпонована на складові, відповідно до впливу різних факторів, що оцінюються та/або тестуються.

Як статистику сільськогосподарської дослідної станції Рональду Фішеру потрібно було одночасно оцінити вплив різних добрив, сортів рослин та кліматичних умов на врожайність, що не дозволяли зробити попередні статистичні методи

(наприклад, t-критерій Стьюдента, що порівнював лише дві групи). Він вирішив цю проблему, розробивши *метод Дисперсійного аналізу* (ANOVA — Analysis of Variance), як інструмент для обробки результатів сільськогосподарських експериментів, дозволяючи розділити загальну варіативність даних на компоненти, зумовлені різними факторами, та визначити статистичну значущість впливу цих факторів. Метод викладено у його фундаментальних працях «Статистичні методи для дослідників» (1925) та «Дизайн експериментів» (1935). ANOVA став основою експериментальної статистики, дозволяючи перевіряти гіпотези про рівність середніх значень у декількох групах одночасно. Фішерівський дисперсійний аналіз (названий на честь автора) кардинально змінив підхід до наукових досліджень, уможлививши ефективний аналіз складних експериментів. Дисперсійний аналіз застосовується у різних формах в залежності від структури об'єкту, що досліджується; вибір відповідної форми є однією з головних проблем у практичному застосуванні цієї методики.

На сьогодні застосування методів математичної статистики виявляється вкрай важливим для досягнення Цілей сталого розвитку [89]. Друга ціль сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй (UNSDG-2) спрямована на досягнення викорінення голоду разом із забезпеченням продовольчої безпеки для всіх людей до 2030 року. Цього неможливо досягти без поєднання всіх форм наук, включаючи математику та статистику, з сільськогосподарською практикою для забезпечення сталого сільського господарства. Сільське господарство вважається основою економічних систем країн, що розвиваються, та розвинених країн. Однак, під час здійснення цієї діяльності виникають різні суперечливі питання, які ускладнюють ситуацію для сільськогосподарської галузі в процесі прийняття рішень. *Методи багатокритеріального прийняття рішень* (Multi-criteria decision-making (MCDM)) можуть забезпечити оптимальне рішення, і вони довели свою життєздатність у різних складних проблемах прийняття рішень у реальному світі, таких як проблеми прийняття рішень, пов'язані з сільським господарством. Вони можуть допомогти знайти відповідну альтернативу для конкретної складної ситуації. *Процес аналітичної ієрархії* (analytical hierarchy process (AHP)) – це метод MCDM, де проблема спочатку

структурується. Ця структура містить усі пов'язані аспекти, як якісні, так і кількісні, а потім надає вагу кожному розглянутому елементу.

Стале (стабільне) сільське господарство – це термін, що описує такі сільськогосподарські практики для задоволення поточних потреб суспільства в продуктах харчування та текстилі, що не жертвують здатністю майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Управління ґрунтом, водою, врожаєм, хворобами/шкідниками та відходами є основними компонентами сталого сільського господарства. Проблеми прийняття рішень у сільському господарстві є важливими як з економічної, так і з соціальної точки зору. Сільськогосподарське планування відіграє важливу роль у загальному зростанні будь-якої країни, враховуючи сучасний сценарій. Через зростання населення світу також зріс попит на сільськогосподарську продукцію. Для досягнення продовольчої безпеки для всіх та забезпечення сталого розвитку сільського господарства планування та прийняття рішень є найважливішими частинами вирішення сільськогосподарських проблем, таких як оцінка якості ґрунту, прийняття відповідного методу зрошення для певної території, знання факторів ризику, пов'язаних із сільським господарством. Вирішення цих сільськогосподарських проблем може бути досягнуто лише шляхом належної оцінки застосованої методології.

Звичайні практики статистичної обробки даних можуть здаватися (і насправді такими є) копіткими і задушливими, проте завдяки ним нові дані та технології надають нам усім нові можливості.

4.2 Ключові завдання та поняття математичної статистики

Математична статистика — це галузь математики, що базується на принципах теорії ймовірностей. Вона займається розробкою та застосуванням методів збору, упорядкування, аналізу та інтерпретації числових даних з метою формулювання науково обґрунтованих висновків та практичних рекомендацій.

Теорія ймовірностей досліджує загальні принципи та закономірності, що керують випадковими подіями, які відбуваються у великих сукупностях, незалежно від їхньої конкретної природи.

Основна мета статистичного аналізу даних полягає у перевірці підтвердження або спростування висунутих гіпотез, що лежали в основі експерименту. Він також включає оцінку загальної ефективності та достовірності плану дослідження, а також обґрунтування отриманих висновків та подальших рекомендацій.

До ключових завдань математичної статистики належать [90—96]:

1. Проектування експериментів. Це передбачає забезпечення адекватної кількості експериментальних умов та реплікацій, створення ідентичних початкових умов для всіх варіантів досліду, а також оптимальний вибір методів статистичної обробки результатів. Ці питання ефективно вирішуються за допомогою методів математичного планування експерименту.

2. Відбір об'єктів дослідження. Об'єкти мають репрезентативно відображати дію досліджуваних факторів. Це включає застосування принципу випадкового відбору (рандомізації) при формуванні вибірки (наприклад, зразків ґрунту, рослин тощо) для забезпечення об'єктивності.

3. Визначення оптимального обсягу вибірки. Це допомагає встановити необхідну чисельність зразків для забезпечення статистичної значущості та ефективності дослідження.

4. Первинна обробка даних та відновлення пропущених значень. Цей етап включає підготовку даних до аналізу та, за необхідності, відновлення пропущених або втрачених даних за допомогою спеціальних математичних методів.

5. Оцінка відповідності даних теоретичним розподілам. Перевірка, чи належать отримані в експерименті дані до певного типу розподілу (наприклад, нормального). Для малих вибірок можуть застосовуватися специфічні критерії (наприклад, критерій Тау (τ)), а для великих — методи інтервального оцінювання, де враховується стандартна похибка середнього.

6. Оцінка статистичної значущості відмінностей. Визначення, чи є відмінності між середніми показниками різних вибірок статистично значущими, за допомогою відповідних статистичних критеріїв (наприклад, t-критерій Стьюдента, F-критерій Фішера) та концепції найменшої істотної різниці (НІР).

7. Розрахунок коефіцієнтів кореляції та кореляційних співвідношень. Обчислення коефіцієнтів кореляції (r) та кореляційних співвідношень (η) для виявлення та кількісної оцінки взаємозв'язків між різними параметрами (наприклад, між умовами навколишнього середовища та показниками розвитку рослини або між різними характеристиками одного об'єкта).

8. Побудова регресійних моделей та регресійний аналіз. Створення рівнянь регресії та проведення аналізу для лінійних або нелінійних залежностей. Це дозволяє здійснювати прогнозування та оцінювати невідомі значення показників на основі відомих факторів.

9. Оцінка точності та надійності дослідження. Для цього розраховується відносна похибка (Sx^- , %), на основі якої формулюються висновки щодо прецизійності та достовірності проведених експериментів.

Оскільки первинні експериментальні дані є основою для формування оцінок, висновків та рекомендацій, вони повинні бути об'єктивними та ретельно обробленими.

Ключовою умовою для застосування методів математичної статистики є коректне планування та проведення експериментів. У разі недотримання методології досліджень, жодні математичні засоби не зможуть компенсувати експериментальні похибки. Такі дослідження необхідно відхиляти.

Статистична достовірність полягає у встановленні значущості відмінностей між середніми значеннями, коефіцієнтами кореляції чи регресії за допомогою відповідних статистичних критеріїв.

Експериментальна похибка – це міра розбіжності між істинним значенням досліджуваного показника та отриманими результатами. Похибка досліду, виражена у відсотках, називається відносною.

Точність експерименту – це величина, обернена відносній похибці.

Основні символи, що використовуються в наукових дослідженнях: x – значення варіюючої незалежної ознаки, аргумента; y – значення залежної змінної ознаки, функції. \bar{x} – середня арифметична по варіанту; $N \bar{x}$ – загальна середня для всього досліджу; \sum – сума; V – коефіцієнт варіації; $S \bar{x}$ – похибка середньої арифметичної; $S \bar{x} \%$ – відносна похибка середньої арифметичної; $T \%$ – точність досліджу (100 – $S \bar{x} \%$); S_p – похибка частки; S_{max} – максимальне значення мінливості; $y \bar{x} S_h$ – похибка кореляційного відношення; S_R – похибка коефіцієнта регресії; S_r – похибка коефіцієнта лінійної кореляції; dS – похибка різниці між середніми арифметичними; S^2 – дисперсія, середній квадрат; S – стандартне відхилення, середнє квадратичне відхилення; d – різниця між середніми арифметичними; t_{ϕ} – критерій Стьюдента фактичний (розрахунковий); $P_{0,95}$, $P_{0,99}$ – рівні імовірності п'яти і однопроцентний; $t_{0,95}$ і $t_{0,99}$ – теоретичні значення критеріїв Стьюдента для рівнів імовірності $P_{0,95}$ і $P_{0,99}$; $F_{факт.}$ – критерій Фішера фактичний (розрахунковий); $F_{0,95}$ і $F_{0,99}$ – критерії Фішера теоретичні для рівнів імовірності $P_{0,95}$ і $P_{0,99}$; E – узагальнена похибка досліджу; $HP_{0,95}$ і $HP_{0,99}$ – найменші істотні різниці для рівнів імовірності $P_{0,95}$ і $P_{0,99}$; ℓ – кількість варіантів; n – число повторностей, обсяг вибірки; v – число ступенів вільності; C – коректуючий фактор; C_y , C_p , C_v , C_z , C_A , C_B , C_{AB} – суми квадратів розсіювань відповідно загального, повторень, варіантів, залишку (похибки), фактору А, фактору В, заємодії факторів АВ; r – коефіцієнт лінійної кореляції; η – кореляційне відношення; R_{xy} – коефіцієнт регресії; \pm – надійний інтервал; f – кількість ознаки (частота); i – інтервал групи; v – довільний момент першого ступеня; p – частка наявності ознаки; q – частка відсутності ознаки; t_r – критерій достовірності коефіцієнта кореляції; t_{η} – критерій достовірності кореляційного відношення.

Сукупність – це будь-яка група об'єктів або явищ, яка є предметом дослідження.

Генеральна сукупність – це повна сукупність усіх елементів або об'єктів, які є предметом дослідження.

Вибіркова сукупність (вибірка) – це частина об'єктів або елементів з генеральної сукупності, відібрана для безпосереднього вивчення.

Обсяг вибірки:

Велика вибірка – це вибірка, обсяг якої складає 30 або більше одиниць спостереження.

Мала вибірка – це вибірка, обсяг якої знаходиться в діапазоні від 20 до 30 одиниць спостереження.

Експериментальна одиниця – це окремий об'єкт або елемент експериментального матеріалу, який піддається впливу певного варіанта або фактора дослідження.

Мінливість (варіювання) – це внутрішня властивість експериментальних одиниць розрізнятися між собою, навіть якщо вони належать до однорідної сукупності.

Варіанта (x_i) – це окреме можливе значення змінної (варіюючої) ознаки.

Ранжований ряд – це послідовне упорядкування ряду даних або значень змінної ознаки за зростанням або спаданням.

Різновиди ранжованих рядів: варіаційні ряди для кількісної мінливості (кількісних ознак) та варіаційні ряди для якісної мінливості (якісних ознак).

Аналіз варіаційних рядів якісної та кількісної мінливості. Кількісна мінливість – це варіація, параметри якої вимірюються числовими показниками. Вона поділяється на такі види:

Безперервна: може набувати будь-яких значень у межах певного діапазону (як цілих, так і дробових).

Дискретна: приймає лише цілі, відокремлені значення.

Головні статистичні показники кількісної мінливості вибірки включають: середнє арифметичне (\bar{x}), стандартне відхилення (S), дисперсію (S^2), стандартну похибку середнього арифметичного значення ($S \bar{x}$), коефіцієнт варіації (V) та відносну похибку вибіркового середнього ($S \bar{x} \%$).

Середнє арифметичне (\bar{x}) – це узагальнювальний показник, що характеризує всю сукупність загалом (формула 4.1):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i \quad (4.1)$$

Де x_i - варіююча ознака ; n – кількість повторень.

Стандартне відхилення (S) – міра розсіювання окремих спостережень біля середнього значення ознаки (формула 4.2):

$$S = \sqrt{S^2} \quad (4.2)$$

Дисперсія (S^2) – середній квадрат відхилень кожного члена варіаційного ряду (x_i) від середньої арифметичної (\bar{x}):

$$S^2 = \frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4.3)$$

Коефіцієнт варіювання (V) – відношення стандартного відхилення (S) до середньої арифметичної (\bar{x}) даної сукупності виражене у %:

$$V = \frac{S \times 100}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

Інтерпретація значень V: якщо $V < 10\%$, то варіація незначна, висока однорідність виборки; $V = 10-20\%$ - середня варіація; $V = 20-33\%$ - значна варіація; $V \geq 33\%$ - сукупність неоднорідна, середня величина нетипова для даної сукупності.

Похибка вибіркової середньої або похибка вибірки ($S \bar{x}$) – міра відхилення вибіркової середньої (\bar{x}) від середньої всієї генеральної сукупності (M).

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (4.5)$$

Де S - стандартне відхилення; n – число всіх вимірювань.

Відносна похибка вибіркової середньої ($S_{\bar{x}}, \%$) – відношення похибки вибіркової середньої ($S_{\bar{x}}$) до її середньої арифметичної (\bar{x}), виражене у % .

$$S_{\bar{x}}\% = \frac{S_{\bar{x}} \times 100}{\bar{x}} \quad (4.6)$$

Значення $S_{\bar{x}}\%$ допомагає визначити **точність дослід (T)**

$$T = 100\% - S_{\bar{x}}\% \quad (4.7)$$

Чим менша відносна похибка, тим вища точність вибіркової середньої. Зазвичай для якісних досліджень прийнятною вважається відносна похибка в межах 2–5%.

Розрахунок точкової та інтервальної оцінки параметрів розподілу

Точкова оцінка – це числове значення, яке представлена у вигляді одного числового показника або дискретної точки.

Наприклад, вибіркоче середнє є точковою оцінкою для середнього значення генеральної сукупності (μ), а вибіркоче дисперсія (S^2) – для дисперсії генеральної сукупності (σ^2).

Точкова оцінка генеральної середньої може бути представлена у формі:

$$\mu = \bar{x} \pm S_{\bar{x}} \quad (4.8)$$

Де \bar{x} - оцінка генеральної середньої μ ; $S_{\bar{x}}$ - похибка вибіркової середньої.

Інтервальна оцінка є логічним продовженням точкової оцінки. Вона характеризується двома числовими значеннями (нижньою та верхньою межами інтервалу), що охоплюють оцінюваний параметр. Її застосування доцільне, коли істинне значення досліджуваного параметра передбачається в межах певного діапазону. Довірчий інтервал – це діапазон значень, який із заздалегідь встановленою ймовірністю (наприклад, 95% або 99%) охоплює істинне значення оцінюваного параметра. Для середнього значення генеральної сукупності довірчий інтервал зазвичай представляється у формі:

$$\mu = \bar{x} \pm t S\bar{x} \quad (4.9)$$

Де $S\bar{x}$ - похибка вибіркової середньої (при заданому значенні v ступеню вільності та прийнятому рівні значущості 5% або 1%); t - значення критерію Стьюдента для різного рівня значущості та числа ступенів вільності; \bar{x} - центр інтервалу; $t S\bar{x}$ - довірчі межі інтервалу.

Концепція критеріїв Стьюдента та Фішера

Критерій значущості (або достовірності) – це статистичний інструмент, що уможливорює оцінку валідності висновків щодо сформульованої статистичної гіпотези. У статистичному аналізі часто застосовується нульова гіпотеза (H_0), яка постулює відсутність суттєвих відмінностей між емпірично спостережуваними даними та теоретично передбачуваними результатами.

Для верифікації статистичних гіпотез використовують критерії достовірності. Ці критерії поділяються на параметричні та непараметричні. Параметричні критерії застосовні виключно за умови нормального розподілу даних. До найпоширеніших параметричних критеріїв належать критерій Стьюдента (t) та критерій Фішера (F).

Емпірично розраховане значення t-критерію зіставляється з критичними значеннями, що відповідають визначеним рівням статистичної значущості. Критерій Фішера (F) демонструє пряму залежність від дисперсії, що спостерігається між варіантами (факторна дисперсія), та обернену залежність від дисперсії залишку (дисперсії похибки). Його фактичне значення також порівнюється з табличним (критичним) значенням, яке знаходять у спеціалізованих довідкових таблицях (Додатки В і Г).

Дисперсійний аналіз

Дисперсійний аналіз є статистичним методом, призначеним для вивчення мінливості даних та виявлення впливу різних факторів. В експериментальних дослідженнях, особливо у польових, які розміщені з використанням рандомізованих повторень, варіабельність досліджуваних показників (наприклад, врожайності) зумовлена впливом експериментальних факторів (варіантів), блоків (повторень), а також несистематичними факторами. Останні включають невраховані зміни умов довкілля або природну біологічну мінливість об'єктів дослідження, які є джерелом експериментальної похибки.

Дисперсія, як статистична міра, відображає розсіювання даних. Суть дисперсійного аналізу полягає у розкладі загальної варіабельності досліджуваних показників на складові компоненти, кожна з яких асоційована з певним джерелом варіації. Звідси й походить назва методу. Ключовими складовими є дисперсія, зумовлена впливом факторів (варіантів), та залишкова (або помилкова) дисперсія.

Співвідношення цих двох типів дисперсії формує фундаментальний критерій, що дозволяє оцінити статистичну значущість відмінностей між середніми значеннями або загальну достовірність експериментальних результатів. Цей критерій, відомий як *критерій Фішера (F-критерій)*, названий на честь його розробника. Якщо розрахункове значення F-критерію перевищує або дорівнює його критичному (табличному) значенню, то статистична значущість виявлених відмінностей між середніми величинами підтверджується.

Дисперсійний аналіз вважається одним із найбільш потужних та поширених методів статистичної обробки даних. Однак його використання обмежується експериментами, де застосовувалася випадкова (рандомізована) схема розміщення варіантів. Цей метод особливо цінний у багатофакторних експериментах, оскільки дозволяє оцінити статистичну значущість як окремих факторів, так і ефектів їхньої взаємодії. Оцінка загальної точності експерименту формується за результатами дисперсійного аналізу на основі показника відносної похибки, що часто виражається у відсотках (наприклад, 5%).

Недисперсійні методи статистичної обробки дослідів

На відміну від дисперсійного аналізу, недисперсійні підходи застосовуються для експериментів, де розміщення варіантів не є рандомізованим. До них відносяться, наприклад, дробовий та різницевий методи, а також техніки аналізу якісних змінних.

Кореляційний та регресійний аналізи

Між різноманітними феноменами, об'єктами, параметрами середовища, показниками розвитку та продуктивності рослин, а також іншими характеристиками досліджуваних систем існують детерміновані взаємозв'язки та залежності. Їхня сутність полягає в тому, що середнє значення однієї характеристики змінюється при варіації іншої. У випадку, коли одному значенню незалежної змінної (X) відповідає діапазон значень іншої змінної (Y), зв'язок є стохастичним. Такі взаємозв'язки між характеристиками визначаються як кореляція.

Для оцінки статистичної значущості отриманих кореляційних зв'язків застосовують критерій Фішера (F-критерій), порівнюючи емпіричне значення ($F_{\text{факт}}$) з табличним ($F_{\text{теор}}$).

Класифікація кореляцій. Кореляції класифікуються за напрямком, формою, складністю та інтенсивністю взаємозв'язків. За напрямком вони бувають прямі та зворотні. Пряма (позитивна) кореляція фіксується, коли зростання однієї змінної (X) супроводжується зростанням іншої (Y). Наприклад, зі збільшенням довжини колоса, як правило, зростає кількість зерен; збільшення розмірів листка корелює зі збільшенням його площі; інтенсифікація освітлення рослин веде до посилення фотосинтетичної активності. Зворотна (негативна) кореляція виявляється, коли збільшення однієї змінної (X) призводить до зменшення іншої (Y). Прикладами можуть слугувати: зростання забур'яненості посівів, що спричиняє зниження врожайності сільськогосподарських культур; збільшення дозування інсектицидів, що зменшує популяції шкідників; надмірне формування коренеплодів цукрових буряків, що може негативно впливати на їхню цукристість.

За формою зв'язку розрізняють лінійні та нелінійні (криволінійні) кореляції. При лінійній кореляції зміна однієї змінної (X) супроводжується пропорційною зміною іншої (Y) в одному напрямку. Наприклад, кореляція між масою бульб картоплі або коренеплодів буряків та їхніми розмірами, а також між кількістю зерен у колосі та його довжиною демонструє лінійний характер. Нелінійна (криволінійна) кореляція виникає, коли характер зміни Y відносно X не є постійним, і напрямок зв'язку може змінюватися. Типовим прикладом є вплив факторів, таких як дози азотних добрив або рівень вологості ґрунту (X), на врожайність (Y): спочатку спостерігається зростання, потім стабілізація, а потім — зниження врожайності при подальшому збільшенні фактора X . Подібні взаємозв'язки описуються за допомогою кореляційного відношення.

За складністю виділяють просту кореляцію, що аналізує взаємодію між двома змінними, та множинну кореляцію, яка досліджує залежність між трьома і більше показниками. Приклади простої кореляції вже були розглянуті. Множинна кореляція, наприклад, може вивчати залежність врожайності від комплексу факторів, таких як дози добрив, норми зрошення, густина посіву, глибина загортання насіння; або якість продукції від вищезгаданих параметрів; чи

врожайність від сукупності кліматичних показників (атмосферні опалі, температура повітря, вологість).

За інтенсивністю зв'язку кореляція може варіювати від відсутньої до слабкої, помірної, сильної та повної. Крім того, важливо розрізняти статистично значущу (достовірну) та не значущу (недостовірну) кореляцію, що буде детальніше розглянуто пізніше.

Значення кореляційного та регресійного аналізу. У випадку виявлення сильного та статистично значущого кореляційного зв'язку (тобто з високим рівнем імовірності, наприклад, $P \geq 0,95$ або $P \geq 0,99$), доцільним є проведення регресійного аналізу з обчисленням відповідних коефіцієнтів. Регресія являє собою кількісну оцінку та характер зміни однієї змінної (Y) на одиницю зміни іншої (X). Наприклад, при збільшенні довжини колоса пшениці на 1 см, кількість зерен у ньому може зрости на 7 одиниць. На основі результатів кореляційного та регресійного аналізу формуються рівняння регресії, що використовуються для прогнозування невідомих значень одного показника на підставі відомих значень іншого. Прикладами застосування є визначення площі листка за його довжиною; моделювання врожайності залежно від рівня родючості ґрунту; або прогнозування динаміки поширення шкідників та захворювань відповідно до екологічних умов.

Коваріаційний аналіз

У експериментах із багаторічними культурами нерідко спостерігається значна варіабельність між особинами на дослідних ділянках щодо показників ростових процесів або продуктивності на початковому етапі дослідження. Ця вихідна неоднорідність, як правило, поглиблюється до завершення експерименту. Відповідно, об'єктивна оцінка ефективності різних варіантів без належного врахування початкового стану рослинного матеріалу є проблематичною. У таких випадках необхідно встановити взаємозв'язок між варіацією вихідного значення показника (X) та його кінцевого значення (Y).

Коваріаційний аналіз також знаходить застосування у ситуаціях, коли під час дослідження відбувається випадіння певних особин внаслідок ураження шкідниками, впливу несприятливих температур (морозів) або патогенів. Проте, якщо у сортовипробуванні інтенсивне ураження хворобами чи морозами становить специфічну особливість сорту, або ж в агротехнічних дослідах загибель рослин зумовлена дією надмірних доз добрив чи гербіцидів, коваріаційний аналіз не застосовується.

Комплекс статистичних методів, що включає елементи дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізів, спрямований на корекцію емпіричних середніх значень ряду Y задля досягнення умовної однорідності експериментальних умов за змінною X , визначається як коваріаційний аналіз. У контексті математичної статистики, коваріація (cov) представляє собою середнє арифметичне добутків відхилень двох змінних величин X та Y від їх відповідних середніх значень.

4.3 Обчислення статистичних характеристик малої вибірки за кількісної мінливості

При аналізі даних, отриманих з малої вибіркової сукупності, здійснюється розрахунок низки ключових статистичних показників. До них належать:

- міри центральної тенденції, зокрема середні арифметичні значення;
- індикатори варіації та розсіювання, такі як дисперсії та стандартні відхилення;
- відносні показники мінливості, виражені коефіцієнтами варіювання;
- оцінки похибки вибірових середніх, включаючи стандартні та відносні похибки, точність досліду.

Для прикладу, обчислимо статистичні характеристики набору даних, представлений у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

**Урожайність ріпаку ярого (т/га), залежно від рівномірності
внесення добрив**

Внесення добрив	Повторність			
	I	II	III	IV
Рівномірне	1,6	1,8	1,5	1,5
Нерівномірне	1,8	0,7	2,2	1,7

Знаходимо **середню арифметичну** (\bar{x}) за кожним варіантом:

За варіантом з рівномірним внесенням добрив $\bar{x}_1 = (1,6+1,8+1,5+1,5)/4 = 1,6$ (т/га).

За варіантом з нерівномірним внесенням добрив $\bar{x}_2 = (1,8+0,7+2,2+1,7)/4 = 1,6$ (т/га). Отже, арифметичні середні однакові по обох варіантам дослідів.

Знайдемо **розмах варіювання (R)** за формулою 4.8.

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (4.10)$$

Для варіанту з рівномірним внесенням добрив: $R_1 = 1,8 - 1,5 = 0,3$ (т/га).

Для варіанту з нерівномірним внесенням добрив: $R_2 = 2,2 - 0,7 = 1,5$ (т/га).

Тобто, урожайність ріпаку ярого варіювала сильніше за нерівномірного внесення добрив.

Для розрахунку дисперсії (S^2), якщо ми не користуємося статистичними програмами або, принаймні, програмним пакетом MS Excel, нам прийдеться скласти допоміжну таблицю (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Обчислення квадратів відхилень від середньої арифметичної

Внесення добрив							
Рівномірне				Нерівномірне			
№ повторності	X	X - \bar{x}	(X - \bar{x}) ²	№ повторності	X	X - \bar{x}	(X - \bar{x}) ²
1	1,6	0	0	1	1,8	0,2	0,04

2	1,8	0,2	0,04	2	0,7	-0,9	0,81
3	1,5	-0,1	0,01	3	2,2	0,6	0,36
4	1,5	-0,1	0,01	4	1,7	0,1	0,01
	$\bar{x} = 1,6$	$\Sigma(X - \bar{x}) = 0$	$\Sigma(X - \bar{x})^2 = 0,06$		$\bar{x} = 1,6$	$\Sigma(X - \bar{x}) = 0$	$\Sigma(X - \bar{x})^2 = 1,22$

Підставивши отримані значення у формулу ($S^2 = \frac{\Sigma(X - \bar{x})^2}{n-1}$), отримуємо значення $S^2_1 = 0,06 / (4-1) = 0,02$; $S^2_2 = 1,22 / (4-1) = 0,41$. Тобто, у варіанті з нерівномірним внесенням добрив дисперсі була у 20 разів більшою за варіант з рівномірним внесенням добрив.

Знайдемо стандартне відхилення ($S = \sqrt{S^2}$):

$$S_1 = \sqrt{0,02} = 0,14 \text{ (т/га)}$$

$$S_2 = \sqrt{0,41} = 0,64 \text{ (т/га)}$$

Знаючи значення стандартного відхилення, знайдемо коефіцієнт варіювання ($V = \frac{S \times 100}{\bar{x}}$):

$$V_1 = (0,14 \times 100) / 1,6 = 8,75\%$$

$$V_2 = (0,64 \times 100) / 1,6 = 40,0\%$$

Вибіркові середні містять властиві їм похибки, що виникають внаслідок неповної репрезентативності відібраної сукупності. Ці відхилення є специфічними виключно для методів вибіркового аналізу, а їхня величина детермінується ступенем варіабельності досліджуваних показників та обсягом вибірки. Знайдемо похибки вибірових середніх ($S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}}$):

$$S\bar{x}_1 = 0,14 / 2 = 0,07$$

$$S\bar{x}_2 = 0,64 / 2 = 0,32$$

Для інтервальної оцінки середній арифметичних використовуємо табличні значення критерію Стюдента (додаток В), враховуючи, що число ступенів вільності дорівнює n-1 (n - це кількість вимірів).

Інтервальна оцінка є методом оцінювання, який характеризується визначенням діапазону (інтервалу) між двома числовими значеннями (нижньою та верхньою межами), що, як припускається, містять істинне значення оцінюваного параметра. Застосування цього підходу доцільне у випадках, коли необхідно встановити діапазон ймовірних значень для невідомого параметра, а не точкове його значення.

Довірчий інтервал – інтервал з заданою вірогідністю (95% або 99%) покриває параметр, що оцінюється. Для генеральної середньої величини (μ) довірчий інтервал має вигляд (див. формулу 4.9):

$$\mu = \bar{x} \pm t S\bar{x}$$

Де $S\bar{x}$ - похибка вибіркової середньої (при заданому значенні v ступеню вільності та прийнятому рівні значущості 5% або 1%);

t - значення критерію Стьюдента для різного рівня значущості та числа ступенів вільності;

\bar{x} - центр інтервалу (середня арифметична);

$t S\bar{x}$ - довірчі межі інтервалу.

За оцінки на рівні імовірності $P_{0,95}$ значення t дорівнює 3,18 , а за $P_{0,99}$ – 5,84 (Додаток Б). Для варіанту з рівномірним розводілом добрив $t S\bar{x}$ становить $3,18 \cdot 0,07$ та $5,84 \cdot 0,07$. Тобто, на рівні $P_{0,95}$ $\mu_1 = 1,6 \pm 0, 22$, а на рівні $P_{0,99}$ $\mu_1 = 1,6 \pm 0, 41$.

Розрахуємо **відносну похибку вибіркової середньої ($S\bar{x}\%$)**:

$$S\bar{x}_1 \% = \frac{S\bar{x}_1 \times 100}{\bar{x}_1} = 0,07 \times 100 / 1,6 = 4,38\%$$

$$S\bar{x}_2 \% = \frac{S\bar{x}_2 \times 100}{\bar{x}_2} = 0,32 \times 100 / 1,6 = 20\%$$

Розрахуємо **точність досліді**:

$$T_1 = 100\% - S\bar{x}_1 \% = 100 - 4,38 = 95,62\%$$

$$T_2 = 100\% - S\bar{x}_2 \% = 100 - 20 = 80\%$$

Загальноприйнятим є критерій оцінки точності, згідно з яким вона вважається високою, якщо **відносна похибка не перевищує 3 %**. Помірний (середній) рівень точності встановлюється у діапазоні **відносної похибки** від 3 до 6 відсотків, а низький – у випадку перевищення 7 відсотків.

Як бачимо, у обрахованому нами прикладі точність варіанту з рівномірним розподілом добрив середня (**відносна похибка > 3%**), але така точність достатня, щоб вважати результат достовірним (**точність $\geq 95\%$**). У варіанті з нерівномірним розподілом добрив точність настільки низька, що такий результат буде вважатися недостовірним.

Для забезпечення високої достовірності експериментальних результатів украй важливо організувати дослідження на ділянках, що характеризуються однорідністю показників ґрунтової родючості.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Обчислити статистичні характеристики малої вибірки за вихідними даними, що наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Урожайність пшениці озимої (т/га) залежно від рівномірності внесення добрив

Внесення добрив	Повторність			
	I	II	III	IV
Рівномірне	4,6	4,8	4,5	4,6
Нерівномірне	4,8	3,2	5,2	2,7

4.4 Обчислення статистичних характеристик великої вибірки за кількісної мінливості

Для прикладу обчислимо статистичні характеристики великої вибірки, яка включає 40 вимірювань ($n = 40$) довжини однорічного приросту дерев вишні.

Для початку розмістимо всі вимірювання у порядку збільшення їхнього математичного значення: 27, 31, 33, 33, 35, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 37, 37, 37, 37, 37, 37, 37, 37, 38, 38, 38, 38, 38, 38, 38, 38, 39, 39, 39, 40, 40, 41, 41, 42, 43, 44.

Визначимо число груп (ЧГ): $ЧГ = \sqrt{n} = \sqrt{40} \approx 6$.

Визначимо інтервал групи (i): $i = \frac{(X_{max} - X_{min})}{ЧГ} = \frac{(44 - 27)}{6} = 3$.

Складемо допоміжну таблицю для розрахунків (таблиця 4.4).

Частота (f) - це кількість вимірювань, що потрапляє у інтервал кожної групи.

Таблиця 4.4

Допоміжна таблиця для обробки варіаційного ряду 40 вимірювань довжини однорічного приросту дерев вишні

Інтервал групи	Середнє значення групи (X)	Частота (f)	f×X	X ²	f×X ²
27—29	28	1	28	784	784
30—32	31	1	31	961	961
33—35	34	3	102	1156	3468
36—38	37	25	925	1369	34225
39—41	40	7	280	1600	11200
42—44	43	3	129	1849	5547
	$\bar{x} = 37,4$	$\Sigma f = 40$	$\Sigma f \times X = 1495$	$\Sigma X^2 = 7719$	$\Sigma f \times X^2 = 56185$

Середня арифметична: $\bar{x} = \frac{\Sigma f \times X}{n} = 1495 / 40 = 37,4$ (см)

Дисперсія: $S^2 = \frac{\Sigma f(X - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{\Sigma f \times X^2 - (\Sigma f \times X)^2 / n}{n-1} = \frac{56185 - 1495^2 / 40}{39} = 7,95$

Стандартне відхилення: $S = \sqrt{S^2} = \sqrt{7,95} = 2,82$ (см)

Коефіцієнт варіювання: $V = \frac{S \times 100}{\bar{x}} = \frac{2,82 \times 100}{37,4} = 7,54$ (%)

Похибка вибіркової середньої: $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{2,82}{\sqrt{40}} = \frac{2,82}{6,32} = 0,45$ (см)

Відносна помилка вибіркової середньої:

$$S\bar{x}\% = \frac{S\bar{x} \times 100}{\bar{x}} = \frac{0,45 \times 100}{37,4} = 1,2\%$$

Інтервальна оцінка середньої

на рівні імовірності $P_{0,95}$ критерій Стьюдента $t = 2,04$ (дод. Б). Коли беремо табличне значення критерію t , враховуємо число ступенів вільності ($\nu = n-1$, де n - це кількість повторностей; у даному прикладі $n = 40$).

$$\mu = \bar{x} \pm t S\bar{x} = 37,4 \pm 2,04 \times 0,45 = 37,4 \pm 0,92$$

(діапазон значень від 36,48 до 38,32)

на рівні імовірності $P_{0,99}$ критерій Стьюдента $t = 2,75$ (дод. Б).

$$\mu = \bar{x} \pm t S\bar{x} = 37,4 \pm 2,75 \times 0,45 = 37,4 \pm 1,24$$

(діапазон значень від 36,16 до 38,64)

Підсумовуючи результати проведеного дослідження, можна сформулювати наступні ключові **висновки**:

1. Середнє арифметичне значення довжини однорічного приросту дерев вишні становить 37,4 см.
2. Коефіцієнт варіації, що дорівнює 7,54%, свідчить про низький ступінь мінливості даного морфологічного показника.
3. Величина відносної похибки, яка складає 1,2%, підтверджує високий рівень точності та достовірності обчислення середнього арифметичного значення.
4. До діапазону значень, що характеризують даний статистичний розподіл, на довірчому рівні 0,95 відносяться однорічні пагони з довжиною від 36,5 до 38,3 см, а на довірчому рівні 0,99 – від 36,2 до 38,6 см. Усі показники, які не входять до цих довірчих інтервалів на жодному з зазначених рівнів статистичної надійності, не є репрезентативними для даної вибірки та можуть розглядатися як аномальні або нехарактерні дані.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть ключові статистичні показники варіабельності кількісних ознак для вибірових сукупностей різного обсягу (малих та великих).
2. Продемонструйте методику обчислення середнього арифметичного значення та надайте його концептуальне визначення як статистичного індикатора.
3. Охарактеризуйте розмах варіації та поясніть принципи його визначення.
4. Зазначте формулу для обчислення дисперсії та розкрийте її змістове навантаження.
5. Які статистичні метрики є передумовою для обчислення стандартного відхилення?
6. Наведіть формулу для розрахунку коефіцієнта варіації та поясніть його інтерпретацію.
7. Розкрийте концептуальне значення такого статистичного індикатора, як стандартна похибка середнього (похибка вибіркової середньої).
8. Проаналізуйте відмінності між стандартною похибкою середнього та відносною стандартною похибкою середнього.
9. Яким чином визначається точність експериментального дослідження?
10. Опишіть методологію побудови допоміжної табличної форми для опрацювання варіаційного розподілу значної вибіркової сукупності.
11. Представте послідовність розрахунків статистичних показників для значних вибірових сукупностей.
12. На які вихідні відомості спирається дослідник при формулюванні заключень за результатами обчислення статистичних параметрів великих вибірових сукупностей?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Обчислити статистичні характеристики великої вибірки за даними по однорічному приросту дерев персику. Варіаційний ряд включає 50 повторень: 13, 50, 28, 16, 33, 69, 31, 39, 49, 47, 35, 57, 33, 28, 2, 23, 39, 48, 33, 29, 11, 38, 63,

14, 34, 10, 53, 2, 37, 17, 22, 32, 31, 26, 27, 46, 18, 53, 32, 43, 59, 26, 70, 39, 29, 36, 37, 25, 47, 26.

2.Проведені дослідження по оцінці впливу різних доз бормагнієвих добрив на врожайність кукурудзи сорту Валентина в умовах Сухого Степу. При застосуванні 30 кг/га бормагнієвих добрив на експериментальних ділянках врожайність склала: 30 ц/га, 29ц/га, 31 ц/га, 35ц/га. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

3.Проведена інкрустація насіння озимої пшениці сорту Знахідка одеська препаратом Марс-1 (2%). Одним з показників, що характеризує силу росту озимої пшениці є висота проростків. Висота проростків досліджуваних рослин склала: 110,2 мм; 100,2 мм; 120,5 мм; 125,3 мм. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

4.Після обробки насіння озимої пшениці сорту Одеська 267 в проростках озимої пшениці був визначений вміст фотосинтетичних пігментів (каротиноїдів). Елементарні одиниці, що попали на перевірку за цим показником мали наступні значення: 0,66мг/г; 0,75 мг/г; 0,71 мг/г; 0,70мг/г; 0,69 мг/г. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

5.Проведена обробка насіння озимої пшениці сорту Тіра препаратом АОК-М (0,0005%). Дослідження показали, що вміст вітаміну Е (мг/г) у експериментальних одиниць склав: 115,3 мг/г; 128,4 мг/г; 130,2 мг/г; 108,9 мг/г; 129,5 мг/г. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

6.Сортодослідження сортів кукурудзи Колективний 95М, Радіус, Рая показали, що в фазі утворення 7-8 листків у сорту Рая спостерігалися максимальні темпи росту за добу, які склали: 15 см; 12 см; 14 см; 16 см. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

7.При дослідженні впливу густоти стояння рослин на структуру врожаю та врожайність кукурудзи сорту Галина в умовах Лісостепу був визначений показник m 1000 насінин (6 повт.), що склав: 300г; 290г; 280г; 305г;295г; 270г. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

8.Проведена робота по оцінці сортів абрикосу Мелітопольський ранній, Мелітопольській лучистий та Зоряний за вмістом пектинових речовин вирощених в умовах Півдня України. Експериментальні одиниці сорту Зоряний за досліджуваним показником мали наступні значення (мг/100г сирової маси) : 2,4; 2,1; 2,4; 2,6; 2,9; 3,2; 3,0; 3,1; 2,7; 2,5; 2,4; 2,1; 2,4; 2,6; 2,9; 3,2; 3,0; 3,1; 2,7; 2,5; 2,6; 2,6; 2,6; 2,6; 3,2; 3,1; 2,7; 2,5; 2,4; 2,7; 2,4; 2,6; 2,9; 3,2; 3,0; 3,1; 2,7; 2,5; 2,4; 2,1; 2,4; 2,6. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

9.Проведені дослідження по оцінці впливу АО на фізіолого-біохімічні особливості формування продуктивності озимої пшениці в умовах Степу України. В межах цієї роботи при обробці сорту Донецька 46 препаратом АОК-М (0,00005) висота рослин склала (см): 95,96,97,98,99,100,109, 107,108,107,106,105,104,103,102,101, 95,96,97,98,99,100, 107, 107, 107, 107, 109,108,107,106,105,104,103,102,101, 95,96,97, 107,98,99,100,109,108,107,106, 105,104,103,102,101, 107. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

10.Проведені дослідження по оцінці впливу АО на фізіолого-біохімічні особливості формування продуктивності озимої пшениці в умовах Лісостепу. В межах цієї роботи при обробці сорту Коломак 3 препаратом Марс-1 (1,5%) за показником довжина колосу рослини мали наступні показники (мм): 5,4,6,7,8,9,9,8,7,4,5,7,7,7,7,7,6,5,8, 6,5,4,8,7,8,5,4,7,8,6, 7,7,7,7,7, 7,6,5,4,8;5. Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

11.Проведена робота по оцінці сортів черешні Винка, Казка та Ділема за вмістом антоціанів вирощених в умовах Півдня України. Експериментальні одиниці сорту Винка за досліджуваним показником мали наступні значення : 375; 380; 350; 340; 371; 365; 360; 365; 364; 365;365; 364; 375; 380; 365; 350; 340; 371; 360; 365; 364; 365; 364; 375; 380; 350; 340; 371; 360; 365; 364; 365; 364; 365; (мг/100г сирової маси) : Обчислити статистичні характеристики вибірки ($P_{0,99}$ та $P_{0,95}$).

4.5 Обчислення статистичних характеристик вибірки за якісної мінливості

Розберемо такий приклад: після збирання врожаю яблук виявилось, що по сорту Голден делішес із 100 плодів (N_1) якісними (не ураженими паршею) було 80 (n_1), а по сорту Чемпіон із 100 плодів (N_2) – лише 70 (n_2).

При статистичному аналізі розподілів якісних змінних або варіаційних рядів атрибутивних ознак визначаються такі ключові статистичні показники:

- ✓ частка наявності певної ознаки (p);
- ✓ частка відсутності ознаки (q);
- ✓ міра варіабельності якісного показника – стандартне відхилення (S);
- ✓ коефіцієнт варіації (V);
- ✓ стандартна похибка частки (Sp).

Частка наявності певного атрибута (p) являє собою співвідношення кількості одиниць спостереження, що володіють даною ознакою (n), до загальної чисельності вибіркової сукупності (N). Її розрахунок здійснюється за формулою:
 $p = n / N$.

Визначимо частку наявності ознаки p_1 і p_2 у кожного з наведених сортів:

$$p_1 = 80 / 100 = 0,80 \text{ або } 80\%$$

$$p_2 = 70 / 100 = 0,70 \text{ або } 70\%$$

Частка відсутності ознаки – це різниця між одиницею і часткою наявності ознаки. Цю частку обчислюють за формулою: $q = 1 - p$. Для досліджуваних сортів частка відсутності ознаки q_1 і q_2 відповідно становитиме:

$$q_1 = 1 - 0,80 = 0,20 \text{ або } 20\%$$

$$q_2 = 1 - 0,70 = 0,30 \text{ або } 30\%$$

Якщо досліджуваний об'єкт має лише дві градації, показник мінливості S обчислюють за формулою:

$$S = \sqrt{p \times q} \quad (4.11)$$

$$\text{Для сорту Голден делішес: } S_1 = \sqrt{0,8 \times 0,2} = 0,40$$

Для сорту Чемпіон: $S_2 = \sqrt{0,7 \times 0,3} = 0,46$

Об'єкти досліджень можуть мати максимальне значення (0,5) мінливості за умови, якщо $p = q = 0,5$; тоді $S_{max} = \sqrt{0,5 \times 0,5} = 0,5$.

Якщо об'єкт досліджень має не дві, а більше градацій, то для такої вибірки показник якісної мінливості (S) обчислюють за формулою:

$$S = \sqrt[n]{p_1 p_2 \dots p_n} \quad (4.12)$$

Де p — частка ознаки із загального обсягу вибірки; n — кількість градацій ознак.

Показник мінливості використовується для визначення коефіцієнта варіювання (Vp) як відношення показника мінливості (S) до його максимального значення (S_{max}) вираженого в процентах. Обчислюється **коефіцієнт варіювання в процентах** за формулою:

$$Vp = \frac{S \times 100}{S_{max}} \quad (\%) \quad (4.13)$$

Для сорту Голден делішес: $Vp_1 = \frac{0,40 \times 100}{0,5} = 80 \quad (\%)$

Для сорту Чемпіон: $Vp_2 = \frac{0,46 \times 100}{0,5} = 92 \quad (\%)$

Максимальне значення коефіцієнта варіювання ($Vp = 100\%$) буває за $S = S_{max} = 0,5$.

Для оцінки точності у визначенні вибірових середніх арифметичних *за якісної мінливості* враховують помилку вибіркової середньої арифметичної (Sp) за формулою:

$$Sp = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (4.14)$$

Для сорту Голден делішес: $Sp_1 = \frac{0,40}{\sqrt{100}} = 0,040$

Для сорту Чемпіон: $Sp_2 = \frac{0,46}{\sqrt{100}} = 0,046$

Інтервальну оцінку помилки вибіркової середньої роблять за формулою $P \pm t \times Sp$. На рівні імовірності $P_{0,95}$ значення $t = 1,98$; а на рівні $P_{0,99}$ $t = 2,63$ (див. Додаток Б). Для сорту Голден делішес ці інтервали становитимуть для рівня $P_{0,95}$

0,80±0,08 (0,72÷0,88), а для рівня $P_{0,99}$ 0,8±0,105 (0,72÷0,90). Для сорту Чемпіон на цих рівнях, відповідно, інтервали становитимуть $0,70 \pm 0,09$ (0,61÷0,79) і $0,70 \pm 0,12$ (0,58÷0,82).

Висновок: результати спостережень дозволять вважати, що частка якісних плодів яблук сорту Голден делішес може становити 72-88%, а сорту Чемпіон – 61-79%. Це означає, що сорт Голден делішес стійкіший до хвороб, ніж сорт Чемпіон.

Для визначення достовірності різниці між частками наявності ознак обчислюють фактичний критерій Стюдента (t_{ϕ}):

$$t_{\phi} = \frac{|p_1 - p_2|}{\sqrt{\frac{p_1 q_1}{N_1} + \frac{p_2 q_2}{N_2}}} \quad (4.15)$$

$$t_{\phi} = \frac{0,8 - 0,7}{\sqrt{\frac{0,8 \times 0,2}{100} + \frac{0,7 \times 0,3}{100}}} = 1,66$$

Фактичний критерій Стюдента порівнюють з теоретичним, який приймаємо за Додатком Б за числом ступенів вільності $\gamma = 100$.

$$\gamma_p = (N_1 - 1) + (N_2 - 1) = 99 + 99 = 198$$

При γ_p , що дорівнює 100 і більше, критерій $t_{0,95}=1,96$, а $t_{0,99}=2,58$.

Правило: якщо фактичний критерій Стюдента t_{ϕ} дорівнює теоретичному або більший за нього, то різниця достовірна і навпаки.

Висновок: оскільки критерій Стюдента фактичний між варіантами становить 1,66, що менше за теоретичне значення на обох рівнях надійної імовірності ($t_{0,95}$ і $t_{0,99}$), то у сорту Чемпіон зменшення кількості якісних плодів статистично неістотне, порівняно з сортом Голден делішес.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Визначення ключових статистичних показників, що застосовуються для аналізу розподілів якісних атрибутів.

2. Методологія обчислення частки присутності певної ознаки в умовах дихотомічної якісної мінливості.
3. Методологія обчислення частки відсутності певної ознаки в умовах дихотомічної якісної мінливості.
4. Розрахунок показників варіативності якісного атрибута при дихотомічній мінливості.
5. Кількість категорій (рівнів) при дихотомічній якісній мінливості.
6. Обчислення коефіцієнта варіації для дихотомічної якісної ознаки та інтерпретація його значень.
7. Сутність та методика розрахунку стандартної похибки вибіркової пропорції для дихотомічної якісної мінливості.
8. Процедура конструювання довірчих інтервалів для оцінки генеральної частки на основі вибірових даних при дихотомічній якісній мінливості.
9. Порівняльний аналіз методологій обчислення статистичних характеристик вибірових даних для дихотомічних та політомічних якісних ознак.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Обчислити статистичні характеристики вибірки за якісної мінливості: після збирання томатів виявилось, що по сорту Санька із 100 плодів (N_1) якісними (не ураженими фітофторозом) було 85 (n_1), а по сорту Чорний принц із 100 плодів (N_2) – 97 (n_2).
2. За результатами післязбирального зберігання картоплі було встановлено, що у вибірці сорту Луганська (150 бульб) 90 одиниць були неушкодженими фітофторозом. Для сорту Молодіжна (вибірка 120 бульб) зафіксовано 20 уражених бульб фітофторозом, а також у 20 бульб відзначено суттєву втрату маси під час зберігання. Необхідно обчислити ключові статистичні показники для цих вибірок.

3. За підсумками збирання врожаю картоплі виявлено, що у вибірці сорту Луганська (140 бульб) 30 одиниць мали ознаки фітофторозу та 20 — сірої гнилі. Серед 120 бульб сорту Молодіжна 84 були неураженими фітофторозом. Здійснити розрахунок статистичних параметрів вибіркової сукупності, враховуючи довірчі рівні 0.99 та 0.95.

4. За результатами збирання вишні середньораннього сорту Встреча, із 200 обстежених плодів 25 виявилися розтріснутими. В ході аналізу вибірки сорту Дилема (130 плодів) встановлено, що 20 плодів мали механічні пошкодження (розтріскування), а 15 були уражені личинками вишневої мухи. Провести статистичний аналіз отриманих даних, вказавши довірчі інтервали для ймовірностей 0.99 та 0.95.

5. Під час збирання врожаю черешні сорту Мелітопольська чорна, із 180 плодів, що потрапили до вибірки, 19 одиниць були уражені м'якотілкою, а 23 — пошкоджені листокруткою. У сорту Казка серед 100 відібраних плодів 24 мали ознаки розтріскування. Виконати розрахунок статистичних характеристик вибіркової сукупності, визначивши довірчі інтервали для рівнів ймовірності 0.99 та 0.95.

6. За підсумками збирання качанів кукурудзи сорту Крокодил у фазі молочно-воскової стиглості, із 200 качанів 40 були уражені червоною гниллю, а 10 — сірою гниллю. Гібрид кукурудзи Валентина демонстрував 10 деформованих качанів із 50 обстежених, що пояснюється дефіцитом калію. Обчислити статистичні характеристики представлених вибірок, з урахуванням довірчих рівнів 0.99 та 0.95.

7. При збиранні білоголової капусти сорту Веснянка, із 50 проаналізованих качанів, 10 були уражені капустяним листоїдом. Під час оцінки врожаю кормової капусти сорту Вологодська, із 75 качанів 25 виявилися пошкодженими цим шкідником. Провести статистичний аналіз вибірок, визначивши довірчі інтервали для ймовірностей 0.99 та 0.95.

8. З 50 обстежених плодкових дерев яблуні на 10 дослідних деревах сорту Мінкар на листках зафіксовано ознаки пошкодження зеленою яблуневою

попелицею, та 5 дерев мали ураження червоноголовою яблуневою попелицею. На 40 дослідних деревах сорту Голден Делішес у 15 екземплярів виявлені ознаки пошкодження червоноголовою яблуневою попелицею. Обчислити статистичні показники для цих вибірок, вказавши довірчі інтервали для рівнів 0.99 та 0.95.

9. Із 75 дерев груші сорту Оригінальна, що були включені до вибірки, у 15 спостерігались ознаки пошкодження медяницею, а у 12 дерев виявлені пошкодження грушевим клопом. У груші сорту Янтарна серед 50 дерев 5 мали ознаки ураження паршею. Здійснити розрахунок статистичних характеристик вибірок, враховуючи довірчі рівні 0.99 та 0.95.

10. З 170 плодів сливи сорту Фантазія, які потрапили до вибірки, у 35 плодів визначені ознаки пошкодження казаркою та 14 плодів мали ознаки пошкодження каліфорнійською щитівкою. З 80 плодів, що склали вибірку для сорту сливи Фіджинка, 31 плід мав ознаки хвороби «кишеньки сливи». Обчислити статистичні характеристики вибіркових сукупностей, з урахуванням довірчих рівнів 0.99 та 0.95.

4.6 Обчислення зваженої середньої арифметичної, бракування сумнівних дат, відновлення втрачених дат

Округлення експериментальних даних рекомендується здійснювати до трьох значущих цифр. Для ілюстрації, наведемо такі приклади: врожайність цукрових буряків становить 52,8 т/га; озимої пшениці – 5,34 т/га; насіння люцерни – 0,317 т/га.

Величини, що є меншими за одиницю, необхідно представляти з точністю до тисячних, наприклад, 0,529.

Процедура округлення передбачає збільшення останньої значущої цифри на одиницю, якщо наступна цифра є 5 або більшою, та збереження її значення або округлення в менший бік за інших умов. Зокрема, число 0,8523 округлюється до 0,852, тоді як 0,8545 – до 0,855.

Прості середні арифметичні обчислюються як результат ділення суми спостережень на їх кількість (формула 4.1). Однак, у випадках, коли у дослідних варіантах використовуються різні площі посіву досліджуваної культури, потрібно обчислювати *зважену середню арифметичну*.

Наприклад, з площі 3 га зібрали по 3,73 т/га ячменю озимого, а з площі 5 га – по 4,87 т/га. Проста середня арифметична склала б $\frac{3,73 + 4,87}{2} = 4,3$ т/га.

Але, оскільки площі варіантів різні, то слід обчислювати не просту, а *зважену середню арифметичну* ($\bar{x}_{ЗВ}$) за формулою:

$$\bar{x}_{ЗВ} = \frac{(x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_n f_n)}{\Sigma f} \quad (4.16)$$

Де x_1, x_2, \dots, x_n – це досліджувана ознака (у нашому прикладі урожайність ячменю озимого); f – частота (у даному випадку, площа посіву ячменю озимого певного варіанта). Підставляємо у формулу чисельні значення урожайності ячменю озимого і отримуємо:

$$\bar{x}_{ЗВ} = \frac{(3,73 \times 3 + 4,87 \times 5)}{(3 + 5)} = 4,44 \text{ (ц/га)}$$

Значна розбіжність між отриманими результатами та значеннями, розрахованими за формулою простого арифметичного середнього, зумовлює застосування формули *зваженого середнього* у подібних ситуаціях.

Виявлення та елімінація екстремальних спостережень. Під час аналізу даних у межах кожної експериментальної групи (за повторностями) деякі спостереження можуть суттєво відхилятися від загальної сукупності, породжуючи сумніви щодо їхньої приналежності до основного статистичного розподілу. Об'єктивне відхилення таких аномальних значень можливе виключно за допомогою методів математичної статистики.

Як приклад, у експериментальному дослідженні, присвяченому вивченню впливу доз добрив на продуктивність озимої пшениці в експериментальних повторностях, отримані значення врожайності становили: 6,24; 4,57; 5,32; 5,58 т/га.

З метою встановлення, чи належать всі ці дані до одного варіаційного ряду, їхні числові значення упорядковують за зростанням: 4,57; 5,32; 5,58; 6,24.

Найбільш імовірними аномальними значеннями є мінімальне – 4,57 та максимальне – 6,24. Для цих значень треба розрахувати критерій τ_n (тау). Для оцінки значущості цих відхилень кожному значенню присвоюють відповідний індекс – 4,57 (X_1); 5,32 (X_2); 5,58 (X_{n-1}); 6,24(X_n) – та розраховують критерій τ_n (тау) згідно з формулами:

$$\tau_1 = \frac{(X_2 - X_1)}{(X_{n-1} - X_1)} = \frac{(5,32 - 4,57)}{(5,58 - 4,57)} = 0,743$$
$$\tau_n = \frac{(X_n - X_{n-1})}{(X_n - X_2)} = \frac{(6,24 - 5,58)}{(6,24 - 5,32)} = 0,717$$

Обчислені значення критеріїв τ зіставляються з відповідними теоретичними порогамі, і висновки формулюються за наступним **правилом**: якщо розрахункові критерії (τ_1, τ_n) перевищують або дорівнюють теоретичним значенням, то відповідні дані (спостереження) визнаються аномальними та підлягають вилученню. Теоретичні значення критеріїв τ можна знайти у Додатку Д, враховуючи кількість повторень (n) та заданий рівень довірчої ймовірності ($P_{0.95}$ або $P_{0.99}$). Наприклад, для $n = 4$ теоретичні значення критеріїв τ становлять $\tau_{0.95} = 0.955$ та $\tau_{0.99} = 0.991$ відповідно.

Висновки:

1. Враховуючи, що обчислене значення τ_1 (0.743) є меншим за обидва теоретичні пороги $\tau_{0.95}$ (0.955) та $\tau_{0.99}$ (0.991), дані спостереження (4.57 т/га) не вважаються аномальними і не підлягають вилученню.

2. Аналогічно, значення τ_n (0.717) також є нижчим за теоретичні пороги $\tau_{0.95}$ (0.955) та $\tau_{0.99}$ (0.991), що підтверджує відсутність аномалій у даних (6.24 т/га) та відсутність необхідності їх вилучення.

Необхідно врахувати, що процедура відбраковування даних за представленими формулами застосовна лише за умови, якщо кількість повторень у експерименті становить щонайменше 4, а також за відсутності ідентичності між першими двома ($X_1 \neq X_2$) та останніми двома ($X_n \neq X_{n-1}$) спостереженнями. У

випадках, коли ці умови не виконуються, дані апіорі не вважаються сумнівними і не потребують додаткової верифікації.

Відновлення відсутніх даних. Відсутність даних на окремих сегментах значною мірою ускладнює статистичний аналіз експериментальних результатів.

Потенційні причини відсутності даних включають інтенсивні опади, що призводять до замулення окремих ділянок; локальні градові пошкодження; непередбачені ураження сільськогосподарських культур (наприклад, зернових, соняшнику) птахами, шкідниками або патогенами; а також механічні пошкодження, спричинені транспортними засобами на прилеглих ділянках. Відсутність даних може також бути наслідком їх відбраковування. Така ситуація здатна суттєво спотворити середні значення, що призводить до зростання ймовірності виникнення систематичних або випадкових помилок. Однак цих негативних наслідків можна уникнути шляхом відновлення втрачених даних за допомогою відповідної формули:

$$X_{\text{відн}} = \frac{LV + nP - \sum X}{(L - 1)(n - 1)} \quad (4.17)$$

Де $X_{\text{відн}}$ — це значення, що підлягає відновленню (пропущене значення);

L — число варіантів дослідження;

V — сумарне значення даних у тому варіанті, де міститься пропущене значення;

n — кількість повторень (реплікацій);

P — сума значень у повторенні, що включає пропущене значення;

$\sum X$ — загальна сума всіх значень у експерименті, за винятком пропущеного значення ($X_{\text{відн}}$).

Розберемо це на прикладі (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5

Вплив попередників на урожайність пшениці озимої (т/га)

Попередники	Повторність
-------------	-------------

	I	II	III	IV
Горох	4,92	5,13	5,32	5,34
Багаторічні трави	4,62	4,81	4,91	5,14
Вико-вівсяна сумішка	4,48	4,70	4,71	4,92
Кукурудза на силос	2,50	2,74	2,76	Хвідн

У експериментальному дослідженні впливу різних попередників на показники врожайності озимої пшениці відповідні дані щодо врожайності, зафіксовані в різних реплікаціях, представлені в Таблиці 4.5. Шляхом підстановки числових величин замість літерних позначень до вищезазначеної формули, буде отримано:

$$\text{Хвідн} = \frac{4 \times 8 + 4 \times 15,4 - 67}{(4-1) \times (4-1)} = 2,96 \text{ (т/га)}$$

Відновлене оцінене значення (наприклад, 2,96 т/га) вводиться замість відсутнього показника, після чого здійснюється подальший релевантний статистичний аналіз. У випадку одночасної відсутності кількох спостережень в межах одного експериментального дизайну, доцільним є застосування методології статистичної обробки, адаптованої для роботи з неповними наборами даних.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Визначити зважену середню арифметичну урожайності культури, якщо відомо, що з ділянки площею 5 гектарів було зібрано 4,23 тонни з гектара, а з ділянки площею 8 гектарів – 5,37 тонни з гектара.

2. Виконати аналіз і відбракування аномальних (сумнівних) значень з набору даних урожайності озимої пшениці. Дані отримані в ході експерименту з вивчення впливу доз добрив за повторностями та становлять: 6,58; 3,35; 5,62; 5,58 т/га.

3. Здійснити відновлення пропущеного (втраченого) значення даних. Це стосується експерименту, в якому досліджувався вплив різноманітних попередників на урожайність озимої пшениці, а відповідні показники урожайності для різних повторень представлені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Вплив попередників на урожайність пшениці озимої (т/га)

Попередники	Повторність			
	I	II	III	IV
Горох	Хвідн	5,27	5,31	5,29
Багаторічні трави	4,58	4,63	4,89	4,87
Вико-вівсяна сумішка	4,53	4,67	4,75	4,91
Кукурудза на силос	2,53	2,64	2,78	2,45

4.7 Визначення статистичної значущості диференціації середніх арифметичних показників вибірових сукупностей із застосуванням t-критерію Стьюдента і методу найменшої істотної різниці (НІР)

Розберемо увесь порядок дій на конкретному прикладі.

Вибірка 1 (X_1): 36, 39, 42, 45, 48.

Вибірка 2 (X_2): 27, 36, 42, 38, 31.

Визначають номенклатуру для елементів першої вибірки як X_1 , а для елементів другої вибірки — як X_2 . Далі формують відповідну допоміжну табличну форму (наприклад, таблиця 4.7), до якої вносять отримані емпіричні дані обох вибірових сукупностей.

У цій табличній репрезентації здійснюють окремий розрахунок сумарних значень для кожної вибірки, тобто ΣX_1 та ΣX_2 . Наступним кроком є встановлення середніх арифметичних показників для кожної вибіркової сукупності, які позначають як \bar{X}_1 та \bar{X}_2 відповідно. Також розраховують індивідуальні відхилення кожного елемента вибірки від її середнього арифметичного значення

(тобто $(X_1 - \bar{X}_1)$ та $(X_2 - \bar{X}_2)$), а також квадрати цих девіацій, а саме: $(X_1 - \bar{X}_1)^2$ та $(X_2 - \bar{X}_2)^2$.

Таблиця 4.7

Обчислення квадратів відхилень від середньої арифметичної

	Вибірка 1 (X_1)	Вибірка 2 (X_2)	Відхилення від середніх		Квадрати відхилень	
			$X_1 - \bar{x}_1$	$X_2 - \bar{x}_2$	$(X_1 - \bar{x}_1)^2$	$(X_2 - \bar{x}_2)^2$
	36	27	-6	-7,8	36	60,84
	39	36	-3	1,2	9	1,44
	42	42	0	7,2	0	51,84
	45	38	3	3,2	9	10,24
	48	31	6	-3,8	36	14
Σ	210	174	0	0	90	138,8
\bar{x}	42	34,8				

Середня арифметична (\bar{X}_1 та \bar{X}_2)

$$\bar{x}_1 = \frac{\Sigma X_1}{n} = \frac{210}{5} = 42$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\Sigma X_2}{n} = \frac{174}{5} = 34,8$$

Різниця середніх (d_x): $d_x = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 42 - 34,8 = 7,2$

Дисперсію (S^2) обчислюємо за формулою: $S^2 = \frac{\Sigma (X - \bar{x})^2}{n-1}$

$$S_1^2 = \frac{\Sigma (X_1 - \bar{x}_1)^2}{n-1} = \frac{90}{5-1} = 22,5$$

$$S_2^2 = \frac{\Sigma (X_2 - \bar{x}_2)^2}{n-1} = \frac{138,8}{5-1} = 34,7$$

Стандартне відхилення (S):

$$S_1 = \sqrt{S_1^2} = \sqrt{22,5} = 4,74$$

$$S_2 = \sqrt{S_2^2} = \sqrt{34,7} = 5,89$$

Середні арифметичні величини характеризуються похибками, що зумовлені недостатньою репрезентативністю вибіркової сукупності. Зазначені

похибки притаманні виключно емпіричним дослідженням, які базуються на вибірковому методі, а їхня величина детермінується ступенем варіабельності аналізованих параметрів та обсягом вибірки.

Похибка вибіркової середньої:

$$S\bar{X}_1 = \frac{S_1}{\sqrt{n}} = \frac{4,74}{\sqrt{5}} = 2,12$$

$$S\bar{X}_2 = \frac{S_2}{\sqrt{n}} = \frac{5,89}{\sqrt{5}} = 2,63$$

Похибка різниці середніх (Sd) обчислюється за формулою:

$$Sd = \sqrt{S\bar{X}_1^2 + S\bar{X}_2^2} \quad (4.18)$$

Відповідно, $Sd = \sqrt{2,12^2 + 2,63^2} = 3,38$

Фактичний критерій Стьюдента розраховують за формулою:

$$t_{\phi} = \frac{dx}{Sd} \quad (4.19)$$

Для даного прикладу $t_{\phi} = \frac{7,2}{3,38} = 2,13$

Число ступенів свободи: $\gamma = n_1 + n_2 - 2$

Для даного прикладу $\gamma = 5 + 5 - 2 = 8$

Принцип оцінки статистичної значущості відмінностей між середніми значеннями вибірок за критерієм Стьюдента полягає в наступному: якщо емпіричне значення t-критерію (t_{ϕ}), отримане в результаті розрахунків, перевищує відповідні табличні значення t_{05} або t_{01} (згідно з Додатком Б), то відмінність між середніми показниками вважається статистично значущою. І навпаки, якщо t_{ϕ} є меншим за ці табличні значення, то виявлена різниця оцінюється як статистично несуттєва.

При зіставленні обчисленого значення t-критерію ($t_f = 2,13$) з його теоретичними порогоми при 8 ступенях свободи (де $t_{05} = 2,31$ та $t_{01} = 3,36$) встановлено, що емпірична t-величина не досягає жодного з критичних значень – ані на 5%-му ($p < 0.05$), ані на 1%-му ($p < 0.01$) рівнях статистичної значущості. З цього випливає, що виявлена відмінність між середніми значеннями досліджуваних вибірок, відповідно до t-критерію, є статистично несуттєвою на обох розглянутих рівнях.

Найменшу істотну різницю (НІР) розраховуємо за формулами:

$$\text{НІР}_{05} = t_{05} \cdot S_d = 2,31 \cdot 3,38 = 7,81;$$

$$\text{НІР}_{01} = t_{01} \cdot S_d = 3,36 \cdot 3,38 = 11,37.$$

Принцип інтерпретації статистичної значущості відмінностей між середніми значеннями ґрунтується на наступному критерії: якщо емпірично встановлена різниця між середніми (d_x) є більшою або еквівалентною величині Найменшої Істотної Різниці (НІР), то така відмінність вважається статистично значущою. Натомість, якщо зазначена різниця менша за НІР, її розцінюють як статистично незначущу.

Проведене зіставлення спостережуваної різниці середніх (7,2) з пороговими значеннями НІР – 7,81 на 5% рівні значущості та 11,37 на 1% рівні значущості – демонструє, що в обох випадках емпірична різниця є меншою за відповідні критичні значення ($7,2 < 7,81$ та $7,2 < 11,37$). З цього випливає висновок про статистичну незначущість відмінності між вибірковими середніми для обох аналізованих рівнів значущості.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Оцінити істотність різниці вибіркових середніх за *t-критерієм* та за *найменшою істотною різницею (НІР)*

Вихідні дані до завдання містяться у табл 4.8, звідки потрібно виписати дві групи даних (X_1 і X_2), відповідно до номера Вашого варіанту (номер варіанту співпадає з останньою цифрою Вашого номеру у списку групи).

Таблиця 4.8

Вихідні дані до завдання

Номер варіанту										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
X ₁	26 20	22 26	23 25	26 27	24 26	25 27	37 38	31 35	34 37	33 39
	26 21	29 23	27 29	28 29	28 30	29 31	41 43	39 43	40 43	42 45
	32	27	31	31	32	33	46	47	46	48
X ₂	25 32	20 36	18 41	23 43	28 38	45 22	54 29	64 36	57 42	70 53
	35 33	44 35	47 41	51 43	45 39	14 21	18 25	25 34	31 38	36 47
	27	26	28	30	33	40	51	67	54	73

4.8 Дисперсійний аналіз однофакторного вегетаційного досліджу

Принцип дисперсійного аналізу. Основна ідея дисперсійного аналізу полягає у вивченні мінливості певного показника (наприклад, врожайності) в експериментальних дослідженнях, що використовують рандомізовані блоки (повторення). У таких дослідженнях варіативність показника зумовлена впливом експериментальних чинників (варіантів), ефектом повторень (блоків), а також дією неконтрольованих факторів. До останніх належать флуктуації зовнішнього середовища або внутрішня біологічна варіативність об'єктів, які спільно формують експериментальну похибку.

Англійський статистик Р. Фішер розробив метод кількісної оцінки цих джерел варіації, виразивши їх через суми квадратів таких розсіювань: варіантів – C_V ; повторень – C_P ; похибки – C_Z . Сукупність цих складових формує загальну суму квадратів відхилень (C_Y), що відображає сукупну мінливість даних за принципом аддитивності: $C_Y = C_V + C_P + C_Z$. Для кожної з цих сум квадратів обчислюється відповідна **кількість ступенів вільності (γ)**:

- ✓ для факторів – $\gamma_v = (L-1)$;
- ✓ для повторень – $\gamma_p = (n-1)$;

- ✓ для випадкової похибки – $\gamma_z = (L-1)(n-1)$;
- ✓ для загальної мінливості – $N-1$, де $N = L \times n$ (L – кількість варіантів, n – кількість повторень).

Діленням суми квадратів відхилень на відповідну кількість ступенів свободи отримують середню квадратичну величину, або дисперсію (S^2). Дисперсія є ключовим інструментом для розчленування загальної варіативності досліджуваного показника на компоненти, що зумовлені різними джерелами. Саме цей принцип розкладання варіації дав назву всьому методу – дисперсійний аналіз.

Серед цих дисперсій найбільш значущими є дисперсія, що пов'язана з дією експериментальних чинників (S^2_v), та дисперсія залишку (S^2_z), яка відображає невраховані випадкові впливи.

Співвідношення цих двох дисперсій є фундаментальним статистичним критерієм, який дозволяє оцінити статистичну значущість відмінностей між середніми значеннями груп або загальну достовірність експериментальних результатів. Цей критерій відомий як *F-критерій Фішера* і розраховується за відповідною формулою, що носить ім'я його розробника:

$$F_{\text{факт}} = \frac{S^2_v}{S^2_z} \quad (4.20)$$

Після обчислення емпіричного критерію Фішера ($F_{\text{факт}}$) його зіставляють із критичним значенням критерію ($F_{\text{теор}}$) на заданих рівнях статистичної значущості (додатки В і Г) для формування висновків. У випадку, якщо розрахований емпіричний критерій Фішера дорівнює або перевищує теоретичний ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$), статистична значущість відмінностей між середніми арифметичними вважається доведеною. Це вказує на наявність принаймні однієї або декількох пар варіантів у дослідженні, між середніми арифметичними яких спостерігається статистично значуща відмінність.

Натомість, якщо $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$, то статистично значущих відмінностей між середніми арифметичними не виявлено.

Іноді $F_{\text{факт}}$ виявляється лише незначно меншим за $F_{\text{теор}}$. Дотримуючись вищезгаданого критерію, необхідно констатувати відсутність значущих відмінностей у дослідженні. Проте, подальший аналіз часто дозволяє ідентифікувати таку відмінність хоча б між однією парою варіантів. Тому в подібних ситуаціях не варто обмежуватися лише розрахунком F -критерію, а слід переходити до визначення найменшої істотної різниці (НІР). Цей статистичний показник використовується для порівняння різниці (d) між середніми арифметичними. Якщо $d \geq \text{НІР}$, то значущість відмінності між варіантами підтверджується. Доведення, як правило, здійснюється на рівнях довірчої ймовірності $P_{0,95}$ та $P_{0,99}$.

Дисперсійний аналіз є одним із найдосконаліших методів статистичної обробки даних. Його переваги полягають у здатності декомпонувати загальну варіативність на її складові компоненти, а також у розрахунку узагальненої похибки всього експерименту (S_x) на основі більшої кількості спостережень, ніж це можливо для індивідуальних похибок окремих пар варіантів у недисперсійних методах. Наприклад, для експерименту з 5 варіантами та 4 повторностями кількість ступенів свободи для похибки γ_z становить $(5-1)(4-1)=12$. У той же час, для кожного окремого варіанта дослідження цей показник дорівнює $4-1=3$ (тобто в 4 рази менше), а для порівняння пари варіантів — $2 \times (4-1)=6$. Дисперсійний аналіз є надзвичайно ефективним для багатofакторних досліджень, оскільки дозволяє оцінити значущість не тільки впливу окремих факторів, а й їхньої взаємодії.

Оцінка точності всього дослідження формується на завершальному етапі дисперсійного аналізу, ґрунтуючись на кількісному значенні відносної похибки ($S_x\%$), яка обчислюється за відповідною формулою:

$$S_x\% = \frac{S_x \times 100}{\bar{x}N}$$

(4.21)

Де $Sx\%$ — узагальнена похибка досліду, $\bar{x}N$ — середня арифметична всього досліду.

Відсутність розрахунку експериментальної похибки зумовлює незавершеність дисперсійного аналізу та неповноту отриманих висновків.

Ключова відмінність між різновидами дисперсійного аналізу полягає у варіаціях застосовуваних формул і переліку обчислюваних сум квадратів:

неповна рендомізація — $SU=CV+CP+CZ$;

повна рендомізація — $SU=CV+CZ$;

латинський квадрат і латинський прямокутник — $SU=CV+CP+CZ+CC$;

двофакторний дослід — $SU=CP+Ca+Cb+Cav+Cac+Cbc+Cavc+CZ$.

Розберемо приклад: проведемо дисперсійний аналіз даних однофакторного вегетаційного досліду з вивчення дії біогумусу на довжину проростків ячменю ярого (таблиця 4.9). Дози біогумусу по варіантах: 1 варіант — 0; 2 — 10; 3 — 20; 4 — 30; 5 — 40 г на контейнер. Кожний варіант вирощується у трьох контейнерах.

Таблиця 4.9

Вплив дози біогумусу на довжину проростків ячменю ярого

Номер варіанту	Повторення			Сума за варіантом, ΣV	Середня за варіантом, \bar{X}
	I	II	III		
1	16,5	17,3	17,5	51,3	17,1
2	18,7	20,4	18,5	57,6	19,2
3	20,7	21,2	19,0	60,9	20,3
4	21,3	23,8	22,1	67,2	22,4
5	23,1	24,3	25,5	72,9	24,3
				$\Sigma X = 309,9$	$\bar{x}N = 20,7$

У контексті однофакторного експериментального дослідження, зокрема при застосуванні однофакторного дисперсійного аналізу, загальна дисперсія результуючої ознаки (S_u) декомпонується на дві ключові складові: дисперсію,

зумовлену впливом факторних рівнів (C_v), та залишкову (випадкову) дисперсію (C_z). Це співвідношення математично виражається як $C_y = C_v + C_z$.

Процедура статистичної обробки отриманих даних традиційно включає три основні етапи:

1. Формування допоміжної розрахункової таблиці (за аналогією з таблицею 4.9), в якій здійснюється обчислення сумарних значень та середніх арифметичних для кожного варіанта/рівня фактора. Окрім того, визначається загальна сума всіх спостережень ($\sum X$) та загальне середнє арифметичне значення по всьому експерименту ($\bar{x}N = \sum X/N$).

2. Проводиться розрахунок сум квадратів відхилень згідно з відповідними формулами, після чого детермінується емпіричне (фактичне) значення F-критерію Фішера (Fфакт).

Загальне число спостережень у досліді: $N = L \times n = 5 \times 3 = 15$;

корегуючий фактор (поправка): $C = \frac{(\sum X)^2}{N} = \frac{(309,9)^2}{15} = 6402,5$

загальна сума квадратів відхилень: $C_y = \sum X^2 - C = (16,5^2 + 17,3^2 + 17,5^2 + \dots + 25,5^2) - 6402,5 = 6507,71 - 6402,5 = 105,21$;

сума квадратів відхилень для варіантів:

$C_v = \frac{\sum V^2}{n} - C = (51,3^2 + 57,6^2 + 60,9^2 + 67,2^2 + 72,7^2) : 3 - 6402,5 = 19488,51 : 3 - 6402,5 = 93,67$;

сума квадратів відхилень залишку (помилки): $C_z = C_y - C_v = 105,21 - 93,67 = 11,54$.

Отримані розрахункові дані систематизуються та фіксуються у допоміжній таблиці (табл. 4.10). На підставі цих даних здійснюється обчислення дисперсії варіантів (дисперсії міжгрупових відмінностей, S_v^2), дисперсії залишків (дисперсії випадкової похибки, S_z^2) та фактичного значення F-критерію Фішера (Fфакт).

Таблиця 4.10

Результати дисперсійного аналізу

Розсіювання				Fфакт	Fтеор
-------------	--	--	--	--------------	--------------

	Суми квадратів	Ступені вільності, γ	Дисперсія, S^2		$P_{0,95}$	$P_{0,99}$
Загальне	105,21	14	-	-	-	-
Варіантів	93,67	4	23,42	20,3	3,48	5,99
Похибки	11,54	10	1,15			

Дисперсії розраховують за такими формулами:

$$S_V^2 = \frac{CV}{\gamma V} = 93,67:4=23,42; \quad S_Z^2 = \frac{CZ}{\gamma Z} = 11,54:10 = 1,15.$$

Критерій Фішера фактичний розраховують за формулою:

$$F_{\text{факт}} = \frac{SV^2}{SZ^2} = 23,42:1,15 = 20,3.$$

Теоретичне (або табличне) значення критерію Фішера визначається за таблицями F-розподілу (додатки В і Г), виходячи з кількості ступенів свободи для чисельника (що відповідає більшій дисперсії, $\gamma_1 = 3$) та для знаменника (що відповідає меншій дисперсії, $\gamma_2 = 9$). За таких умов, критичні значення F-критерію становлять 3,48 для рівня значущості $\alpha = 0,05$ (або довірчої ймовірності $P = 0,95$) і 5,99 для рівня значущості $\alpha = 0,01$ (або $P = 0,99$).

Принцип прийняття рішення полягає в наступному: якщо емпіричне значення F-критерію перевищує або дорівнює його критичному (табличному) значенню, то виявлені відмінності між досліджуваними варіантами (групами) визнаються статистично значущими.

У розглянутому прикладі, отримане емпіричне значення F-критерію становить 20,3, що істотно перевищує обидва критичні значення: $F_{0,95} = 3,48$ та $F_{0,99} = 5,99$. Цей результат переконливо вказує на статистичну значущість виявлених відмінностей на обох заданих рівнях статистичної значущості.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Визначте фундаментальні принципи, на яких базується дисперсійний аналіз, та охарактеризуйте його методологічну сутність.

2. Опишіть алгоритм обчислень, що застосовуються при реалізації дисперсійного аналізу, та проілюструйте його застосування на конкретному прикладі.

3. Представте математичні вирази, що використовуються для обчислення показників S_v^2 та S_Z^2 .

4. Розкрийте методологічні засади обчислення емпіричного критерію Фішера.

5. Охарактеризуйте підходи до визначення критичного (табличного) значення критерію Фішера.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Виконати дисперсійний аналіз однофакторного вегетаційного дослідження з визначення дії різних доз сапропелю на висоту проростків ячменю ярого (таблиця 4.11).

Таблиця 4.11

Висота проростків ячменю ярого за дії різних доз сапропелю, см

Номер варіанту	Повторення		
	I	II	III
1	18,2	19,1	18,5
2	25,4	24,9	25,2
3	22,9	22,6	22,7
4	20,0	20,2	23,2
5	18,3	19,3	19,4

2. Провести однофакторний дисперсійний аналіз на базі даних про вміст цукрів (середні значення) в проростках озимої пшениці за різних варіантів передпосівної інкрустації насіння, при $n = 3$. (Обрати якийсь один сорт).

Сорт	Варіант обробки	Вміст цукрів, %			
		До 1 етапу загартування	Після 1 етапу загартування (+2°C)	Після 2 етапу загартування (-4°C)	Після проморожування (-15°C) і

					відрощування
Миронівська 65	Дистильована вода (контроль)	4,53	29,65	22,24	28,61
	Марс-1; 2%	4,68	30,53	24,80	32,77
	АОК-М; 0,0001%	4,71	33,81	28,19	35,95

Сорт	Варіант обробки	Вміст цукрів, %			
		До 1 етапу загартування	Після 1 етапу загартування (+2°C)	Після 2 етапу загартування (-4°C)	Після проморожування (-15°C) і відрощування
Панна	Дистильована вода (контроль)	3,52	16,14	10,68	13,30
	Марс-1; 2%	4,09	22,84	16,20	19,04
	АОК-М; 0,0001%	4,39	25,60	19,62	22,26

Сорт	Варіант обробки	Вміст цукрів, %			
		До 1 етапу загартування	Після 1 етапу загартування (+2°C)	Після 2 етапу загартування (-4°C)	Після проморожування (-15°C) і відрощування
Айсберг одеський	Дистильована вода (контроль 2)	3,43	21,76	9,98	12,16
	Марс-1; 2%	3,77	26,72	15,30	18,92
	АОК-М; 0,0001%	4,15	28,77	19,00	21,50

3.Провести однофакторні дисперсійні аналізи на базі даних про схожість (середні значення), фактор А та енергію проростання (середні значення) , фактор В озимої пшениці сортів Знахідка одеська, Тіра, Циганка за дії препаратів АОК-М та Марс-1, % , при n – 5.

Сорт	Показник	Варіант						
		1.Дистильована вода (контроль)	2. Марс-1; 2%	3. АОК-М, 0,0005%	4. АОК-М, 0,001%	5. АОК-М, 0,004%	6. АОК-М, 0,008%	7. АОК-М, 0,01%
Знахідка одеська	Енергія проростання	81,8	83,4	84,3	88,5	89,6	87,0	84,9
	Схожість	88,8	90,5	91,4	95,0	95,9	94,0	91,8
Тіра	Енергія проростання	77,8	80,0	80,3	84,5	87,4	83,8	81,4
	Схожість	84,0	85,8	86,5	91,0	94,2	90,8	86,8
Циганка	Енергія проростання	79,0	82,0	82,6	87,6	89,8	86,1	84,2
	Схожість	84,2	87,2	87,8	92,3	94,3	92,2	88,5

4.Провести однофакторні дисперсійні аналізи (фактор А,В) на базі даних про вміст сухих розчинних речовин (середні значення)в плодах черешні 6-ти сортів при заморожуванні та зберіганні , при n = 4.

Фактор А (сорт)	Фактор В (етапи зберігання)					
	1	2	3	4	5	6
Валерий Чкалов - к	16,4	14,0	14,2	14,0	13,8	13,7
Винка	17,2	14,7	14,4	14,0	14,1	14,2
Дилемма	17,7	15,7	15,4	15,2	15,2	15,3
Сказка	17,1	14,1	13,7	13,2	13,2	13,1
Первенец	17,0	13,5	13,4	13,2	13,1	13,1
Темп	16,6	13,9	13,7	13,6	13,6	13,5

4.9 Дисперсійний аналіз двофакторних польових дослідів

Польове дослідження, присвячене оцінці доз агрохімікатів, кваліфікується як багатофакторне, якщо його методологія передбачає використання факторіальних схем (як повних, так і неповних), та зосереджена на аналізі не лише безпосереднього впливу, а й взаємодії кількох рівнів двох і більше типів поживних елементів на продуктивність сільськогосподарських культур та їх якісні параметри.

Фундаментальною метою багатофакторних експериментів є дослідження інтерактивних ефектів між чинниками та виявлення закономірностей їхньої спільної дії. Ідентифікація таких взаємодій дозволяє деталізувати вплив окремих факторів у конкретних експериментальних умовах, що є основою для узагальнення та подальшого використання виявлених патернів з метою оптимізації врожайності, покращення якісних показників продукції та підвищення родючості ґрунту.

Базуючись на результатах багатофакторних досліджень та обґрунтованих висновках, формулюються стратегії щодо інтеграції агротехнічних прийомів, спрямовані на посилення їхньої синергетичної ролі у технологіях вирощування аграрних культур.

Методика дисперсійного аналізу двофакторного польового дослідження буде продемонстрована на прикладі вивчення впливу глибин оранки та норм азоту на врожайність озимої пшениці (табл. 4.12).

Статистична обробка даних двофакторного експерименту здійснюється послідовно, методом дисперсійного аналізу.

Перший етап статистичного аналізу даних двофакторного експерименту. На цьому початковому етапі процедура аналізу ідентична підходу, що застосовується для однофакторних досліджень. Вона охоплює визначення сукупної (“загальної”, “абсолютної”) варіабельності, а також варіабельності, що припадає на вплив факторів (варіантів), повторень та експериментальної похибки. Це дає змогу обчислити F-критерій Фішера,

оцінити величину похибки експерименту та встановити статистичну значущість відмінностей між досліджуваними варіантами. Як умовну початкову точку (нульову відмітку) обрано значення $A = 57$, відносно якого будуть розраховані відхилення всіх емпіричних даних (табл. 4.13).

Таблиця 4.12

**Урожайність озимої пшениці (ц/га) за різних глибин обробітку
грунту та доз внесеного азоту**

Глибина оранки, см (фактор А)	Норма азоту (фактор В)	Повторність				Сума по варіанту, ΣV	Середня по варіанту, X^-
		I	II	III	IV		
20-22	N ₃₀	48,1	46,3	54,0	52,7	201,1	50,3
	N ₆₀	50,6	54,2	52,4	58,8	216,0	54,0
	N ₉₀	61,0	55,3	62,8	58,4	237,5	59,4
10-12	N ₃₀	52,2	55,3	56,7	54,9	219,5	54,9
	N ₆₀	54,2	59,1	57,4	57,8	228,5	57,1
	N ₉₀	64,0	62,2	66,1	65,4	257,7	64,4
Сума по повторенню, ΣP		330,5	332,4	349,4	348,0	$\Sigma X = 1360,3$	$X^-_N = 56,7$

Таблиця 4.13

Відхилення дат від довільного початку (X - A)

Глибина оранки, см (фактор А)	Норма азоту (фактор В)	Повторність				Сума по варіанту, ΣV
		I	II	III	IV	
20-22	N ₃₀	-8,9	-10,7	-3,0	-4,3	-26,9
	N ₆₀	-6,4	-2,8	-4,6	1,8	-12,0
	N ₉₀	4,0	-1,7	5,8	1,4	9,5
10-12	N ₃₀	-4,4	-1,7	-0,3	-2,1	-8,5
	N ₆₀	-2,8	2,1	0,4	0,8	0,5
	N ₉₀	7,0	5,2	9,1	8,4	29,7
Сума по повторенню, ΣP		-11,5	-9,6	7,4	6,0	$L = -7,7$

Розраховуємо квадрати відхилень дат від довільного початку (табл. 4.14).

Квадрати відхилень дат від довільного початку $(X - A)^2$

Глибина оранки, см (фактор А)	Норма азоту (фактор В)	Повторність				Квадрат суми по варіанту, $(\Sigma V)^2$
		I	II	III	IV	
20-22	N ₃₀	79,21	114,49	9,00	18,49	723,61
	N ₆₀	40,96	7,84	21,16	3,24	144,00
	N ₉₀	16,00	2,89	33,64	1,96	90,25
10-12	N ₃₀	19,36	2,89	0,09	4,41	72,25
	N ₆₀	7,84	4,41	0,16	0,64	0,25
	N ₉₀	49,00	27,04	82,81	70,56	882,09
Квадрат суми по повторенню, $(\Sigma P)^2$		132,25	92,16	54,76	36,0	$L^2=59,29$

$$l = l_A \times l_B = 2 \times 3 = 6$$

Загальне число дат (N): а) $l = l_A \times l_B = 2 \times 3 = 6$; б) $N = l \times n = 6 \times 4 = 24$.

Корегуючий фактор: $C = L^2/N = 59,29/24 = 2,47$;

Загальне розсіювання:

$$C_y = \Sigma(X-A)^2 - C = (79,21 + 114,49 + \dots + 82,81 + 70,56) - 2,47 = 618,09 - 2,47 = 615,62$$

Розсіювання повторень:

$$C_p = ((\Sigma P_A)^2 / l) - C = (132,25 + 92,16 + 54,76 + 36,0) / 6 - 2,47 = 315,17 / 6 = 50,06$$

Розсіювання варіантів: $C_v = (\Sigma V_A)^2 / n - C$

$$C_v = (723,61 + 144,00 + 90,25 + 72,25 + 0,25 + 882,09) / 4 - 2,47 = 475,64$$

Випадкове розсіювання (похибка):

$$C_z = C - C_p - C_v = 615,62 - 50,06 - 475,64 = 89,92$$

На поточному етапі статистичного опрацювання стає можливим надати комплексну оцінку статистичної значущості відмінностей між досліджуваними варіантами. Це здійснюється шляхом формування таблиці дисперсійного аналізу та подальшого визначення емпіричного значення критерію Фішера (як представлено в Таблиці 4.15). Розраховане значення F-критерію свідчить про те, що вплив чинників, які вивчаються в експерименті, є статистично значущим на обох заданих рівнях імовірності ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$).

Таблиця 4.15

Таблиця розрахунку дисперсійного аналізу

Розсіювання	Суми квадратів	v	S ²	F _{факт.}	F _{теор.}	
					P _{0,95}	P _{0,99}
Загальне	615,62	23				
Повторень	50,06	3				
Варіантів	475,64	5	95,13	15,88	2,90	4,56
Похибки	89,92	15	5,99			

У контексті однофакторного експерименту пряме порівняння експериментальних варіантів та оцінка статистичної значущості відмінностей між їхніми результативними показниками (наприклад, урожайністю) за допомогою F-критерію є безпосереднім підходом. Натомість, двофакторний експеримент передбачає значно ширший спектр завдань, що включає поглиблений аналіз впливу кожного фактора індивідуально, а також виявлення та оцінку їхньої взаємодії.

Другий етап статистичного аналізу даних двофакторного дослідження. Відповідно, на цій стадії статистичної обробки даних двофакторного експерименту здійснюється ідентифікація та кількісна оцінка основних ефектів досліджуваних факторів та їхньої взаємодії.

Для формування об'єктивного уявлення про індивідуальну ефективність кожного досліджуваного фактора, першочергово необхідно виконати попереднє обчислення та агрегування даних у таблицю 4.16, що міститиме суми квадратів за варіантами (інформація для цього запозичується з таблиці 4.14).

Таблиця 4.16

Таблиця для обчислення дії і взаємодії факторів

Глибина оранки, см (фактор А)	Норма азоту (фактор В)			ΣA ²
	N ₃₀	N ₆₀	N ₉₀	
20-22	723,61	144,00	90,25	957,86
10-12	72,25	0,25	882,09	954,59
ΣB ²	795,86	144,25	972,34	ΣX ² =1912,45

Розсіювання по фактору А:

$$C_A = \Sigma A^2 / (l_B \cdot n) - C = (957,86 + 954,59) / (3 \cdot 4) - 2,47 = 156,9;$$

Розсіювання по фактору В:

$$C_B = \Sigma B^2 / (l_A \cdot n) - C = (795,86 + 144,25 + 972,34) / (2 \cdot 4) - 2,47 = 236,59;$$

Розсіювання по взаємодії факторів АВ:

$$C_{AB} = C_v - C_A - C_B = 475,64 - 156,9 - 236,59 = 82,15;$$

Число ступенів свободи всіх розсіювань:

$$v_y = N - 1 = 24 - 1 = 23; v_B = l_B - 1 = 3 - 1 = 2; v_p = n - 1 = 4 - 1 = 3; v_{AB} = (l_A - 1) \cdot (l_B - 1) = (2 - 1) \cdot (3 - 1) = 2;$$

$$v_A = l_A - 1 = 2 - 1 = 1; v_Z = v_y - v_p - v_A - v_B - v_{AB} = 23 - 3 - 1 - 2 - 2 = 15.$$

Дисперсії для факторів А і В та їх взаємодії АВ:

$$S^2_A = C_A / v_A = 156,9 / 1 = 156,9;$$

$$S^2_B = C_B / v_B = 236,59 / 2 = 118,30;$$

$$S^2_{AB} = C_{AB} / v_{AB} = 82,15 / 2 = 41,07;$$

$$S^2_Z = C_Z / v_Z = 89,92 / 15 = 5,99.$$

Критерії Фішера фактичні:

$$F_A = S^2_A / S^2_Z = 156,9 / 5,99 = 26,19;$$

$$F_B = S^2_B / S^2_Z = 118,30 / 5,99 = 19,75;$$

$$F_{AB} = S^2_{AB} / S^2_Z = 41,07 / 5,99 = 6,86$$

Складаємо таблицю 4.16 за результатами дисперсійного аналізу.

Оскільки емпіричні значення F-критерію Фішера (F_A , F_B , F_{AB}), що становлять відповідно 26,19; 19,75 і 6,86, значно перевищують відповідні теоретичні критерії (наведені в додатках В і Г) на обох рівнях імовірності, можна констатувати статистично достовірний вплив глибини оранки та норм внесення азотних добрив на врожайність озимої пшениці.

Таблиця 4.16

Результати дисперсійного аналізу

Розсіювання	Суми квадрата-	v	S ²	F _{факт.}	F _{теор}
-------------	----------------	---	----------------	--------------------	-------------------

	тiв				P _{0,95}	P _{0,99}
Загальне	615,62	23	-	-	-	-
Повторень	50,06	3	-	-	-	-
Фактору А	156,9	1	156,9	26,19	4,54	8,68
Фактору В	236,59	2	18,30	19,75	3,69	6,36
Взаємодії АВ	82,15	2	41,07	6,86	3,69	6,36
Похибки	89,92	15	5,99	-	-	-

Для встановлення конкретних відмінностей між середніми значеннями необхідно розрахувати:

- узагальнену похибку для всього досліду:

$$E = \sqrt{S^2_Z/n} = \sqrt{5,99/4} = 1,22;$$

- узагальнену похибку для фактора А:

$$E_A = \sqrt{S^2_Z / (l_B \cdot n)} = \sqrt{5,99/(3 \cdot 4)} = 0,71;$$

- узагальнену похибку для фактора В:

$$E_B = \sqrt{S^2_Z / (l_A \cdot n)} = \sqrt{5,99/(2 \cdot 4)} = 0,86;$$

- похибку різниці для всього досліду:

$$S_d = E \cdot 1,41 = 1,22 \cdot 1,41 = 1,72 \text{ ц};$$

- похибку різниці для фактора А $S_{dA} = E_A \cdot 1,41 = 0,71 \cdot 1,41 = 1,00 \text{ ц};$

- похибку різниці для фактора В $S_{dB} = E_B \cdot 1,41 = 0,86 \cdot 1,41 = 1,21 \text{ ц}.$

Найменші істотні різниці:

- всього досліду $НІР_{0,95} = S_d \cdot t_{0,95} = 1,72 \cdot 2,13 = 3,66 \approx 3,7 \text{ ц/га};$

$$НІР_{0,99} = S_d \cdot t_{0,99} = 1,72 \cdot 2,95 = 5,07 \approx 5,1 \text{ ц/га};$$

- фактора А $НІР_{0,95} = S_{dA} \cdot t_{0,95} = 1 \cdot 2,13 = 2,13 \approx 2,1 \text{ ц/га};$

$$НІР_{0,99} = S_{dA} \cdot t_{0,99} = 1 \cdot 2,95 \approx 3,0 \text{ ц/га};$$

- фактора В $НІР_{0,95} = S_{dB} \cdot t_{0,95} = 1,21 \cdot 2,13 = 2,58 \approx 2,6 \text{ ц/га};$

$$НІР_{0,99} = S_{dB} \cdot t_{0,99} = 1,21 \cdot 2,95 = 3,57 \approx 3,6 \text{ ц/га}.$$

Відносна похибка досліду:

$$S_{\bar{x}}\% = (E \cdot 100) / \bar{x}M = (1,22 \cdot 100) / 56,7 = 2,15\%$$

Точність досліджу $T \% = 100 - 2,15 = 97,85 \%$.

Складаємо підсумкову таблицю (табл. 4.17).

Таблиця 4.17

Підсумкова таблиця дисперсійного аналізу даних двофакторного досліджу

Глибини оранки, см (Фактор А)	Дози азоту (Фактор В)	X	Різниця за фактором		НІР		S _x -%	Т%
			А	В	0,95	0,99		
20-22	N ₃₀	50,3	-	-	3,7	5,1	2,15	97,85
	N ₆₀	54,9	-	3,7				
	N ₉₀	59,4	-	9,1				
10-12	N ₃₀	54,9	4,6	-				
	N ₆₀	57,1	3,1	2,2				
	N ₉₀	64,4	5,0	9,5				
НІР _{0,95} за факторами			2,1	2,6				
НІР _{0,99} за факторами			3,0	3,6				

Висновки

Аналіз впливу фактора А демонструє, що застосування мілкої обробки ґрунту (10—12 см) порівняно з глибокою (20—22 см) сприяє суттєвому зростанню врожайності озимої пшениці незалежно від рівня мінерального живлення.

Відносно фактора В, за умов глибокої обробки ґрунту достовірно підвищення врожайності озимої пшениці забезпечується внесенням обох підвищених норм азотних добрив, тоді як за поверхневої обробки ґрунту цей ефект досягається лише при застосуванні норми N₉₀.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть призначення багатфакторного експерименту.
2. Обґрунтуйте критерії або принципи вибору умовної початкової точки (А) у статистичному аналізі.

3. Визначте методологію обчислення сукупної кількості спостережень та корегуючого фактора на першому етапі статистичної обробки емпіричних даних двофакторного експерименту.

4. Опишіть процедуру розрахунку загальної варіабельності, варіабельності повторень, варіантів та випадкової варіабельності на першому етапі статистичної обробки результатів двофакторного дослідження.

5. Сформулюйте основну мету другого етапу статистичного аналізу результатів двофакторного експерименту.

6. Охарактеризуйте методологію визначення варіабельності, обумовленої впливом факторів А, В та їх взаємодії АВ.

7. Викладіть принципи визначення кількості ступенів свободи для всіх джерел варіабельності.

8. Обґрунтуйте основні принципи обчислення дисперсій для кожного фактора (А і В) окремо, а також для їх взаємодії (АВ).

9. Розкрийте методику зіставлення та інтерпретації емпіричних значень критерію Фішера (F_A , F_B , F_{AB}) з їх теоретичними (критичними) відповідниками.

10. Визначте призначення та обґрунтуйте принципи розрахунку узагальненої стандартної похибки для всього експерименту, а також узагальнених стандартних похибок для окремих факторів (А і В) та стандартних похибок різниці (S_d) для дослідження в цілому та для кожного фактора (S_{dA} , S_{dB}) відповідно.

11. Викладіть методологію обчислення найменшої істотної різниці (НІР) для всього експерименту та для кожного окремого фактора (А, В).

12. Охарактеризуйте процес інтерпретації результатів, представлених у зведеній таблиці дисперсійного аналізу двофакторного експерименту.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. У двофакторному дослідженні, проведеному в агроекологічних умовах Степової зони, було оцінено вплив факторів азотного живлення та густоти посіву

на формування продуктивності сої (*Glycine max L.*) сорту Аметист. Статистична обробка отриманих експериментальних даних передбачає застосування дисперсійного аналізу.

Норма висіву (фактор А) тис. схож. нас. на 1 га	Норма Азоту (фактор В), кг/га	Врожайність (ц / га)			
		I	II	III	IV
350	N ₁₅	20,4	22,9	19,3	20,8
	N ₃₀	21,5	22,1	23,0	23,4
	N ₄₅	23,2	22,7	19,6	20,8
450	N ₁₅	21,5	22,0	24,1	23,1
	N ₃₀	23,7	22,4	20,8	22,5
	N ₄₅	24,0	24,8	21,9	21,5

2.У рамках проведеного двофакторного експерименту в агрокліматичних умовах Степового регіону було здійснено всебічний аналіз впливу різних схем застосування гербіцидів (як чинника А) та варіативних норм внесення мікродобрив (як чинника В) на показники продуктивності культури кукурудзи, а саме гібриду “Валентина”. Результати дослідження підлягають подальшому дисперсійному аналізу.

Гербіцид (фактор А)	Норма ZnSO ₄ (фактор В) кг на 1 т насіння	Врожайність (ц / га)			
		I	II	III	IV
Ерадикан	0,7	34,4	35	34,8	35,1
	0,8	32,8	31,9	32,5	32,9
	0,9	33,7	33,0	34,2	33,0
Харнес	0,7	33,9	33,5	32,9	34,3
	0,8	31,9	32,4	32,6	32,5
	0,9	32,2	33,1	34,0	33,8

3.У процесі експериментального дослідження, проведеного на території Полісся за двофакторною схемою, було визначено кореляцію між сортовими особливостями (фактор А) та впливом попередників (фактор В) на динаміку врожайності озимої пшениці. З метою статистичного підтвердження отриманих результатів слід здійснити дисперсійний аналіз.

Сорт	Попередник	Врожайність (ц / га)
------	------------	----------------------

(фактор А)	(фактор В)	I	II	III	IV
Ганна	Багаторічні трави	8,87	9,12	8,25	9,00
	Горох	8,91	9,11	9,30	8,67
	Картопля рання	9,85	9,90	10,00	9,99
Лютенценс 7	Багаторічні трави	8,99	9,10	9,25	9,30
	Горох	10,00	9,89	9,60	8,99
	Картопля рання	9,74	9,81	9,84	9,89

4.У рамках двофакторної експериментальної схеми, реалізованої в агрокліматичних умовах Лісостепової зони, було проаналізовано вплив системи обробітку ґрунту (чинник А) та застосування органічних добрив (чинник В) на показники продуктивності озимого жита. З метою статистичної оцінки значущості виявлених ефектів необхідно провести дисперсійний аналіз отриманих даних.

Обробіток ґрунту (фактор А)	Органічні добрива (фактор В)	Врожайність (ц / га)			
		I	II	III	IV
Глибина оранки 20 см	15 т/га	45,2	44,9	44,5	45,3
	20 т/га	46,2	46,4	46,9	45,8
	25 т/га	47,0	46,9	46,9	46,5
Глибина оранки 22 см	15 т/га	46,0	45,7	45,5	45,9
	20 т/га	46,7	46,1	46,5	45,9
	25 т/га	46,8	46,7	46,9	45,9

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Освітньо-професійна програма «Агрономія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю Н1 «Агрономія» галузі знань Н «Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина» Кваліфікація: бакалавр з агрономії. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. 28 с. URL: <https://www.tsatu.edu.ua/ate/wp-content/uploads/sites/41/opp-ah-bak-2025-zi-zminamy.pdf> (дата звернення: 22.01.2026).
2. Стандарт вищої освіти за спеціальністю 201 «Агрономія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishchaosvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/201-Agronomiya-bakalavr.21.10.2022.pdf> (дата звернення: 22.01.2026).
3. Робоча програма навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 201 «Агрономія» (на основі повної загальної середньої освіти). – Запоріжжя. ТДАТУ, 2025. 17 с. URL: <https://op.tsatu.edu.ua/course/view.php?id=143> (дата звернення: 22.01.2026).
4. Spiertz H. Agricultural sciences in transition from 1800 to 2020: Exploring knowledge and creating impact. *European Journal of Agronomy*. 2014. № 59. P. 96—106. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.06.001>
5. Evenson R. The contribution of agricultural research to production. *Journal of Farm Economics*. 1967. № 49(5). P. 1415-1425. <https://doi.org/10.2307/1237038>
6. Alston J. M., Pardey P. G. The economics of agricultural innovation. *Handbook of agricultural economics*. 2021. № 5. P. 3895-3980. <https://doi.org/10.1016/bs.hesagr.2021.10.001>
7. Vernon W. R. Research to achieve sustainable growth in agricultural production: into the 21st century. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 1996. № 18(2). P. 123-132. <https://doi.org/10.1080/07060669609500636>

8. Röling N. Towards an interactive agricultural science. *European Journal of Agricultural Education and Extension*. 1996. № 2(4). P. 35–48. <https://doi.org/10.1080/13892249685300061>
9. Asprooth L., Norton M., Galt R. Transforming the Corn Belt: A recipe for collaborative, farmer-driven research and diffusion of innovation. *Journal of Rural Studies*. 2023. № 103. Article 103133. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103133>
10. Wong D. G. *Still searching: Research and extension in California organic no till vegetable production* (Doctoral dissertation, University of California, Santa Cruz). 2023. URL: <https://www.proquest.com/openview/8ba826e4400a414dcc56ca68ac62ffcd/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y> (дата звернення: 22.01.2026).
11. Norton G. W., Davis J. S. Evaluating returns to agricultural research: a review. *American journal of agricultural economics*. 1981. № 63(4). P. 685-699. <https://doi.org/10.2307/1241211>
12. Dimitrijević M. S. Technological progress in the function of productivity and sustainability of agriculture: The case of innovative countries and the Republic of Serbia. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. № 14. Article 100856. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100856>
13. Mowla M. N., Mowla N., Shah A. F. M. S., Rabie K. M., Shongwe T. Internet of Things and Wireless Sensor Networks for Smart Agriculture Applications: A Survey. *IEEE Access*. 2023. №1 1. P. 145813-145852. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3346299>
14. Garg D., Alam M. Smart agriculture: A literature review. *Journal of Management Analytics*. 2023. № 10(2). P. 359-415. <https://doi.org/10.1080/23270012.2023.2207184>
15. Tomaš Simin M., Janković D. Applicability of diffusion of innovation theory in organic agriculture. *Econ.Agric*. 2014. № 61(2). P. 517-529. <https://doi.org/10.5937/ekoPolj1402517T>

16. Curry G. N., Nake S., Koczberski G. [et al.]. Disruptive innovation in agriculture: socio-cultural factors in technology adoption in the developing world. *J. Rural Stud.* 2021. № 88. P. 422-431. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.02>
17. Weyori A. E., Amare M., Garming H., Waibel H. Agricultural innovation systems and farm technology adoption: findings from a study of the Ghanaian plantain sector. *J. Agric. Educ. Ext.* 2017. № 24(1). P. 67-87. <https://doi.org/10.1080/1389224x.2017.1386115>
18. Vanclay F. M., Russell A. W., Kimber J. Enhancing innovation in agriculture at the policy level: the potential contribution of Technology Assessment. *Land Use Pol.* 2013. № 31. P. 406-411. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.08.004>
19. Diederer P., Meijl H. V., Wolters A., Bijak K. Innovation adoption in agriculture: innovators, early adopters and laggards. *Cah. Écon. Sociol. Rurales.* 2003. № 67. P. 29-50. URL: <https://hal.science/hal-01201041/document> (дата звернення: 22.01.2026).
20. Chavas J., Nauges C. Uncertainty, learning, and technology adoption in agriculture. *Appl. Econ. Perspect. Pol.* 2020. № 42(1). P. 42-53. <https://doi.org/10.1002/aepp.13003>
21. Weersink A., Fulton M. Limits to profit maximization as a guide to behavior change. *Appl. Econ. Perspect. Pol.* 2020. № 42(1). P. 67-79. <https://doi.org/10.1002/aepp.13004>
22. Streletskaia N. A., Bell S. D., Kecinski M. [et al.]. Agricultural adoption and behavioral economics: bridging the gap. *Appl. Econ. Perspect. Pol.* 2020. № 42(1). P. 54-66. <https://doi.org/10.1002/aepp.13006>
23. Teklu A., Simane B., Bezabih M. Multiple adoption of climate-smart agriculture innovation for agricultural sustainability: empirical evidence from the Upper Blue Nile Highlands of Ethiopia. *Clim. Risk Manag.* 2023. № 39. Article 100477. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100477>
24. Viaggi D. Research and innovation in agriculture: beyond productivity? *Bio base Appl. Econ.* 2015. № 4(3). P. 279-300. <https://doi.org/10.13128/BAE-17555>

25. Al-agele H. A., Nackley L., Higgins C. W. A pathway for sustainable agriculture. *Sustainability*. 2021. № 13(8). P. 4328. <https://doi.org/10.3390/su13084328>
26. Khan N., Ray R.L., Sargani G.R. et al. Current progress and future prospects of agriculture technology: gateway to sustainable agriculture. *Sustainability*. 2021. № 13(9). P. 4883. <https://doi.org/10.3390/su13094883>
27. Da Silveira F., Lermen F.H., Amaral F.G. An overview of agriculture 4.0 development: systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. *Comput. Electron. Agric.* 2021. № 189. Article 106405. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>
28. Bagheri A., Emami N. Perceptions of agricultural experts towards barriers to the adoption of precision agriculture. *Int. J. Agric. Manag. Dev.* 2023. № 13(2). P. 103-114. <https://doi.org/10.71877/ijamad.2022.6635>
29. Alene A. D., Manyong V. M. The effects of education on agricultural productivity under traditional and improved technology in northern Nigeria: an endogenous switching regression analysis. *Empir. Econ.* 2006. № 32(1). P. 141-159. <https://doi.org/10.1007/s00181-006-0076-3>
30. Reimers M., Klasen S. Revisiting the role of education for agricultural productivity. *Am. J. Agric. Econ.* 2013. № 95(1). P. 131-152. <https://doi.org/10.1093/ajae/aas118>
31. Lans T., Wesselink R., Biemans H.J.A., Mulder M. Work-related lifelong learning for entrepreneurs in the agri-food sector. *Int. J. Train. Dev.* 2004. № 8(1). P. 73-89. <https://doi.org/10.1111/j.1360-3736.2004.00197.x>
32. Гадзало Я. М. Роль аграрної науки у вирішенні проблеми продо-вольчої безпеки держави в умовах воєнного стану. *Наука та наукознавство*. 2023. № 2 (120). С. 23-35. <https://doi.org/10.15407/sofs2023.02.023>
33. Кваша С., Павленко О., Вакуленко В. Конкуентоспроможність української аграрної продукції на зовнішніх ринках. *Економіка та суспільство*. 2024. № 68. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-198>

34. Вергунов В. Інноваційний розвиток аграрної науки України: стан та перспективи. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 103(1). С. 75-83. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202501-10>
35. Науково-дослідні інститути. URL: <https://www.tsatu.edu.ua/nauka/n/naukovo-doslidni-instytuty/> (дата звернення: 24.02.2026).
36. ТДАТУ – агровиробникам. URL: <https://www.tsatu.edu.ua/nauka/n/tdatu-ahrovyrobnykam/> (дата звернення: 22.01.2026).
37. Науково-дослідний інститут агротехнологій і екології (НДІ АТіЕ). URL: <https://www.tsatu.edu.ua/nauka/n/naukovo-doslidni-instytuty/naukovo-doslidnyj-instytut-ahrotehnolohij-ta-ekolohiji/> (дата звернення: 22.01.2026).
38. Момот О. Методологія та організація наукових досліджень : навч.-метод. посібник. Полтава : ПП Астроя, 2023. 99 с.
39. Староста В. І. Методологія наукових досліджень : навч.-метод. посіб. для самот. роботи здобувачів освіти. Вид. 2-е, випр. і доп. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2023. 72 с.
40. Основи наукових досліджень : конспект лекцій / уклад. О. А. Шуменко. Суми : Сумський державний університет, 2025. 74 с. URI: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/98583> (дата звернення: 22.01.2026).
41. Лагодієнко В. В., Іванченкова Л. В., Іванченков В. С. Гіпотеза як суттєвий елемент методології наукових досліджень. *Економічний простір*. 2022. № 181. С. 9-13. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/181-1>
42. Pereponova A., Grahmann K., Lischeid G. [et al.]. Sustainable transformation of agriculture requires landscape experiments. *Heliyon*. 2023. № 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21215>
43. Piñeiro V., Arias J., Dürr J. et al. A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nat Sustain*. 2020. № 3. P. 809–820. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00617-y>
44. Pretty J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Phil. Trans. Biol. Sci*. 2008. № 363. P. 447-465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>

45. Kruijf J. V. D., Verbrugge L., Schröter B. et al. Knowledge co-production and researcher roles in transdisciplinary environmental management projects. *Sustainable Development*. 2022. № 30(2). P. 393-405. <https://doi.org/10.1002/sd.2281>
46. Pelosi C., Goulard M., Balent G. The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: Do difficulties come from underlying theoretical frameworks? *Agriculture, ecosystems & environment*. 2010. № 139(4). P. 455-462. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.004>
47. Jeanneret P., Aviron S., Alignier A. et al. Agroecology landscapes. *Landscape Ecology*. 2021. № 36(8). P. 2235-2257. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01248-0>
48. McPhee C., Bancarz M., Mambrini-Doudet M. et al. The defining characteristics of agroecosystem living labs. *Sustainability*. 2021. № 13(4). P. 1718. <https://doi.org/10.3390/su13041718>
49. Reckling M., Bergkvist G., Watson C. A. et al. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy. *European Journal of Agronomy*. 2020. № 112. P. 125951. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125951>
50. Reganold J. P., Wachter J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature plants*. 2016. № 2(2). P. 1-8. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
51. Rockström J., Williams J., Daily G. et al. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*. 2017. № 46(1). P. 4-17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>
52. Niggli U. Agroecology empowers a new, solution-oriented dialogue. *Sustainable Organic Agric Syst*. 2020. № 70(2). P. 15–20. <https://doi.org/10.3220/LBF1602159680000>
53. Gallardo-López F., Hernández-Chontal M. A., Cisneros-Saguilán P. et al. Development of the concept of agroecology in Europe: A review. *Sustainability*. 2018. № 10(4). P. 1210. <https://doi.org/10.3390/su10041210>
54. Gliessman S. Defining agroecology. *Agroecology and sustainable food systems*. 2018. № 42(6). P. 599-600. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1432329>

55. Tiftonell P., Piñeiro G., Garibaldi L. A. et al. Agroecology in large scale farming—A research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020. № 4. P. 584605. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.584605>
56. Lacoste M., Cook S., McNee M. et al. On-farm experimentation to transform global agriculture. *Nature Food*. 2022. № 3(1). P. 11-18. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00424-4>
57. Kernecker M., Fienitz M., Nendel C. et al. Transition zones across agricultural field boundaries for integrated landscape research and management of biodiversity and yields. *Ecological Solutions and Evidence*. 2022. № 3(1). e12122. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12122>
58. Bowles T. M., Acosta-Martínez V., Calderón F. et al. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. № 6 8. P. 252-262. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.004>
59. Stein-Bachinger K., Preißel S., Kühne S. et al. More diverse but less intensive farming enhances biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*. 2022. № 37(5). P. 395-396. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.01.008>
60. Bennett E. M., Peterson G. D., Gordon L. J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology letters*. 2009. № 12(12). P. 1394—1404. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>
61. Syrbe R. U., Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological indicators*. 2012. № 21. P. 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.013>
62. Kravchenko A. N., Snapp S. S., Robertson G. P. Field-scale experiments reveal persistent yield gaps in low-input and organic cropping systems. *Proceedings of the National Academy of Science*. 2017. № 114(5). P. 926-931. <https://doi.org/10.1073/pnas.1612311114>
63. Dam T. H. T., Amjath-Babu T. S., Bellingrath-Kimura S. et al. The impact of salinity on paddy production and possible varietal portfolio transition: a Vietnamese

case study. *Paddy and Water Environment*. 2019. № 17(4). P. 771-782.
<https://doi.org/10.1007/s10333-019-00756-9>

64. Sainju U. M. Determination of nitrogen balance in agroecosystems. *MethodsX*. 2017. № 4. P. 199-208.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2017.06.001>

65. Martinez-Feria R. A., Castellano M. J., Dietzel R. N. et al. Linking crop-and soil-based approaches to evaluate system nitrogen-use efficiency and tradeoffs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018. № 256. P. 131-143.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.002>

66. Lemaire G., Franzluebbers A., de Faccio Carvalho P. C. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014. № 190. P. 4-8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

67. Veldkamp A., Kok K., De Koning G. H. J. et al. Multi-scale system approaches in agronomic research at the landscape level. *Soil and Tillage Research*. 2001. № 58(3-4). P. 129-140. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00163-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00163-X)

68. McClain M. E., Boyer E. W., Dent C. L. [et al.]. Biogeochemical Hot Spots and Hot Moments at the Interface of Terrestrial and Aquatic Ecosystems. *Ecosystems*. 2003. № 6(4). P. 301–312.

69. Peterson G., Allen C. R., Holling C. S. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems*. 1998. № 1(1). P. 6-18. <https://doi.org/10.1007/s100219900002>

70. Butterbach-Bahl K., Baggs E. M., Dannenmann M. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2013. № 368(1621). e20130122. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>

71. Ahuja L. R., Ma L., Timlin D. J. Trans-disciplinary soil physics research critical to synthesis and modeling of agricultural systems. *Soil Science Society of America Journal*. 2006. № 70(2). P. 311-326. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0207>

72. Thai T. H., Bellingrath-Kimura S. D., Hoffmann C. [et al.]. Effect of long-term fertiliser regimes and weather on spring barley yields in sandy soil in North-East

Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2020. № 66(13). P. 1812-1826.

<https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1697436>

73. Huynh H. T., Hufnagel J., Wurbs A. [et al.]. Influences of soil tillage, irrigation and crop rotation on maize biomass yield in a 9-year field study in Müncheberg, Germany. *Field Crops Research*. 2019. № 241. P. 107565.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107565>

74. Oo A. Z., Nguyen L., Win K. T. [et al.]. Toposequential variation in methane emissions from double-cropping paddy rice in Northwest Vietnam. *Geoderma*.

2013. № 209. P. 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.05.025>

75. Kimura S. D., Toma Y., Mu Z. et al. Eco-balance analysis of land use combinations to minimize environmental impacts and maximize farm income in northern Japan. *Sustainability Science*. 2010. № 5(1). P. 19-27.

<https://doi.org/10.1007/s11625-009-0100-6>

76. Hernández-Ochoa I. M., Gaiser T., Kersebaum K. C. et al. Model-based design of crop diversification through new field arrangements in spatially heterogeneous landscapes. A review: Model-based design of crop diversification through new field arrangements in spatially heterogeneous landscapes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2022. № 42(4). P. 74.

<https://doi.org/10.1007/s13593-022-00805-4>

77. Ryo M., Schiller J., Stiller S. [et al.]. Deep learning for sustainable agriculture needs ecology and human involvement. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*. 2023. № 2(1). P. 40-44.

<https://doi.org/10.1002/sae2.12036>

78. Beymer-Farris B. A., Bassett T. J., Bryceson I. Promises and pitfalls of adaptive management in resilience thinking: The lens of political ecology. In *Resilience and the Cultural Landscape: Understanding and Managing Change in Human-Shaped Environments*. Cambridge University Press, 2010. P. 283-300.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781139107778.020>

79. Prestele R., Verburg P. H. The overlooked spatial dimension of climate-smart agriculture. *Global change biology*. 2020. № 26(3). P. 1045-1054.

<https://doi.org/10.1111/gcb.14940>

80. Antle J. M., Basso B., Conant R. T. et al. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Design and improvement. *Agricultural systems*. 2017. № 155. P. 255-268. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.10.002>
81. O'Neill R. V., Turner S. J., Cullinan V. I. et al. Multiple landscape scales: an intersite comparison. *Landscape Ecology*. 1991. № 5(3). P. 137-144. <https://doi.org/10.1007/BF00158061>
82. Heffernan J. B., Soranno P. A., Angilletta Jr. et al. Macrosystems ecology: understanding ecological patterns and processes at continental scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2014. № 12(1). P. 5-14. <https://doi.org/10.1890/130017>
83. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e5c0ed8332.pdf> (дата звернення 06.02.2026).
84. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, В. П. Опришко, П. В. Костогриз; За ред. В. О. Єщенка. Київ : Дія, 2005. 288с.
85. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового дослід (Зрошуване землеробство). Херсон : Грінь Д. С., 2014. 448 с.
86. How Data Happened: A History from the Age of Reason to the Age of Algorithms. By Chris Wiggins and Matthew L. Jones. Norton & Co., New York, 2023. xiv+367 pp., softcover.
87. Roca R. Featured Review: How Data Happened: A History from the Age of Reason to the Age of Algorithms. *SIAM Review*. 2025. № 67(2). <https://doi.org/10.1137/24M1635521>
88. Van Toorn G., Soldatić K. Disablism, racism and the spectre of eugenics in digital welfare. *Journal of Sociology*. 2024. № 60(3). P. 523-539. <https://doi.org/10.1177/14407833241244828>
89. Kumar A., Pant S. Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. *MethodsX*. 2023. № 10. e101954. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101954>

90. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз результатів польових дослідів : монографія. Херсон : Айлант, 2009. 372 с.
91. Основи наукових досліджень : підручник / І. Ш. Невлюдов, Ю. М. Олександров, А. О. Андрусевич, О. О. Чала ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Prague : OKTAN PRINT, 2024. 468 с.
<https://doi.org/10.46489/ONDNP-24-12>
92. Основи наукових досліджень. Курс лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка / О. Б. Шарпан (уклад.). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 89 с.
93. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с.
94. Основи наукових досліджень : навч.-метод. посібник / О. Г. Романовський [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків : Іванченко І. С., 2022. 150 с.
95. Надикто В. Т. Основи наукових досліджень : підручник. Херсон: Олді-плюс, 2024. 268 с.
96. Смірнова І. В. Основи дослідницької справи. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Молодший бакалавр» початкового рівня (короткий цикл) спеціальності 201 «Агрономія» денної форми навчання. Миколаїв : МНАУ, 2021. 48 с.
<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9568/1/osnovi-doslidnickoyi-spravi-metod.pdf> (дата звернення 06.02.2026).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Староста В. І. Методологія наукових досліджень : навч.-метод. посіб. для самост. роботи здобувачів освіти / В. І. Староста. Вид. 2-е, випр. і доп. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2023. 72 с.

2. Основи наукових досліджень : конспект лекцій / уклад. О. А. Шуменко. Суми : Сумський державний університет, 2025. 74 с. URI: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/98583>

3. Основи наукових досліджень : підручник / І. Ш. Невлюдов, Ю. М. Олександров, А. О. Андрусевич, О. О. Чала ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Prague : OKTAN PRINT, 2024. 468 с. <https://doi.org/10.46489/ONDNP-24-12>

4. Основи наукових досліджень : навч.-метод. посібник / О. Г. Романовський [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків : Іванченко І. С., 2022. 150 с.

5. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень : підручник. Херсон : Олді-плюс, 2024. 268 с.

Додаткова

1. Сердюк М. Є., Прісс О. П., Гапріндашвілі Н. А., Іванова І. Є. Дослідницький практикум. Ч.1. Методи дослідження плодоовочевої та ягідної продукції. Мелітополь: Люкс, 2020. 364 с.

2. Основи наукових досліджень. Курс лекцій. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка / О. Б. Шарпан (уклад.); КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані (1 файл 348 Кбайт, 4.58 авт. аркушів). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 89 с.

3. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174

«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. 186 с.

4. Малкіна В. М., Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Кривонос І. А., Білоус Е. С. Регресійний аналіз залежності урожайності вишні від гідротермічних факторів в умовах мультиколінеарності // Scientific Horizons. 2019. Вип. 4 (84).

5. Ivanova I., Kryvonos I., Shleina L., Taranenko G., Gerasko T. Multicriteria Optimization of Quality Indicators of Sweet Cherry Fruits of Ukrainian Selection During Freezing and Storage // Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations : Conference proceedings / ed. V. Nadykto. 2019. P. 707-717.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Освітній портал ТДАТУ: <http://op.tsatu.edu.ua>

2. Сайт кафедри рослинництва та садівництва імені професора В.В.Калитки ТДАТУ: офіційний сайт: [Електронний ресурс]. Точка доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/shn/>

3. Науково бібліотека ТДАТУ: офіційний сайт: [Електронний ресурс]. Точка доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/biblioteka/>

ДОДАТКИ

Довідково-інформаційні дані для розв'язання задач

ДОДАТОК А

Таблиця випадкових чисел

№ пор.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	10	09	73	25	33	76	52	01	35	68	34	67	35	48	76	80	95	90	91	17
2	37	54	20	48	05	69	89	47	42	39	24	80	52	40	37	20	63	61	04	02
3	08	42	36	89	53	14	64	50	93	60	23	20	90	25	60	15	95	33	47	64
4	99	01	90	25	29	09	37	67	07	51	38	31	13	11	63	88	67	67	43	97
5	12	80	79	99	70	80	15	73	61	74	04	03	23	66	53	98	95	11	68	77
6	66	06	57	47	17	34	07	27	68	05	36	69	73	61	70	65	81	33	98	85
7	31	06	01	08	05	45	57	18	24	60	35	30	34	26	14	86	79	90	74	39
8	85	26	97	76	02	02	05	16	56	29	68	66	57	48	18	73	05	38	52	47
9	63	57	33	21	35	05	32	54	70	84	90	55	35	75	48	28	46	82	87	09
10	73	79	64	47	53	03	52	96	47	87	35	80	83	42	82	60	93	52	03	34
11	98	52	01	77	67	14	90	56	86	70	22	10	94	05	58	60	97	09	34	33
12	11	80	50	54	31	39	80	82	77	23	50	72	56	82	48	29	40	59	42	01
13	83	45	29	96	34	06	28	89	80	38	13	74	67	00	78	18	47	54	06	10
14	88	68	54	02	00	86	50	75	84	01	36	76	66	79	51	90	36	47	64	93

15	99	59	46	73	48	87	51	76	49	69	91	82	60	89	28	93	78	56	13	68
16	65	48	11	76	74	17	46	85	09	50	58	04	77	69	74	73	03	95	71	86
17	80	12	43	56	35	17	72	70	80	15	45	31	82	23	75	21	11	57	82	53
18	74	35	99	98	17	77	40	27	72	14	43	23	60	02	10	45	52	16	42	37
19	69	91	62	68	03	66	25	22	91	48	36	93	68	72	03	76	62	11	69	90
20	09	89	32	05	05	14	22	56	85	14	46	42	75	67	88	96	29	77	88	22
21	91	49	91	45	23	68	47	92	76	86	46	16	28	35	54	94	75	08	99	23
22	80	33	69	45	98	26	94	03	68	58	70	29	73	41	35	53	14	03	33	40
23	44	10	48	19	49	85	15	74	79	54	32	97	92	65	75	57	60	04	08	81
24	12	55	07	37	42	11	10	00	20	40	12	86	07	46	97	96	64	48	94	39
25	03	60	64	93	29	16	50	53	44	84	40	21	95	25	63	43	65	17	70	82
26	61	19	69	04	46	26	45	74	77	74	51	92	43	37	29	65	36	45	95	93
27	15	47	44	52	66	95	27	07	99	53	59	36	78	38	48	82	39	61	01	18
28	94	55	72	85	73	67	89	75	43	87	54	62	24	44	31	91	19	04	25	92
29	42	48	11	62	13	97	31	40	87	21	16	86	84	87	67	03	07	11	20	59
30	23	52	37	83	17	73	20	88	98	37	68	93	59	14	16	26	25	22	96	63

ДОДАТОК Б

Значення критерію t на 5% та 1% рівні значущості

Число ступенів вільності	Рівень ймовірності		Число ступенів вільності	Рівень ймовірності	
	0,95	0,99		0,95	0,99
1	12,71	63,66	18	2,10	2,88
2	4,30	9,93	19	2,09	2,86
3	3,18	5,84	20	2,09	2,85
4	2,78	4,60	21	2,08	2,83
5	2,57	4,03	22	2,07	2,82
6	2,45	3,71	23	2,07	2,81
7	2,37	3,50	24	2,06	2,80
8	2,31	3,36	25	2,06	2,79
9	2,26	3,25	26	2,06	2,78
10	2,23	3,17	27	2,05	2,77
11	2,20	3,11	28	2,05	2,76
12	2,18	3,06	29	2,05	2,76
13	2,16	3,01	30	2,04	2,75
14	2,15	2,98	50	2,01	2,68
15	2,13	2,95	100	1,98	2,63
16	1,12	2,92	∞	1,96	2,58
17	2,11	2,90			

ДОДАТОК В

Значення критерію F на п'ятипроцентному рівні значущості

Ступінь вільності для меншої дисперсії (знаменник)	Ступінь вільності для більшої дисперсії (чисельник)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	249	252	253
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,41	19,45	19,47	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,74	8,64	8,58	8,56
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,77	5,70	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,68	4,53	4,44	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,27	4,71	4,15	4,10	4,06	4,00	3,84	3,75	3,71
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,57	3,41	3,32	3,28
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,28	3,12	3,03	3,98
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,07	2,90	2,80	2,76
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,91	2,74	2,64	2,59
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,79	2,61	2,50	2,45
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,69	2,50	2,40	2,35
13	4,60	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,60	2,42	2,32	2,26
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,53	2,35	2,24	2,19
15	4,54	3,69	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,48	2,29	2,18	2,12
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,24	2,13	2,07
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50	2,45	2,38	2,19	2,08	2,02
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,15	2,04	1,98
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43	2,38	2,31	2,11	2,00	1,94
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,28	2,08	1,96	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,05	1,93	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,47	2,40	2,35	2,30	2,23	2,03	1,91	1,84
23	4,82	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,45	2,38	2,32	2,28	2,20	2,00	1,88	1,82
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,18	1,98	1,86	1,80
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,41	2,34	2,27	2,24	2,16	1,96	1,84	1,77
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,25	2,22	2,15	1,95	1,82	1,76
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	1,91	1,78	1,72
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,12	2,09	1,89	1,76	1,69
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,07	2,00	1,79	1,66	1,59
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,95	1,74	1,60	1,52
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,85	1,63	1,48	1,39

ДОДАТОК Г

Значення критерію F на однопроцентному рівні значущості

Ступінь вільності для меншої дисперсії (знаменник)	Ступінь вільності для більшої дисперсії (чисельник)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	6056	6106	6234	6302	6334
2	98,49	99,01	99,17	99,25	99,30	99,33	99,34	99,36	99,38	99,40	99,42	99,46	99,48	99,49
3	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,05	26,60	26,35	26,23
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,37	13,93	13,68	13,57
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,89	9,47	9,24	9,13
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,31	7,09	6,99
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,47	6,07	5,85	5,75
8	11,26	8,65	7,56	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,67	5,28	5,06	4,96
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	5,11	4,73	4,51	4,41
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,71	4,33	4,12	4,01
11	9,85	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,40	4,02	3,80	3,70
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,16	3,78	3,56	3,46
13	9,07	6,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,96	3,59	3,37	3,27
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,43	3,21	3,11
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,67	3,29	3,07	2,97
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,88	3,69	3,61	3,55	3,18	2,96	2,86
17	8,40	6,11	5,18	4,07	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,45	3,08	2,86	2,76
18	8,28	6,01	5,79	5,58	4,25	4,01	3,85	3,71	3,60	3,51	3,37	3,00	2,78	2,68
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,30	2,92	2,70	2,63
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,23	2,86	2,63	2,53
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,65	3,51	3,40	3,31	3,17	2,80	2,58	2,47
22	7,94	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,12	2,75	2,53	2,42
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,07	2,70	2,48	2,37
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,25	3,17	3,03	2,66	2,44	2,33
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,46	3,32	3,21	3,13	2,99	2,62	2,40	2,29
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,17	3,09	2,96	2,58	2,36	2,25
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,76	3,53	3,36	3,23	3,11	3,03	2,90	2,52	2,30	2,18
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,84	2,47	2,24	2,13
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,52	3,29	3,12	2,99	2,88	2,80	2,66	2,29	2,05	1,94
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,18	3,02	2,88	2,78	2,70	2,56	2,18	1,94	1,81
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,20	2,99	2,82	2,69	2,59	2,51	2,36	1,98	1,73	1,59

ДОДАТОК Д

Значення критерію t для 5% та 1% рівнів значимості

Число ступенів вільності	Рівень значимості	
	0,01	0,05
4	0,991	0,955
5	0,916	0,807
6	0,805	0,689
7	0,740	0,610
8	0,683	0,554
9	0,635	0,512
10	0,597	0,477
11	0,566	0,450
12	0,541	0,428
14	0,502	0,395
16	0,472	0,369
18	0,449	0,349
20	0,430	0,334
22	0,414	0,320
24	0,400	0,309
26	0,389	0,299
28	0,378	0,291
30	0,369	0,283