

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет
Кафедра агроінженерії

МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Частина 1.: конспект лекцій
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
ОПП «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми здобуття вищої освіти

МИКОЛАЇВ
2025

УДК 001.891.3

М54

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від «18» вересня 2025 р., протокол № 1.

Укладачі:

О. С. Садовий – канд. техн. наук, доцент кафедри агроінженерії, Миколаївський національний аграрний університет.

І. М. Суковіцина – асистент кафедри агроінженерії, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

А. А. Ставинський – д-р. техн. наук, професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Миколаївський національний аграрний університет.

В. А. Грубань – канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації та технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний аграрний
університет, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП

Лекція 1. СПЕЦИФІКА НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Лекція 2. СТРАТЕГІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Лекція 3. МОДЕЛІ ТА ЇХ РОЛЬ У ПІДГОТОВЦІ ДОСЛІДНИКА

**Лекція 4. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Лекція 5. МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗУ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ**

**Лекція 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ
ДОСЛІДЖЕНЬ**

Лекція 7. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Методологія наукових досліджень» є обов'язковою складовою підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти інженерно-аграрного профілю Миколаївського національного аграрного університету. Дисципліна спрямована на формування у магістрів системи теоретичних знань і практичних умінь щодо організації, планування та проведення наукових досліджень у галузі агроінженерії, механізації сільського господарства та суміжних інженерно-технічних напрямів.

У процесі вивчення дисципліни здобувачі вищої освіти опановують методологічні основи наукового пізнання, сучасні методи експериментальних і теоретичних досліджень, принципи побудови наукової гіпотези, визначення мети, завдань, об'єкта і предмета дослідження. Значна увага приділяється методам планування експерименту, обробки та аналізу експериментальних даних, використанню математичного моделювання, статистичних методів і комп'ютерних технологій у наукових дослідженнях аграрного виробництва.

Особливе місце в курсі займають питання академічної доброчесності, етики наукових досліджень, дотримання вимог чинних нормативних документів, а також правила підготовки, оформлення та апробації результатів наукових досліджень у вигляді наукових статей, тез доповідей, звітів і магістерських кваліфікаційних робіт.

Дисципліна забезпечує методологічну основу для виконання магістерської кваліфікаційної роботи, участі здобувачів у науково-дослідних проєктах, грантових програмах і впровадження результатів досліджень у виробничу практику агропромислового комплексу. Засвоєння навчального матеріалу сприяє формуванню професійних і дослідницьких компетентностей, необхідних для подальшої наукової, інженерної та управлінської діяльності в аграрній сфері.

Лекція №1

СПЕЦИФІКА НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

1.1. Поняття про науку

Кожен фахівець незалежно від його професійного спрямування у своїй діяльності повинен проявляти певного рівня *творчість*. Тільки в цьому випадку він зможе бути корисним суспільству як особистість і реалізувати в тій чи іншій мірі свій генетично обумовлений потенціал – як людина.

Результатом творчості того чи іншого суб'єкту є створення принципово нових, невідомих раніше матеріальних або духовних цінностей. І їх поява буде тим імовірнішою, чим більш підготовленим в науковому плані виявиться їх творець. А для цього бажано, щоб він мав уяву про науково-дослідницьку діяльність і в цілому про *науку*.

Згідно з енциклопедичними поняттями *наука* – це напрямок людської діяльності, спрямований на вироблення *нових знань* про природу і закономірності її еволюції. Для кожного напрямку суспільного розвитку вона своя.

Закономірності функціонування та розвитку науки, структури і динаміки наукового знання та наукової діяльності, взаємодію науки з іншими соціальними інститутами і сферами матеріального й духовного життя суспільства вивчає спеціальна дисципліна – наукознавство.

Та чи інша наукова діяльність індивідууму починається з формулювання ним *наукової ідеї*. Проте для подальшої практичної її реалізації потрібна *гіпотеза*. Такою прийнято вважати припущення чи здогад, які передбачають їх доказ. Причому, для того, аби гіпотеза претендувала на *наукову*, треба щоб вона відповідала *критерію К.Р. Поппера*. Згідно з його визначенням має існувати методологія можливості спростування гіпотези шляхом проведення відповідного експерименту. Тобто, гіпотеза є науковою тоді, коли існує можливість її практичної перевірки, одним із результатів якої є спростування.

Формулювання наукової гіпотези – задача досить складна. Для цього індивідууму слід володіти певною сумою знань із того напрямку, який його цікавить. Вирішення цієї задачі, у свою чергу, потребує значного накопичення та аналізу фактичного матеріалу.

Ще складнішим є наступний етап – процес перевірки наукової гіпотези. Без знання методології цього процесу, за відсутності відповідних вмінь і навичок таку задачу можна взагалі не вирішити.

Водночас, якщо гіпотеза, врешті-решт, узгоджується з науковими фактами, то вона стає *теорією* або *науковим законом*. Під ним розуміють такий внутрішній суттєвий зв'язок явищ, який обумовлює їх закономірний розвиток.

Результат цього розвитку, тобто практичного прояву наукового закону, оцінюється людиною з допомогою таких розумових операцій, якими є *судження і умовиводи*. Сформовані на їх основі узагальнення приводять до створення *наукових термінів, понять, принципів, визначень і наукових концепцій*.

Упорядковане, систематизоване певним чином накопичення останніх дозволяє створити наукову *теорію*.

Положення розробленої наукової теорії використовуються для здобуття нових знань. Діяльність індивідууму у такому напрямку називається *науково-дослідною* і здійснюється у відповідності з *методологією* проведення наукових досліджень. За формою вони бувають фундаментальними та прикладними.

Фундаментальні наукові дослідження – наукова теоретична та/або експериментальна діяльність, спрямована на здобуття нових, невідомих до цього часу знань про закономірності розвитку природи у всіх її проявах.

Натомість, *прикладні наукові дослідження* – це науково-технічна діяльність, у напрямку корисного практичного застосування фундаментальних знань.

Обидві форми наукових досліджень здійснюються за приблизно однією і тією ж методологією. Отримані при цьому результати знаходять своє відображення у:

- звітах про науково-дослідну і дослідно-конструкторську роботу;
- наукових рефератах і аналітичних оглядах;
- доповідях на конференціях, семінарах, симпозіумах;
- наукових статтях (у т.ч. і депонованих рукописах);
- наукових монографіях;
- патентах на винаходи, корисні моделі і наукові твори;
- алгоритмах і програмах;
- науково-методичних рекомендаціях;
- підручниках і навчальних посібниках;
- дисертаціях (кандидатських і/ або докторських);
- магістерських наукових роботах.

Суб'єктами наукової діяльності є наукові працівники, науково-педагогічні працівники, а також наукові установи, наукові організації, вищі навчальні заклади, громадські організації у сфері наукової та науково-технічної діяльності.

В цілому науково-дослідницькою діяльністю займається значне коло людей. Тих, хто робить це постійно, називають дослідниками і/або науковцями (науковими працівниками).

Дослідником прийнято називати того, хто більш-менш цілеспрямовано здійснює ті чи інші наукові дослідження. Його діяльність при цьому може не мати професійних ознак, а методи його досліджень – не обов'язково наукові.

Науковець – це дипломований фахівець щонайменше однієї галузі науки, який у своїй діяльності застосовує винятково наукові методи.

Наголосимо, що досить широко розповсюджена категорія – *учений* уживається лише в назвах таких посад, як *учений секретар*, *учена рада* тощо.

Науковий працівник – науковець, який за основним місцем роботи та відповідно до трудового договору (контракту) професійно займається науковою, науково-технічною або науково-педагогічною діяльністю. При цьому він має відповідну кваліфікацію у вигляді наукового ступеню і наукового звання, підтверджених результатами відповідної державної атестації.

Науковці (наукові працівники), маючи, як правило, відповідну спеціальність і кваліфікацію, працюють як самотужки, так і об'єднуючись у наукові колективи (постійні чи тимчасові), створюють наукові школи. Тематичне спрямування останніх формується науковцями з урахуванням особливостей науки в тій чи іншій галузі.

1.2. Особливості сільськогосподарської науки

Однією із найбільш складних наук є сільськогосподарська. Ця складність обумовлюється особливістю сільськогосподарського виробництва. Перша із них полягає у різноманітності природних факторів, які мають, по-перше, випадковий характер, а по-друге, важко піддаються вивченню.

Іншою суттєвою особливістю сільськогосподарського виробництва є наявність специфічних об'єктивних закономірностей землеробства – своєрідних законів. Тільки за умов їх дотримання забезпечується максимальна продуктивність культурних рослин.

Закон автотрофності. Автотрофність – це здатність організмів самостійно синтезувати всі необхідні для їх життєдіяльності органічні речовини. Цей процес поєднує у собі теорію фотосинтезу і мінерального живлення. Культури, які вирощуються, в процесі фотосинтезу нагромаджують у тканинах необхідні органічні сполуки в обсягах, що забезпечують їх нормальний розвиток. При цьому зелені рослини використовують енергію сонця і поглинають з повітря вуглекислий газ.

Паралельно з цим процесом відбувається мінеральне живлення культурних рослин. Але здійснюється він не безпосередньо, а через посередника – ґрунт. В результаті жоден грам води чи органічних сполук не може проникнути в організм будь-якої рослини інакше, як через її кореневу систему.

Отже, діяльність людини повинна бути спрямована на створення для рослин саме таких умов, за яких вона може ефективно використати як світло, тепло і вуглекислий газ атмосфери, так і воду та елементи мінерального живлення з ґрунту.

Це досягається найдосконалішими агротехнічними способами, за допомогою яких забезпечується ріст рослин у максимально стислі строки, а також швидке формування листової поверхні. Крім того, необхідно добирати найбільш продуктивні в конкретних умовах культури та їх сорти, здійснювати своєчасну і якісну сівбу з забезпеченням рівномірних та дружних сходів при оптимальній зоні живлення, створювати достатній запас води, поживних елементів і повітря в ґрунті, а також належним чином доглядати за рослинами.

Закон повернення. За період своєї вегетації рослини, формуючи майбутній урожай, забирають із ґрунту значну частину мінеральних речовин. Для підтримки статичного стану родючості ґрунтового середовища воно повинно систематично поповнюватись відчуженою кількістю макро- і мікроелементів.

Більше того, в процесі своєї вегетації рослини споживають значну кількість вологи із ґрунту, більшість із якої повертають у атмосферу у процесі транспірації (тобто випаровування) листовою поверхнею. Тому якщо повернення макро- і мікроелементів здійснювати без урахування балансу вологи, то роль цього заходу виявиться неефективною. Без достатньої кількості вологи у ґрунті нормальне мінеральне живлення рослин навіть за повної наявності усіх потрібних елементів здійснюватися не буде. Для того, щоб не підпасти під дію закону автотрофності, слід навчитися забезпечувати рослинам нормальний режим живлення: як мінеральний, так і водний.

Водночас, за умов часткового повернення в ґрунт вихідних елементів живлення рослин і неповного забезпечення їх вологою запрограмований урожай одержати неможливо. Землі своєчасно слід віддавати те, що у неї було забрано. Проте здійснювати це слід розважливо і кваліфіковано, використовуючи фізико-хімічний аналіз ґрунтового середовища, застосовуючи вологоощадні технології тощо.

Закон рівнозначності (або незамінності) факторів. Рослини для нормальної життєдіяльності потребують поживні речовини, вологу, світло, тепло і повітря. Жоден із факторів, яких не вистачає, не можна замінити іншим, навіть якщо останній перебуває в надлишку. Так, наприклад, недостатню кількість азоту неможливо компенсувати кальцієм, фосфором або іншим елементом. Як уже підкреслювалося вище, за нестачі води за наявності повного забезпечення рослин органічними речовинами запланованого врожаю досягти неможливо. Рослини потребують усіх факторів життя незалежно від того, скільки їх потрібно для біологічних процесів. Тому нестача в ґрунті мікроелементів, необхідних рослинам у незначній кількості, порушує процеси їх росту і розвитку, а часом навіть зумовлює їх загибель.

Закон мінімуму (максимуму). У 1840 р. Ю. Лібіх вивів всесвітньовідомий закон мінімуму, який у 1913 р. В. Шелфорд доповнив законом толерантності. В кінцевому варіанті об'єднаний закон мінімуму/максимуму стверджує, що врожайність сільськогосподарських культур обмежується тим життєвим фактором, який перебуває як у нестачі (мінімумі), так і в надлишку (максимумі).

Логічним продовженням цього закону є **закон оптимуму**. Він проявляється у тому, що найвищий урожай культур можна одержати тільки за умови оптимальної наявності та дії кожного із факторів. Як нестача, так і надлишкова дія життєво необхідних факторів обмежує продуктивність зелених рослин. Тому цей закон і є основним для сільськогосподарського виробництва.

Закон взаємодії факторів. Виявлено, що рослини для підвищення продуктивності тим більше використовують фактор, якого не вистачає, чим більше інших факторів наближається до оптимуму. Чим більше, скажімо, мінеральне живлення рослини буде наближатися до оптимуму, тим більше вона може спожити одночасно з цим води і тим більшою буде її врожайність. Звідси випливає, що із-за систематичного прояву взаємодії факторів вплив на них має бути одночасним і комплексним.

Закон плодозміни. Ним передбачається, що необхідно чередувати розміщення сільськогосподарських культур у просторі та часі. Це дає можливість досягати значно вищих урожаїв порівняно з варіантом вирощування монокультури. Даний закон реалізується шляхом застосування науково обґрунтованих **сівозмін**.

Закон фізіологічного часу. Рослини виявляють виняткову чутливість, реагуючи на зміну дня і ночі, освітлення та температурні коливання. Залежно від впливу цих факторів вони загальмовують або прискорюють свій розвиток. Розуміння цього закону і створення належних умов для культурних рослин сприяють підвищенню їх продуктивності. Найбільш ефективно даний закон використовується в мовах закритого ґрунту (теплицях, парниках тощо).

Закон регулярної системи рослин. Рослини, одержуючи безперервну інформацію з навколишнього середовища, здатні змінювати свої внутрішні біологічні процеси, які визначаються їх генотипом. У зв'язку з особливістю ґрунтово-кліматичних умов окремого регіону, а також унаслідок біологічних особливостей видів та сортів вирощуваних культур, виникає необхідність у впровадженні *районованих* сортів польових культур і специфічної агротехніки їх вирощування, які найбільш придатні для конкретних умов сільськогосподарського виробництва того чи іншого регіону.

Закон критичного періоду польових культур щодо фосфору. Відомо, що у початковий період росту та розвитку рослини потребують фосфору і фосфорне голодування їх на даній стадії росту неможливо компенсувати будь-якою дозою у наступний період. Ось чому дуже важливо під час проведення сівби сільськогосподарських культур обов'язково (за потреби) вносити стартові фосфорні добрива.

Цілком зрозуміло, що розглянуті вище закони певною мірою у відповідній інтерпретації відносяться і до такої галузі сільськогосподарського виробництва, як тваринництво.

Наступна особливість сільського господарства пов'язана із сезонністю виробництва і біологічними особливостями рослин, які вирощують, чи тварин, яких розводять. Послідовність робіт у сільськогосподарському виробництві повністю залежать від біологічних циклів рослин і погоди, які ні загальмувати, ні перенести неможливо. Часто-густо на якусь одну сільськогосподарську операцію припадають лічені дні з усього року.

Водночас, сільське господарство – це єдина галузь, яка постачає людині безумовно необхідні йому продукти. Вони є джерелом енергії, але практично щорічно мають створюватися заново, обумовлюючи цим самим властивість безперервності сільськогосподарського виробництва. Але, на відміну від промисловості, воно характеризується нерегулярним виходом продукції. Це стосується, насамперед, землеробства. Урожай збирають, як правило, раз на рік. Роботи ж під нього ведуться практично цілий рік. З цим пов'язана специфіка визначення проміжних результатів, а також їх співвідношення з кінцевими.

Перелічені особливості є основою практичної діяльності у землеробстві і тваринництві, визначають взаємозв'язок у використанні природних ресурсів, у виробництві та використанні сільськогосподарської, техніки. Вони взаємопов'язані і впливають на транспортні процеси, завантаження переробних галузей, розвиток соціальної психології тощо.

Специфічність с.-г. виробництва потребує створення машин і знарядь, які за своїм характером та принципами відрізняються від техніки, що використовується в інших галузях. Цю техніку слід розглядати тільки у системі «земля – машина – людина», оскільки саме системний підхід дає змогу врахувати багатогранність біологічних, технічних і суспільних факторів, а також зберегти природне середовище існування самої людини.

Головна особливість функціонування техніки у сільському господарстві полягає у тому, що вона дозволяє створити необхідні умови для біологічного росту рослин і тварин, штучно підтримуючи природну рівновагу. При цьому вона впливає не на безпосередні предмети праці, а на проміжне середовище – природу (грунт, рослини, худобу), яка й забезпечує одержання необхідних продуктів.

Другою особливістю є те, що велика кількість польових, садових та інших культур, різні кліматичні й ґрунтові умови, різниця в рельєфі потребують надзвичайно розгалуженої різноманітності машин, у тому числі й спеціальних. А оскільки сезонність у землеробстві зумовлює скорочення робочих періодів техніки, то зрозуміло, що в сільськогосподарському виробництві існує безліч не тільки машин, а й їх типів, видів, різновидів та марок.

При цьому слід розуміти, що механічним об'єктом, який визначає ефективність сільськогосподарського виробництва, є не трактори чи окремо взяті машини/знаряддя, а їх взаємообумовлене поєднання у вигляді конструкцій, які прийнято називати сільськогосподарськими (СГА) або машинно-тракторними (МТА) агрегатами. За своєю природою СГА і МТА – це не просто механічне поєднання джерел енергії і робочих машин/знарядь, а досить складні сукупності функціонально взаємозв'язаних засобів технологічного оснащення для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних операцій або процесів. Згідно із енциклопедичними тлумаченнями під таке визначення підпадають комплекси.

Враховуючи сучасні вимогами аграрного виробництва, вони мають бути автономними і мобільними. Деякі із них можуть базуватися на модульному принципі побудови, за яким енергетична частина (або джерело енергії) агрегату – це енергетичний модуль, а технологічна частина (тобто машини/знаряддя) – технологічний модуль/модулі.

Згідно із сучасним визначенням *сільськогосподарський агрегат (СГА) – це автономний мобільний енерготехнологічний комплекс, призначений для виконання однієї чи одночасно кількох технологічних операцій сільськогосподарського виробництва із заданими агротехнічними вимогами. Якщо енергетичною базою (модулем) цього комплексу є трактор, то він (комплекс) називається машинно-тракторним агрегатом (МТА).*

Важко не погодитись, що для забезпечення ефективного функціонування таких комплексів потрібно володіти відповідною системою знань, умінь і навичок. І здобувати їх слід не інакше, як шляхом проведення цілеспрямованих наукових досліджень.

Третьою особливістю сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів є те, що вони працюють в умовах змінних зовнішніх впливів, обумовлених багаточисельними і різноманітними факторами. Головними із них є: нерівності поверхні поля; фізико-механічні властивості ґрунту та рослин; властивості перероблюваних та транспортованих матеріалів (зерна при очищенні та сортуванні, соломи при подрібненні, добрив тощо).

Вплив різних факторів, головним чином перемінних, відбивається на нерівномірності завантаження енергетичних засобів і на показниках технологічних процесів, виконуваних машинами. У останніх змінність зовнішніх факторів при взаємодії робочих органів з оброблюваним середовищем і рушіями з поверхнею поля визначають складний характер руху окремих точок, що в значній мірі характеризує якість низки операцій (оранки, культивації, посіву і т. ін.). Взаємодія машини з оброблюваним середовищем визначає і енергетичні витрати на виконання відповідних польових операцій.

Стосовно ґрунтообробних та посівних машин забезпечення рівномірності глибини обробітку ґрунту та глибини загортання насіння – одні із основних агротехнічних вимог, які висуваються до якості виконання цих технологічних операцій. Для орних агрегатів, до того ж, крім додержання заданої глибини обробітку потрібно забезпечити рівне дно борозни. Нерівномірність ходу плуга в поздовжньому і поперечному напрямках певним чином відображається на якості

роботи і приводить до нерівномірного завантаження тракторного двигуна та збільшенню витрат палива.

На нерівномірність тягових опорів і технологічні показники роботи машин суттєвий вплив здійснює також швидкість руху МТА. Зі зростанням цього показника частота збурювальних факторів (нерівностей поверхні поля, опору середовища тощо) значно збільшується.

Змінні збурення впливають і на роботу збиральних машин, обумовлюючи як нерівномірне завантаження двигуна трактора або самохідної машини, так і зміну завантаження робочих органів, що приводить до збільшення втрат урожаю. Так, наприклад, за даними випробувань вітчизняних і зарубіжних зернозбиральних комбайнів збільшення подачі рослинної маси більше за їх пропускну здатність викликає різке підвищення втрат зерна молотаркою. Значною мірою вони зростають зі збільшенням вологості, соломистості та засміченості рослинної маси. Зміна умов збирання врожаю призводить до частого забивання робочих органів і подальшої зупинки машини.

Четвертою особливістю і проблемою є вплив сільськогосподарської техніки на навколишнє природне середовище. Головним із них виступає переущільнення ґрунту ходовими системами тракторів, самохідних енергетичних засобів, а також використовуваних машин/знарядь. Результатом їх негативного впливу на ґрунт є порушення його структури.

У зв'язку з цим система агрегаткування того чи іншого мобільного енергетичного засобу має розроблятися такою, щоб принаймні звести до мінімуму техногенний вплив сільськогосподарських та машинно-тракторних агрегатів. Крім регулювання ущільненням ґрунтового середовища ця система повинна бути включати заходи, скеровані на зменшення буксування рушіїв енергетичних засобів, мінімізацію шкідливих викидів у атмосферу при роботі їх двигунів тощо.

Важко не погодитися, що перелічені особливості сільськогосподарського виробництва повинні постійно знаходитися в зоні уваги науковців при вирішенні ними проблем усього агропромислового комплексу.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає основне призначення науки?
2. Чим обумовлена складність формулювання наукової ідеї та гіпотези? За яких умов гіпотеза стає науковим законом?
3. Чим обумовлена складність сільськогосподарської науки?
4. Розкрийте суть законів автотрофності і повернення.
5. Який зв'язок між законами рівнозначності (незамінності) і взаємодії природних факторів?
6. Розкрийте зачинення для здійснення правильної організації наукової діяльності знання законів мінімуму-максимуму і інших.
7. Назвіть особливості функціонування сільськогосподарської техніки і охарактеризуйте їх вплив розвиток дослідницької діяльності науковців.

Лекція №2

СТРАТЕГІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

2.1. Актуальність і стратегія дослідження

Дослідницька робота будь-якого напрямку має бути направлена на вирішення конкретних і корисних для суспільства задач. І у принципі кожен дослідник це чудово розуміє. Але проблема полягає у тому, що справжню практичну цінність дослідження досить важко визначити. Іноді, на перший погляд, вибраний напрямок діяльності видається неперспективним і навіть непотрібним.

Ще у 70-і роки минулого століття науковою школою під керівництвом д.т.н. Кутькова Г.М. були розроблені основи принципово нової, тягово-енергетичної концепції розвитку трактора. Одним із основних її положень був інший підхід до такого показника енергетичного засобу, як енергонасиченість (відношення встановленої потужності двигуна до експлуатаційної маси всього трактора).

Незважаючи на те, що свого часу теоретичні аспекти цієї концепції свого широкого практичного впровадження не знайшли, нині вони стають основоположними моментами теорії тягової динаміки трактора, яка вивчається усіма студентами агротехнічного профілю. Науковці і конструктори починають все ширше використовувати положення нового напрямку конструювання тракторів при розробленні системи їх ефективного агрегування. Більш детальну інформацію з даної проблеми можна отримати із спеціальної літератури.

Із-за явної непередбачуваності позитивного результату досліднику буває досить проблематично вирішити питання інвестування майбутніх наукових робіт. Тим більше, що при вирішенні дійсно наукової задачі імовірність отримання позитивного результату становить лише 50%. Хоча у процесі наукового пізнання нових явищ, закономірностей і т. ін. поняття «негативного» результату відносне. Практика показує, що такий результат – те ж корисний, оскільки він попереджує про неефективність (тобто безперспективність) здійснення практичної діяльності у цьому напрямку.

Кінцева мета будь-якого дослідження полягає у отриманні відповіді на поставлене питання. Тому науковець, особливо той, який професійно займається науковою діяльністю, досить часто певним чином обмежений у виборі тематики дослідження. Стратегічні її напрямки можуть визначатися науковими академічними установами, профільними міністерствами, науковими центрами тощо. Із-за цього може сформуватися враження, що критичний підхід до визначення тематики дослідження не потрібен.

В дійсності це не так. Встановлення актуальності наукової діяльності – процес досить складний і багатогранний. Відомо багато випадків, коли при вирішенні цієї проблеми проста людська інтуїція, як своєрідний талант, відігравали більш визначальну роль, ніж критичний аналіз та різного роду розмірковування.

Проте із цього не випливає, що інтуїції слід однозначно і повсякчас віддавати перевагу. Певна річ, її треба враховувати, але в основі підходу до

вибору тематики дослідження має бути виважене рішення. Досліднику треба вміти в першу чергу для себе формувати та відстоювати перед найближчим науковим оточенням основні характерні ознаки *актуальності* наукової проблеми.

Стратегія проведення наукових досліджень передбачає, що першим кроком у досягненні цієї мети є глибокий, осмислений *аналіз літературних даних* щодо стану справ у тому чи іншому досліджуваному напрямку.

На основі аналізу літературних даних слід сформулювати ту *народногосподарську проблему*, яка вимагає наукового вирішення. При цьому досліднику треба чітко зрозуміти наслідки, обумовлені цією проблемою, та можливі шляхи їх подолання. Саме знання останніх дає можливість окреслити *науково-технічну проблему (задачу)*, *правильно сформулювати мету, робочу гіпотезу, об'єкт, предмет і задачі дослідження*.

Не дивлячись на те, що практика – критерій істини, далеко не всі задачі дослідження мають вирішуватися експериментальним шляхом. Частину із них (іноді – значну) можна (і навіть доцільно) вирішувати теоретично.

Нехай, для прикладу, нам треба встановити характер перебігу якогось невідомого процесу $Y = f(X)$. Вирішуючи цю задачу лише експериментальним шляхом, ми виявили, що у практично можливому для нас діапазоні зміни аргументу X від X_1 до X_2 досліджуваний процес описується кривою A_1AA_2 (рис. 2.1). При цьому в т. А він має оптимум (максимум).

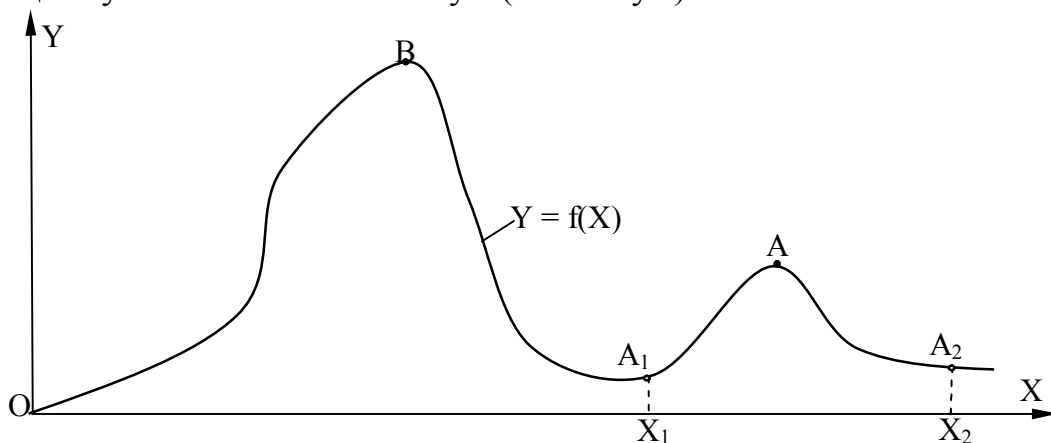


Рис. 2.1 – Графічна інтерпретація досліджуваного процесу $Y = f(X)$

Якщо в умовах експерименту варіювати значиною аргументу X поза межами вказаного діапазону або проблематично, або й взагалі технічно неможливо, то на перший погляд поставлену задачу можна вважати вирішеною.

Натомість, теоретичні дослідження, проведені при зміні аргументу X в діапазоні $O \dots X_2$ (в теоретичному плані це цілком реально), дозволили встановити, що насправді досліджуваний процес описується кривою OBA_1AA_2 з глобальним оптимумом (максимумом) в точці В. Виявлений експериментальним шляхом максимум функції $Y = f(X)$ в т. А є лише *локальним*.

Інша справа, що подальша практична значущість результату дослідження, отриманого теоретичним шляхом, залежатиме від наявності чи відсутності технічної можливості установа аргументу X в межах такої значини, яка відповідає глобальному максимуму процесу $Y = f(X)$ (т. В, рис. 2.1).

Проте у будь-якому випадку користь від застосування теоретичних досліджень є. Адже технічно нездійсненне нині встановлення величини параметра X , яка відповідає глобальному оптимуму досліджуваної функції (т. В), може бути реалізоване у майбутньому.

Теоретичні дослідження проводяться у відповідності з розробленою *програмою і методикою*. Отримані при цьому результати вважаються достовірними лише тоді, коли використовувані аналітичні залежності, математичні моделі тощо є адекватними. Встановлення цього факту здійснюється проведенням спеціальних експериментів, результати яких порівнюють із аналогічними даними, отримані розрахунковим (теоретичним) шляхом.

Проведенню таких (і інших) експериментів передують розроблення відповідної програми-методики. Один із її розділів, як буде показано пізніше, має описувати порядок отримання, оброблення і аналізу експериментальних даних.

Із вищевикладеного легко побачити, що в цілому *стратегія* наукових досліджень містить наступні етапи:

- визначення актуального напрямку наукових досліджень;
- накопичення літературних даних з тематики досліджень і їх аналіз;
- формулювання науково-технічної проблеми, мети, робочої гіпотези, об'єкту, предмету і задач дослідження;
- розроблення програми-методики теоретичних і експериментальних досліджень;
- розроблення теоретичного апарату дослідження (виведення аналітичних залежностей, математичних моделей, програм, алгоритмів тощо);
- перевірка теорії на адекватність;
- проведення теоретичних досліджень і аналіз отриманих результатів;
- підготовка і проведення експериментальних досліджень;
- оброблення і аналіз експериментальних даних;
- формулювання основних висновків і пропозицій.

2.2. Накопичення і аналіз літературних даних

До основних завдань роботи з літературними джерелами відносяться:

- ознайомлення з матеріалами за темою дослідження, поступовий накопичувальний їх відбір і класифікація;
- виявлення кола тих науковців, які мали і мають відношення до досліджуваної теми, вивчення їх внеску в розробку проблеми;
- наведення переліку невирішених питань із досліджуваної проблеми;
- формулювання науково-технічної проблеми, мети, робочої гіпотези, об'єкту, предмету і задач дослідження.

Одне коло науковців вважає, що накопичення і вивчення літератури з обраної теми слід починати із загальних робіт. Формально цей процес описується логістою і має вид, представлений на рис. 2.1а.

При цьому на етапі **ОВ** охоплюється якомога більше наукових джерел, а вже потім, після ретельного їх аналізу, починається більш осмислений, конкретизований їх відбір.

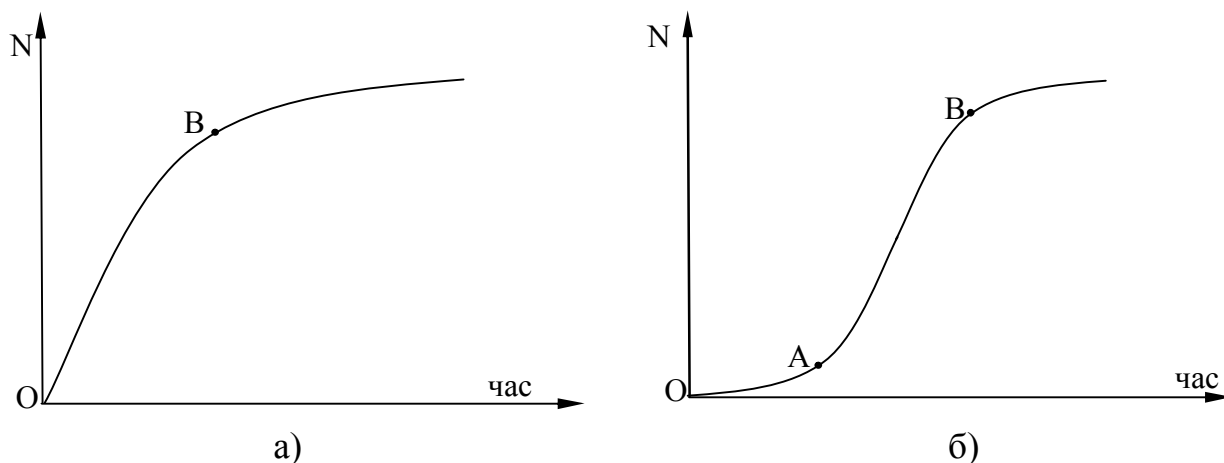


Рис. 2.1 – Геометричні інтерпретації процесів накопичення (N , шт.) літературних джерел

Натомість, інший загаль дослідників пропонують, на їх думку, більш продуктивнішу методику. Згідно із нею уже з самого початку роботи над темою дослідження слід свідомо визначитися із потрібним колом літературних джерел, тому що вивчення надмірної їх кількості призводить до надлишку інформації і може на довгий час загальмувати вирішення конкретної наукової проблеми.

Накопичення наукових даних за такого підходу спочатку йтиме повільно (крива OA , рис. 2.1б). Проте, починаючи з певного часу, інтенсивність (а значить продуктивність) цього процесу суттєво зростатиме (крива AB). І це триватиме до того моменту, коли відомі суспільству наукові напрацювання із досліджуваного напрямку будуть в основному опрацьовані дослідником. Подальше збільшення числа літературних джерел матиме місце за умови їх поточної публікації у засобах наукової інформації.

Який шлях роботи з науковою літературою обирати – кожен науковець повинен вирішувати самостійно. Але у будь-якому випадку визначення стану вивченості теми доцільно розпочинати зі знайомства з інформаційними виданнями, які містять оперативні систематизовані відомості про документи (опубліковані, неопубліковані), найсуттєвіші сторони їх змісту. Інформаційні видання, на відміну від звичайних бібліографічних посібників, включають не лише відомості про надруковані праці, а й ідеї та факти, що в них містяться. Крім оперативності, їх характеризують новизна поданої інформації, повнота охоплення джерел і наявність довідкового апарату, що полегшує пошук і систематизацію літератури.

Інформаційні видання випускають інститути, служби науково-технічної інформації (НТІ), центри інформації, бібліотеки. Вони охоплюють усі галузі народного господарства.

Не дивлячись на існуючу повсюди нині комп'ютерну мережу Internet, для складання списку джерел з обраної досліджуваної теми доцільно використовувати наявні в бібліотеках систематичні, алфавітні і предметні каталоги (в т. ч. і електронні), різноманітні бібліографічні й довідкові видання (посібники і покажчики з окремих тем і розділів), виноски і посилання в монографіях, підручниках, енциклопедіях, енциклопедичних словниках тощо.

Накопичення наукової інформації в бібліотеках здійснювалося з часів їх появи, а тому за своєю інформативністю вони ще довго будуть переважати мережу Internet, яка з'явилася відносно недавно. І на цей факт слід звертати серйозну увагу. Особливо молодим науковцям, чия уява про об'єм і достовірність корисної наукової інформації, розміщеної у системі WWW (World Wide Web), досить часто є гіпертрофованою.

Перегляду повинні підлягати всі види літературних джерел, зміст яких пов'язаний із темою наукового дослідження. До них належать матеріали, опубліковані в різноманітних вітчизняних і зарубіжних виданнях; неопубліковані документи (звіти про науково-дослідницькі і дослідно-конструкторські роботи, дисертації, депоновані рукописи, звіти фахівців про міжнародні відрядження, матеріали закордонних фірм та ін.), офіційні документи.

Особливу увагу слід приділяти основним періодичним виданням з вибраної проблематики. Відбираючи основні матеріали, слід звертатися до покажчиків статей, опублікованих протягом календарного року і розміщених у кінці останнього номера журналу за кожний рік видання.

Важливу роль у визначенні актуальності теми відіграє патентний пошук. Його основна мета – визначення рівня наукової і патентної новизни розробок з досліджуваного напрямку.

Значну допомогу в пошуку літературних джерел надають реферативні видання, які містять публікації рефератів, що включають скорочений виклад змісту первинних документів (або їх частин) з основними фактичними даними і висновками. До таких видань належать реферативні журнали, реферативні збірники, експрес-інформації, інформаційні листівки та ін.

Розпочинаючи роботу з пошуку та накопичення літературних джерел, науковець має визначитися з глибиною ретроспективи. Досвід роботи провідних науковців свідчить, що вона має становити не менше 50 років. У будь-якому разі нехтування науковими результатами минулого неприпустиме.

Особливе значення для пошуку та аналізу виданої раніше літератури має ретроспективна бібліографія, призначенням якої є підготовка і розповсюдження бібліографічної інформації роботи за певний період часу в минулому. Ретроспективна бібліографія представлена широким колом посібників. До їх числа входять тематичні покажчики та огляди, списки літератури, каталоги видавництва, персональна бібліографія тощо.

При попередньому вивченні літератури здобувач повинен знайомитися зі станом науки в цілому і розробки конкретного питання зокрема. При цьому слід фіксувати усі ті ідеї, які можуть стати базовими, узагальнюючими щодо даної проблеми. Треба пам'ятати, що така робота здійснюється не для простого запозичення матеріалу, а для конструктивного аналізу знайденої інформації і вироблення (синтезу) власної концепції. Працюючи над чужими текстами, бажано фіксувати власні думки, ідеї, що виникли під час знайомства з працями вітчизняних і закордонних авторів. Це послужить основою для здобуття нового знання, формування принципово нових підходів у науковій діяльності.

Найскладнішою є процедура систематизації наукової літератури при її огляді й аналізі. Одним із шляхів вирішення цього питання є застосування ключових слів. Особливо ефективно користуватися ними, як буде показано

нижче, при використанні електронних баз даних.

На основі аналізу літератури укладається огляд літератури за темою, уточнюються тема, об'єкт і предмет дослідження. Якісне проходження цього етапу може обумовлювати формулювання наукових ідей і гіпотез.

Огляд літератури за темою на завершальному етапі роботи покликаний не лише пов'язати проведенне дослідження із загальним станом науки, а й порівняти отримані результати з даними інших дослідників, точку зору здобувача з поглядами інших науковців, визначити загальні тенденції в науці, підтвердити актуальність теми дослідження.

В кінцевому рахунку, як уже підкреслювалося вище, результати цієї роботи дозволяють досліднику цілком виважено і обґрунтовано сформулювати науково-технічну проблеми, мету, робочу гіпотезу(и), об'єкт, предмет і задачі подальшого наукового дослідження.

2.3. Особистий архів науковця

З часом у дослідника накопичуються різноманітні за формою та змістом документи: конспекти, рукописи, картотеки, вирізки, фотографії, касети, дискети тощо, які в сукупності утворюють особистий архів. Крім того, науковець має певну кількість книг, періодичних видань, інших видів опублікованих документів, що складають його особисту бібліотеку.

Ведення власного архіву є обов'язковим для науковця. Оскільки обсяг інформаційних документів, використовуваних особисто, як правило, великий, то ці матеріали треба відповідним чином організувати. Інакше значно утруднюється пошук необхідної інформації, знижується ефективність роботи.

Перед початком роботи з науковими матеріалами науковцю слід завести робочий зошит-конспект. У ньому він може фіксувати вихідні дані документа, записувати власні міркування з розглядуваного питання, ставити перед собою задачі і завдання для наступної роботи тощо.

Кожен запис має бути пронумерований. Ще краще, коли паралельно з такими записами ведеться наукова база даних. Із сучасного програмного забезпечення найпростішим, але досить ефективним для цього є Microsoft Office Access. Для прикладу розглянемо розроблені на основі цієї програми бази даних літературних джерел (додаток А), патентів (додаток Б) і авторефератів дисертацій (додаток В).

При роботі з першоджерелами (див. додаток А) у базу даних заносяться:

- номер того документу, який зафіксований дослідником у згаданому вище зошиті-конспекті;
- прізвища та ініціали авторів;
- назва роботи (книги, статті, тез, реферату тощо);
- джерело, номер і рік видання (видавництво книги, назва журналу тощо);
- *ключове слово (код)*.

База даних патентів та інших подібних документів може мати наступну структуру (див. додаток Б):

- номер документу (патенту).
- клас;
- дата публікування;
- джерело публікування;
- країна;
- прізвище і ініціали авторів винаходу;
- назва винаходу;
- *ключове слово (код)*;
- примітка.

Важливу інформацію щодо новизни та глибини розроблення тієї чи іншої проблеми містять автореферати дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата/доктора наук. Приблизна структура бази даних цих джерел інформації може бути такою (додаток В):

- порядковий номер документу із зошита-конспекту;
- прізвище та ініціали автора;
- тема дисертаційної роботи;
- шифр спеціальності і науковий ступінь (К – кандидат, Д – доктор наук);
- об'єкт і предмет дослідження;
- *ключові слова*.

Аналогічні бази даних можна створювати і на інші літературні джерела на наукові матеріали за тематикою дослідження.

Алгоритм роботи з таким чином оформленими базами дуже простий. За *ключовим* словом дослідник легко знаходить один або кілька номерів потрібних йому джерел. Після цього він, використовуючи номер джерела, знаходить відповідний ґрунтовний запис щодо нього у зошиті-конспекті. А там, як уже підкреслювалося, крім вихідних даних джерела розміщені власні розмірковування, аналізи, зауваження, різного роду примітки дослідника.

Зошити-конспекти доцільно зберігати в папках з написами на корінці. Касети, дискети, слайди та інші документи подібної форми зберігаються в спеціальних коробках. Кожну із них надписують і заносять у електронну базу даних.

2.4. Методи та методика наукового дослідження

Для дослідників (особливо початківців) дуже важливо мати уявлення про методи та методики наукової діяльності, оскільки на перших кроках до оволодіння навичками творчої роботи найбільше виникає питань саме методологічного характеру. Передусім бракує досвіду у використанні методів наукового пізнання, застосуванні логічних законів і правил, нових засобів і технологій. Тому є сенс розглянути ці питання докладніше.

Метод – це сукупність прийомів чи операцій практичного або теоретичного освоєння дійсності, підпорядкованих вирішенню конкретного завдання. У найбільш загальному розумінні метод – це шлях, спосіб досягнення поставленої мети і задач дослідження.

У цілому серед методів дослідження можна виділити дві основні групи:

- 1) теоретичні методи (аналіз, синтез, моделювання, порівняння тощо);
- 2) емпіричні (спостереження, тестування, метод експертних оцінок, пасивний або активний експеримент, вивчення та узагальнення практичного досвіду, і т. ін.)

Так, в процесі розглянутого нами вище накопичення і аналізу літературних джерел практикуються наступні емпіричні методи: *складання бібліографії* – переліку джерел, відібраних для подальшого аналізу; *конспектування* – запис основних, значущих (на думку дослідника) положень, фактів, закономірностей, ідей тощо; *цитування* – дослівний запис виразів, цифрових та інших даних, розміщених у аналізованих літературних джерелах та ін.

Внутрішню природу найбільш популярних методів ми з'ясуємо під час роботи з матеріалами даного підручника. Суть багатьох інших досить детально описана у численній спеціальній літературі.

Методика – це система чітких правил використання методів, прийомів та операцій наукового дослідження. Вона встановлює номенклатуру і порядок отримання наукової інформації, встановлює алгоритм її аналізу та відповідної смислової інтерпретації.

Не дивлячись на свою оригінальність, будь-яка методика дослідження містить у собі низку специфічних, але загальноприйнятих компонентів. В першу чергу це стосується концепції, яка знаходиться в основі всієї методики. Певною мірою вона (концепція) відбивається у назві науково-дослідної роботи.

Іншим важливим моментом методики є відображення субординаційно-координаційних зв'язків і залежностей між досліджуваними процесами, явищами, параметрами, факторами тощо. Ретельно продумана і складена методика визначає чіткий алгоритм дій дослідника щодо порядку і регламенту застосування ним методів наукового пізнання, суттєво скорочує непродуктивні витрати часу, матеріалів та коштів.

По суті справи методика – це своєрідна, розгорнута у часі модель дослідження. Саме тому цей документ завжди починається із програми, а закінчується розгорнутим календарним планом робіт. В загальному плані структура програми-методики відображає органічний зв'язок очікуваних результатів роботи з метою, гіпотезою, об'єктом і предметом дослідження.

2.5. Мета, гіпотеза, об'єкт та предмет дослідження

Метою дослідження є той кінцевий результат, якого намагається досягти науковець. Із формулювання мети має бути однозначно і чітко зрозуміло:

- а) що саме досліджується;
- б) для чого проводиться дослідження, яка передбачається науково-практична користь від його результатів;
- в) яким шляхом планується отримати запланований результат.

Наприклад, *мета дослідження* – зменшення питомих витрат пального орним машинно-тракторним агрегатом шляхом установлення оптимального

співвідношення між його шириною захвату і робочою швидкістю руху».

Із цього формулювання бачимо, що планується досліджуватися *процес взаємозв'язку* питомих витрат пального орним машинно-тракторним агрегатом із такими його характеристиками, як конструктивний параметр – ширина захвату і технологічний – робоча швидкість руху.

Дослідження направлене на досягнення конкретного практичного результату – *зменшення питомих витрат пального* машинно-тракторним агрегатом (тобто *підвищення економічності його роботи*). А отримати цей результат передбачається *установленням оптимального співвідношення* між шириною захвату агрегату і його робочою швидкістю.

А от близьке до розглянутого формулювання типу «установлення оптимального співвідношення між шириною захвату і робочою швидкістю руху орного машинно-тракторного агрегату» буде виглядати уже не метою, а конкретною задачею наукового дослідження.

Ще один приклад: *«мета дослідження – підвищення урожайності соняшнику шляхом обґрунтування ширини і способу обробітку його міжрядь»*.

В цьому випадку досліджуватиметься *процес* впливу ширини і способу (механічний, хімічний, комбінований) обробітку міжрядь соняшнику на його урожайність. Кінцевим практичним результатом дослідження є *підвищення урожайності* сільськогосподарської культури, який планується досягти *обґрунтованим вибором* ширини і способу обробітку міжрядь соняшнику.

Першим кроком у розкритті суті мети дослідження є висування робочої наукової гіпотези. У класичному представленні її можна представити у вигляді однієї із трьох форм:

- 1) пояснювальної;
- 2) описової;
- 3) прогностичної.

Пояснювальна гіпотеза формулюється на припущенні: «якщо зробите певне щось, то у тому, що досліджуються відбудуться певні зміни».

Для першого із розглядуваних нами вище прикладів пояснювальна гіпотеза може мати такий вид: «якщо установити оптимальне співвідношення між шириною захвату і робочою швидкістю орного машинно-тракторного агрегату, то можна отримати зменшення ним питомих витрат пального».

У другому прикладі така гіпотеза може звучати наступним чином: «якщо здійснити обґрунтований вибір ширини і способу обробітку міжрядь соняшнику, то можна очікувати збільшення урожайності цієї с.-г. культури».

Як бачимо, гіпотеза пояснювального типу спочатку вказує на умови, а потім розкриває можливі наслідки як результат прояву певних причин.

Описова гіпотеза навпаки: спочатку характеризує наслідки і тільки потім – умови, за яких ці наслідки можливі. З урахуванням цього у читача є можливість спробувати самостійно сформулювати гіпотези описового типу для розглядуваних нами вище прикладів.

Особливість *прогностичної гіпотези* полягає у тому, що вона не тільки здійснює припущення щодо можливого позитивного результату, але й вказує на певні труднощі та ризики, можливі в процесі практичної реалізації мети наукового дослідження.

Спробуємо, для прикладу, сформулювати таку гіпотезу у наступному вигляді: «установлення оптимального співвідношення між шириною захвату і робочою швидкістю руху орного машинно-тракторного агрегату може сприяти зменшенню ним питомих витрат пального на 10...15%, в той час як нехтування цим заходом може призвести до зростання вказаних витрат на 15...20%».

Смисл даної прогностичної гіпотези не тільки вказує на позитивний результат і умови його прояву, але й попереджає про суттєві збитки від їх невиконання.

У принципі уже із аналізу суті мети дослідження видно, що об'єктом того чи іншого дослідження є відповідний *процес*, який породжує проблему і є обраним для вивчення. За будь-який процес як такий будемо приймати сукупність послідовних дій, направлених на досягнення певного результату.

З огляду на це у розглянутому вище прикладі об'єктом дослідження буде на сам орний машинно-тракторний агрегат, а *процес його функціонування*. Конкретно воно проявляється у зміні витрат пального агрегатом на оранці в залежності від прийнятого співвідношення між його робочою швидкістю руху на полі і шириною захвату (в даному випадку – плуга).

Якісна і кількісна залежність величини витрат палива орним агрегатом за різних значин швидкості його переміщення та ширини захвату репрезентують закономірності функціонування орного агрегату. Саме на їх вивченні зосереджується вся увага і можливості науковця. У зв'язку з цим вони (тобто закономірності) є не що інше, як *предмет* дослідження. І він, як легко видно, є не частиною, відрізаною від об'єкту дослідження, а аспектом його вивчення науковцем.

У зв'язку з цим співвідношення цих двох категорій можна визначити наступним чином: об'єкт об'єктивний, а предмет – суб'єктивний.

2.6. Суть і особливості програм і методик теоретичних та експериментальних досліджень

Згідно із загальноприйнятою практикою професійні науковці теоретичні і експериментальні дослідження проводять у відповідності з попередньо розробленою та відповідним чином тим чи іншим керівним органом **затвердженою** програмою і методикою.

Цей документ починається із титульного листа, на якому вказують в рамках якої програми, теми та проекту виконується робота (додаток Г).

Назва розділу досліджень, строки його виконання, виконавці та співвиконавці подаються на новій сторінці. Далі матеріал може викладатися у такій логічній послідовності:

- мета дослідження;
- програма досліджень на поточний рік;
- очікувані результати на кінець поточного року;
- робоча гіпотеза, об'єкт і предмет дослідження;
- методика досліджень;
- вимірювані параметри, прилади та обладнання;

- методика оброблення отриманих даних;
- календарний план роботи на поточний рік;
- інформація про наявність приладів та обладнання, необхідних для проведення досліджень;
- підписи виконавців і співвиконавців.

Програма досліджень може включати розроблення як теоретичних, так і експериментальних питань. Формулювання останніх має бути лаконічним і конкретним. Науковець повинен розуміти, що такі етапи, як розроблення програми-методики, виготовлення вимірювального обладнання і дослідних зразків, підготовка приладів до проведення досліджень тощо є складовими календарного плану робіт. Вони не можуть виступати програмними питаннями дослідження. Найбільш типові із останніх починаються, як правило, так: «дослідити вплив...», «встановити залежність...», «обґрунтувати параметри та режим роботи...» тощо.

Об'єкти дослідження, якщо вони різні, указуються по кожному пункту програми-методики.

Методику досліджень пишуть по кожному програмному питанню окремо. В цьому параграфі вказують, що саме і як буде виконуватись. Послідовність виконання дослідної роботи викладають так чітко, щоб її організацію міг здійснити не тільки відповідальний виконавець, а й рядові наукові співробітники самостійно.

При проведенні теоретичних досліджень бажано вказати на основі яких положень чи законів буде розроблятися відповідні моделі чи аналітичні залежності.

При виконанні лабораторних чи лабораторно-польових робіт описують ґрунтові чи інші умови, передбачувані режимами руху тощо. По кожному пункту програми-методики досліджень слід не лише перерахувати необхідні прилади і обладнання, а й вказати яким чином треба здійснювати їх тарування.

Отримані дані теоретичних та експериментальних досліджень слід відповідним чином обробити і підготувати для представлення. Виконавець повинен знати, а читач – розуміти, яким чином це здійснювати.

Виходячи з цього, розробкою методики оброблення даних досліджень (як експериментальних, так і теоретичних!) нехтувати не можна.

Що стосується календарного плану робіт, то він повинен відображати усі їх основні етапи на протязі поточного року. В цьому плані прийнято передбачити проведення патентно-ліцензійного пошуку, який до речі, слід теж оформляти звітом за відповідно стандартизованою формою. Обов'язково планується етап підготовки обладнання, приладів тощо, необхідних для проведення досліджень. Планується час на оброблення отриманих даних та написання річного звіту.

При організації експерименту будь-якого виду слід дотримуватися єдиних вимог, проводити його **на основі теорії**. І це стосується всіх його складових: постановки мети, завдань та інтерпретації результатів від фіксації стану об'єкта до експерименту, визначення експериментальних умов, виявлення можливостей впливу експериментальних змінних, оцінки стану об'єкта до і після експерименту.

Необхідно бути впевненим у тому, що вибрана методика відповідає

сучасному рівню науки та умовам, в яких проводяться дослідження. А також у тому, що вона практично може застосовуватися в інших умовах і виконуватися іншим складом наукових працівників.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає суть стратегії наукових досліджень? Назвіть основні її етапи.
2. Суть методики роботи із літературними джерелами.
3. Для чого потрібен особистий архів науковця?
4. Охарактеризуйте дві основні групи методів наукового дослідження
5. У чому полягає відміна між методологією і методикою?
6. Розкрийте суть поняття мета дослідження.
7. Які бувають форми наукових гіпотез, у чому полягає різниця між ними?
8. Що таке предмет і об'єкт дослідження?
9. Назвіть основні етапи програми і методики дослідження.
10. У чому полягає різниця між програмою і календарним планом наукових робіт?

Лекція 3

МОДЕЛІ ТА ЇХ РОЛЬ У ПІДГОТОВЦІ ДОСЛІДНИКА

3.1. Види моделювання і їх класифікація

Одночасно зі швидким розвитком усіх галузей науки сьогодення характеризується зростанням потреби в інформації, необхідній фахівцеві при вивченні того чи іншого предмету, процесу, явища тощо. Ось чому теорія подібності, теорія і практика моделювання в їх новому, широкому смислі, дозволяючи концентрувати інформацію і являючись обґрунтуванням експерименту, вказуючи напрямок для постановки дослідів і показуючи закономірності їх узагальнення, – мають важливе значення саме зараз. *Подібність і моделювання полегшують єдине відображення процесів у найрізноманітніших сферах природи.*

Загальна задача теорій подібності і моделювання – це *розроблення методології, направленої на упорядкованість отримання і оброблення інформації про об'єкти, які існують поза нашою свідомістю і взаємодіють як між собою, так і з навколишнім середовищем.*

Важливу роль у вирішенні цієї задачі відігравали, відіграють і будуть відігравати наукові гіпотези. Швидка і повна перевірка висунутих гіпотез, їх відсіювання чи підтвердження та трансформування в теорію (закон) може бути виконана тільки після спеціально поставленого і закономірно узагальненого експерименту, що забезпечується саме за допомогою теорій подібності та моделювання.

При визначенні, формулюванні та перевірці правильності гіпотез велике значення відіграє *аналогія*.

Фізичні гіпотези і аналогії, що відображають реальний, об'єктивно існуючий світ, повинні або бути безпосередньо наочними, або зводитися до деяких зручних для досліджень структур чи схем. Останні, полегшуючи міркування і логічні побудови та дозволяючи проводити експерименти, що уточнюють природу явищ, – називаються *моделями*.

Звідси модель – це природний чи штучний об'єкт, який знаходиться у певній відповідності з об'єктом, що вивчається.

Під моделлю при мисленому експерименті розуміють певні логічні побудови, набори формул, алгоритми для розрахунків на ЕОМ чи просто міркування, при яких оперують прогнозними і навіть не обов'язково здійсненими залежностями та співвідношеннями.

Аналіз розвитку методів моделювання показує, що на час своєї появи модель розглядалась у вигляді макету, який у більшості випадків лише зовнішньо нагадував оригінал.

На жаль, використовуючи лише макети, дослідник не завжди може знайти достатньо надійні математичні співвідношення між параметрами та зафіксувати з їх допомогою ті фізичні і інші закони, які керують об'єктом, що вивчається.

Саме тому методи моделювання постійно удосконалювались і продовжують удосконалюватись. Нині, коли обчислювальні машини мають велику швидкість дії та пам'ять, відкрились нові горизонти для математичного моделювання. Проте, одного тільки його для вирішення складних технічних задач не достатньо. На пе-

вних етапах досліджень цінну інформацію можна отримати від застосування і інших, раніше відомих методів моделювання.

Прикладом можуть служити випробувальні стенди та тренажери – результат органічного поєднання математичного моделювання з натурним. Ефективне їх використання у багатьох випадках дозволяє випередити практику і отримати важливі наукові результати.

Іноді кажуть, що моделям не можна вірити і що аналогія – це не доказ. Проте в дійсності дослідники ніколи не намагаються тільки таким шляхом доказати що-небудь. Тут достатньо того, що отримана схожість дає потужний імпульс для творчості, показуючи при цьому, яким шляхом іти в пошуках потрібного рішення.

Моделювання в навчальній та науковій практиці використовується в основному для вирішення двох груп задач: а) навчання та б) досліджень, направлених на розробку і розширення теорії, або знаходження відповідей на практичні запитання.

Дослідницькі задачі, що вирішуються з допомогою моделей, можна розділити на 4 підгрупи:

1) Прямі задачі аналізу, при вирішенні яких досліджувана система задається параметрами своїх елементів і параметрами або рівняннями вихідного режиму. Вимагається визначити реакцію системи на зовнішні діючі сили.

2) Зворотні задачі аналізу, у яких за відомими реакціями системи вимагається знайти сили, що примусили розглядувану систему прийти до даного стану.

3) Задачі синтезу, які потребують знаходження таких параметрів, за яких процеси в розглядуваній системі матимуть бажаний характер.

4) Індуктивні задачі, рішення яких ставить за мету перевірку гіпотез, уточнення виведених рівнянь, виявлення властивостей елементів тощо. Сюди ж відносять і апробацію програм для проведення розрахунків на ЕОМ.

Слід мати на увазі, що те чи інше моделювання не може з абсолютною повнотою відтворити всі сторони і деталі вивчаємих явищ. Абсолютну подібність можна сприймати тільки абстрактно. Вона ніколи не може бути практично реалізована, бо це б уже означало *тотожність*, а не *подібність*.

Практична мета, що досягається в результаті вирішення наукових та технічних задач, потребує застосування моделювання у випадках, коли модель добре відображає вивчаємий об'єкт тільки по відношенню до тих процесів, які суттєві в даному дослідженні та при даній постановці задачі.

Виходячи з цього – модель – це неповна копія об'єкту. При цьому мається на увазі, що точна модель не потрібна, а від дуже неточної мало користі.

3.2. Критерії подібності та їх використання в моделюванні

Моделювання у всіх його видах і формах повинно здійснюватися на основі певних математичних співвідношень, кількісно фіксуючих умови подібності, – *критеріїв подібності*. Звідси випливає, що всі моделі в тій чи іншій формі повинні бути критеріальними. Лише у окремих випадках, коли критерії подібності поки що не вдалося встановити, можна користуватися вербальними умовами подібності, намагаючись, однак, якнайшвидше перейти до кількісно виражених критеріїв. Ці кількісні вирази можуть бути різними, певним чином змінюючись від найпростіших співвідношень – до критеріїв, виведених у відповідності до теорії подібності.

Узагальнюючи все вищевикладене можна сказати, що:

- під моделюванням слід розумітилюбий метод опосередкованого практичного або теоретичного, мисленого чи дослідного оперування об'єктом. При цьому використовується допоміжний штучний чи природний «квазі-об'єкт», який знаходиться у певній об'єктивній відповідності з об'єктом пізнання, називаним *моделлю*;
- основною властивістю і характерною ознакою *моделі* є те, що вона здатна заміщати об'єкт на певних етапах досліджень та давати при цьому потрібну інформацію про нього;
- *модель*, якою складною б вона не була, повинна давати інформацію, що може бути перевірена;
- моделювання потребує формулювання деяких правил перекладу інформації, отриманої на моделі, в інформацію про сам об'єкт моделювання.

Подібності у всіх її видах властиві певні загальні закономірності, які достатньою мірою описуються двома теоремами. Обидві установлюють співвідношення між параметрами подібних явищ, не вказуючи при цьому способів реалізації подібності при розробці моделей.

Згідно з першою теоремою *необхідною умовою подібності двох систем є рівність відповідних критеріїв, які представляють собою безрозмірні комбінації параметрів цих систем.*

Позначивши критерії подібності буквою π , можна дати коротке формулювання першої теореми:

у всіх подібних явищ $\pi = \text{idem}$ ¹.

Слід пам'ятати, що критерії подібності того чи іншого явища можуть перетворюватися в критерії другої форми шляхом їх перемноження, ділення, піднесення до ступеню або множення на любий постійний коефіцієнт k . Тобто, якщо які-небудь значини $\pi_k = \text{idem}$ та $\pi_{k+j} = \text{idem} \in$ критеріями, то і

$$\pi_k \cdot \pi_{k+j} = \text{idem};$$

$$\pi_k / \pi_{k+j} = \text{idem};$$

$$k \cdot \pi_{k+j} = \text{idem}.$$

Друга теорема (π -теорема) про подібність формулюється так:

Функціональна залежність між величинами, що характеризують процес, за певних умов може бути представлена у вигляді залежності між складеними із цих величин критеріями подібності:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{m-k}). \quad (3.1)$$

Важливим є те, що при цьому досить суттєво спрощується обробка аналітичних та експериментальних досліджень, оскільки зв'язок між безрозмірними π -критеріями як правило значно простіший, ніж між звичайними іменованими величинами. Крім того, перехід до безрозмірних співвідношень дозволяє розповсюдити результати аналітичного чи експериментального досліджень, проведених стосовно конкретного явища, на низку подібних явищ. При цьому можна знаходити критеріальні співвідношення, не маючи математичного опису процесу у вигляді рівнянь, а знаючи тільки всі використовувані параметри і їх розмірності.

¹ - **idem** – відповідно однаково

У відповідності з приведеними теоремами критерії подібності визначаються в основному двома способами.

Перший полягає в приведенні рівнянь того чи іншого фізичного процесу до безрозмірного виду.

Другий базується на застосуванні π -теореми. Їм можна користуватися у випадках, коли відомі тільки параметри процесу, а не його рівняння.

Перший спосіб є найбільш простим і тому часто використовується на практиці. Він базується на відомій властивості фізичних рівнянь, яка полягає в тому, що всі члени рівняння фізичного процесу мають однакові розмірності відносно основних одиниць виміру.

Для визначення основних критеріїв подібності із рівняння процесу, яке містить n членів, в якій-небудь із n можливих форм запису необхідно виконати ділення членів рівняння на довільний із них, відкинувши при цьому (якщо є) символи диференціювання та інтегрування.

Для прикладу розглянемо рівняння другого закону Ньютона:

$$F = \frac{M \cdot d^2 X}{dt^2} . \quad (3.2)$$

До його складу, як бачимо, входять чотири параметри ($n = 4$):

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1) сила F [$\text{H} = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$]; | 2) шлях X [м]; |
| 3) маса M [кг]; | 4) час t [с]. |

Виходячи із аналізу розмірностей цих параметрів, знаходимо, що незалежних² із них тільки 3: M , X і t (тобто $k = 3$).

Згідно з π -теоремою в даному випадку можемо мати один ($n - k = 4 - 3 = 1$) критерій подібності. Для цього достатньо обидва члени рівняння (3.2) розділити на силу F , відкинувши при цьому символи диференціювання (d^2 – в чисельнику і d – в знаменнику):

$$\pi_1 = \frac{M \cdot X}{F \cdot t^2} . \quad (3.3)$$

Величина π_1 (3.3) є критерієм подібності механічного руху і має назву числа Ньютона.

3.3. Математичне моделювання

Математична модель представляє собою набір формальних співвідношень, які відображають поведінку дослідної системи.

Наприклад, на рис. 3.1 показана крива, яка відображає залежність значини характеристики синхронного валу відбору потужності (ВВП) трактора від тиску повітря в шинах його задніх коліс. Експериментальні дані задовільно апроксимуються математичною моделлю наступного виду:

$$N_s = A \cdot B^W, \quad (3.4)$$

де N_s – кількість обертів синхронного ВВП 1 м шляху його руху, об/м;

² - незалежними є такі параметри, у яких формула розмірності не може бути представлена комбінацією формул розмірностей інших незалежних параметрів.

A, B – константи апроксимації;

W – тиск повітря в шинах задніх коліс енергетичного засобу, мПа.

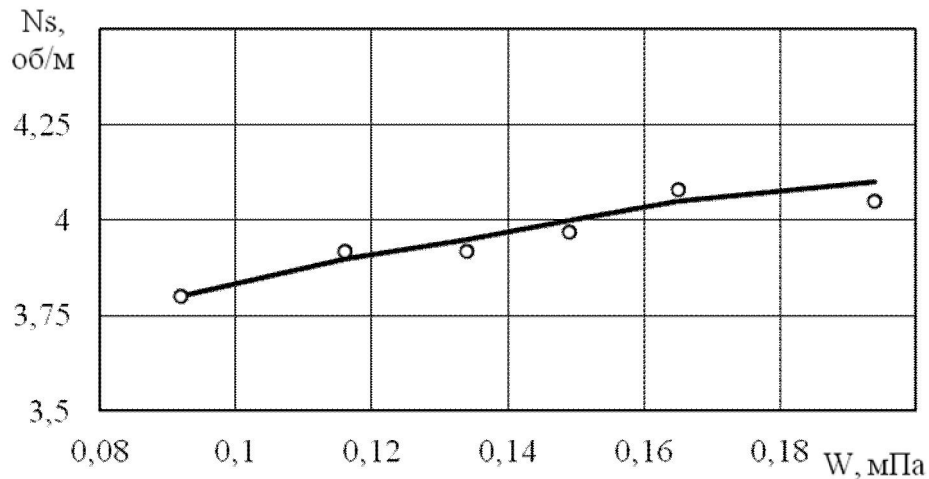


Рис. 3.1 – Залежність значини характеристики синхронного валу відбору потужності трактора від тиску повітря в шинах його задніх коліс

Математичні моделі поділяються на:

- емпіричні;
- функціональні;
- статичні;
- динамічні;
- детерміністичні;
- стохастичні.

Більш детально розглянемо перші чотири із них. Дослідник, намагаючись розширити свої знання, іде або по шляху удосконалення методів та засобів експериментування, або по шляху розвитку відповідних ідей та концепцій.

Перший підхід зв'язаний з описом вивчаємого об'єкту (*емпірична модель*), другий – зі спробою пояснення його суті (*функціональна модель*).

Повертаючись до кривої, представленій на рис. 3.1 і описаною залежністю (3.4), відмітимо, що вона не містить в собі ніякої інформації крім тої, яка була отримана в ході дослідів. Саме тому така модель є суто *емпіричною*.

З другого боку, дослідника часто цікавить природа поведінки об'єкту моделювання. Відповідь на таке питання може дати *функціональна модель*, яка відтворює її функції і показує зв'язок між ними. Найчастіше такі моделі мають вигляд блочних схем.

Для прикладу на рис. 3.2 зображена функціональна модель системи автоматичного регулювання (САР) бурякозбирального комбайну. З її принциповою схемою читач може самостійно познайомитися у спеціальній літературі.

Слід підкреслити, що завжди можна побудувати таку емпіричну модель, яка може бути погоджена з масивом дослідних даних значно краще, ніж функціональна. Це пояснюється тим, що перша практично вільна від обмежень, в той час як можливості другої обмежуються покладеними в її основу припущеннями.

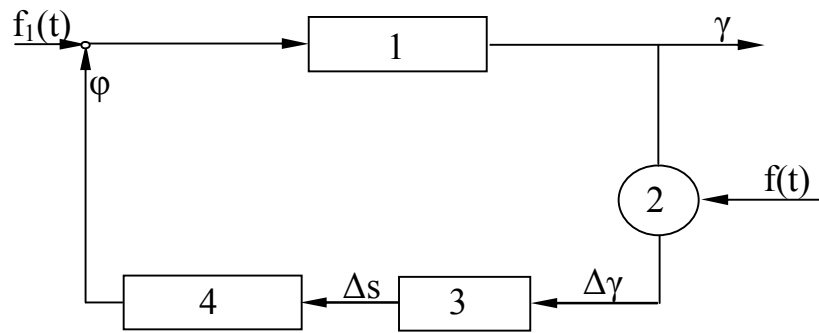


Рис. 3.2 – Функціональна модель САР бурякозбирального комбайну

Статична модель – це математична конструкція, в яку не включена змінна часу (t). Всі особливості поведінки системи, які мають виражену залежність від t , при цьому ігнорують. Але оскільки все у світі швидко чи повільно, – але все ж таки змінюється, то люба статична модель – це завжди лише апроксимація. Хоча іноді і дуже хороша. Останнє справедливо, коли система досить близька до стану рівноваги або коли її постійна часу настільки мала у порівнянні з постійною часу зміни середовища, що зовнішні умови можна вважати незмінними.

Прикладом типового статичного опису є модель для розрахунку навантаження на передній і задній мости трактора при його агрегуванні з тим чи іншим сільськогосподарським знаряддям. Іншим прикладом статичної моделі є визначення поздовжньої координати центру мас того чи іншого мобільного енергетичного засобу (трактора, комбайна, шасі тощо).

В *динамічних моделях* змінна часу t може фігурувати у явному виді. Прикладом такої моделі є характер зміни експлуатаційної³ маси (M_e) машини для внесення мінеральних чи органічних добрив під час робочого руху машинно-тракторного агрегату:

$$M_e = M_0 - k \cdot t, \quad (3.5)$$

де M_0 – експлуатаційна маса машини при $t = 0$, кг;

k – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність зменшення M_e по мірі плин timerу часу t , кг/год.

Найчастіше типовою формою запису динамічної моделі є відповідне диференціальне рівняння. Наприклад, продиференціювавши ліву та праву частини залежності (3.5), отримаємо:

$$dM_e/dt = -k. \quad (3.6)$$

Згідно з виразом (3.6) темп зменшення експлуатаційної маси машини є величина постійна, а його значина залежить від коефіцієнту k .

Особливою складністю відрізняються математичні моделі сільськогосподарських (СГА) або машинно-тракторних (МТА). Згідно із визначенням *сільськогосподарський агрегат (СГА) – це автономний мобільний енерготехнологічний комплекс, призначений для виконання однієї чи одночасно кількох технологічних операцій сільськогосподарського виробництва із заданими агротехнічними вимогами. Якщо енергетичною базою (модулем) цього комплексу є трактор, то він (комплекс) називається машинно-тракторним агрегатом (МТА).*

³ - сума конструктивної маси машини та маси завантажених добрив

Функціонують СГА/МТА в умовах постійної зміни зовнішніх збурень, обумовлених багаточисельними і різноманітними факторами. Основними із них є нерівності поверхні поля, фізико-механічні властивості ґрунту і рослин, властивості перероблюваних матеріалів тощо.

Функціонування того чи іншого СГА/МТА можна розглядати як реакцію на вхідні зовнішні збурення та керуючий вплив. При цьому найбільш придатною розрахунковою схемою любого дослідного об'єкту є схема за принципом «вхід-вихід». В якості вхідних змінних приймаються всі зовнішні збурення (умови роботи) та керуючий (збоку водія) вплив, виражені у вигляді конкретних фізичних величин (сил, моментів, переміщень тощо). Вихідні змінні представляють сукупність параметрів, які визначають якість роботи машини, енергетичні, техніко-економічні і інші показники.

Такий підхід до побудови схеми функціонування сільськогосподарської машини визначає її у вигляді динамічної системи, що здійснює перетворення вхідних впливів у вихідні. Розглянемо наступний простий приклад. Нехай у процесі робочого руху на динамічну систему – причіпну валкову жниварку – діють наступні сили (рис. 3.3):

- сила опору (R) стеблового масиву;
- сили опору коченню лівого (P_{f1}) та правого (P_{f2}) опорних коліс жниварки;
- бокові сили лівого (T_1) та правого (T_2) опорних коліс жниварки.

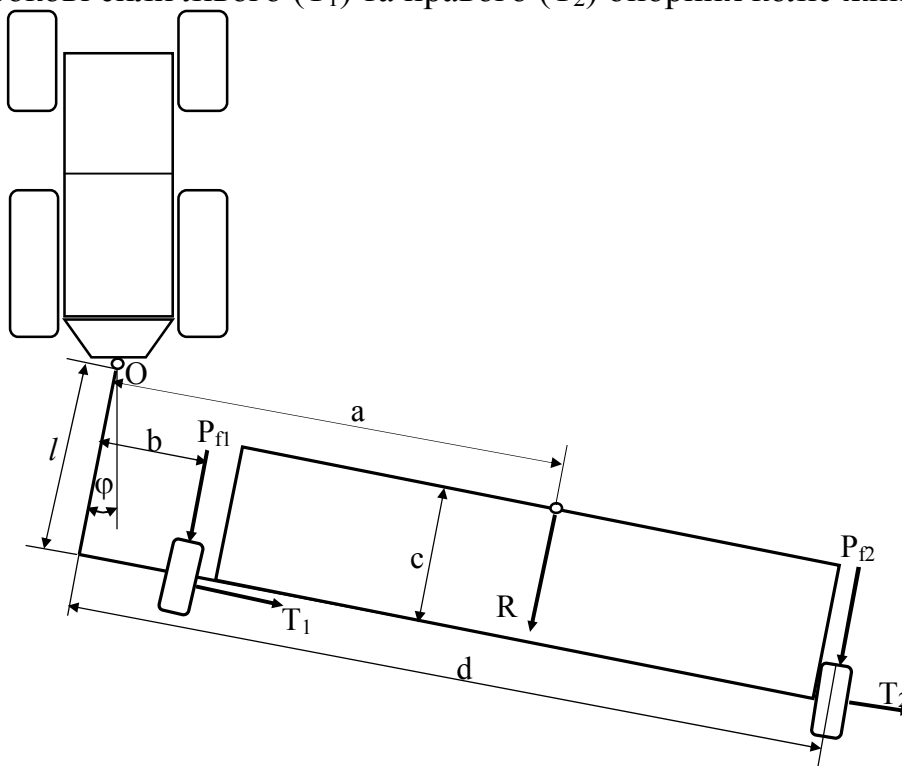


Рис. 3.3 – Схема сил, які діють на причіпну валкову жниварку

Під сумарним впливом цих сил причіпна машина відхиляється від прямолінійного руху на кут φ . Практикою встановлено, що його величина зазвичай коливається в межах від 0 до 8° .

Математично процес коливання кута φ описується наступним рівнянням:

$$J \cdot d\varphi^2/dt^2 = P_{f1} \cdot b + P_{f2} \cdot d + R \cdot a - (T_1 + T_2) \cdot l, \quad (3.7)$$

де J – момент інерції жниварки при її повороті відносно вертикальної осі, яка проходить через т. О (див. рис. 3.3);

l, a, b, d – конструктивні параметри причіпної машини.

Після перетворень диференціальне рівняння (3.7) можна записати так:

$$d\varphi^2/dt^2 = D, \quad (3.8)$$

де $D = (P_{f1} \cdot b + P_{f2} \cdot d - (T_1 + T_2) \cdot l + R \cdot a) / J$.

Суть подальшого моделювання полягає у зменшенні коефіцієнта D , оскільки він є представляє той збурювальний фактор, який відхиляє валкову жниварку від прямолінійного руху. Таке можливо за рахунок (див. вираз 3.8 і рис. 3.3):

- зменшення сил P_{f1}, P_{f2} та конструктивних параметрів a, b і d ;
- збільшення моменту інерції жатки J , сил T_1 і T_2 , а також параметра l .

Силу опору стеблового масиву R в даному аналізі не розглядаємо, тому що її зменшення опосередковано означає збирання зернової культури меншої урожайності. А такий стан нас улаштувати не може.

Зменшення сил опору коченню P_{f1} і P_{f2} можливе за умови відповідного зменшення вертикального навантаження, яке припадає на опорні колеса жатки. Практично цього можна досягти шляхом зменшення її конструктивної ваги. Але іншим наслідком такого конструктивного рішення буде зменшення бокових сил T_1 і T_2 . Такий результат в принципі небажаний, оскільки він обумовлює замість зменшення – зростання коефіцієнта D .

Як показують дослідження, для підвищення стійкості руху у горизонтальній площині конструктивну вагу жниварки бажано збільшувати. Небажане зростання при цьому сил опору кочення P_{f1} і P_{f2} компенсується бажаним збільшенням стабілізуючих сил T_1 і T_2 , а також моменту інерції причіпної машини J . В кінцевому рахунку це приводить до суттєвого бажаного зменшення коефіцієнта D .

Із конструктивних параметрів жатки a, d і b найбільш ефективний вплив на значину коефіцієнта D здійснює винос лівого опорного колеса жниварки – b (див. рис. 3.3). Більше того, при установленні цього колеса зліва від сніці машини значина параметру b стає взагалі від'ємною. Внаслідок цього момент $P_{f1} \cdot b$ замість розворотного (тобто збурювального) стає стабілізуючим. Значина коефіцієнта D при цьому бажано зменшується, а значить покращується стійкість руху причіпної валкової жниварки. Аналогічного ефекту (в якісному плані) можна досягти шляхом збільшення довжини її сніці – l .

В цілому на підставі приведенного вище аналізу математичного моделювання можна зробити наступний висновок: для підвищення стійкості руху причіпної валкової жниварки її момент інерції (J) і довжину сніці (l) слід збільшувати, а ліве опорне колесо установити з лівостороннім виносом ($-b$).

3.4. Регресійні моделі

Останнім часом там, де теоретично не можна зробити яких-небудь передбачень, широко практикується побудова емпіричних моделей с.-г. машин і їх робочих процесів на основі використання теорії планування експерименту. Мова йде про моделі, отримані апроксимацією експериментальних даних відповідними аналітичними виразами.

В техніці часто зустрічається така задача. Є k змінних x_i ($i = \overline{1, k}$) і залежна від них величина Y . Значини x_i можуть і не бути випадковими. Але, оскільки крім них вплив здійснюють і деякі неконтрольовані змінні, то величина Y є випадковою. Саме для таких умов і треба знайти метод експериментального визначення впливу на неї змінних x_i .

Мовою математики вказана задача формулюється наступним чином. Потрібно отримати певну уяву про функцію відгуку:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (3.9)$$

де η – параметр процесу, який підлягає оптимізації.

Загальна схема планування експериментів для рішення екстремальних задач включає наступні етапи:

- 1) Постановка задачі.
- 2) Вибір критеріїв оптимізації.
- 3) Вибір факторів.
- 4) Складання лінійного плану.
- 5) Реалізація лінійного плану і побудова лінійної моделі.
- 6) Пошук та опис області екстремуму.
- 7) Тлумачення отриманих результатів експерименту.

Постановка задачі розпочинається з її формулювання. Дослідник повинен мати чітку і однозначну уяву щодо мети роботи. Бажано, щоб мета дослідження була сформульована кількісно, оскільки планування експериментів пов'язане перш за все з виявленням кількісних зв'язків між вхідними і вихідними параметрами вивчаємої системи. Об'єкт дослідження при цьому повинен бути керованим.

Критерій оптимізації – це відгук (реакція) досліджуваної системи на вплив вхідних факторів. Вибираючи критерій оптимізації η в математичній моделі (3.9), необхідно враховувати, що він повинен:

- бути кількісним і задаватися одним числом;
- допускати вимірювання за будь-якої можливої комбінації вибраних рівнів факторів;
- бути універсальним, тобто всебічно характеризувати об'єкт дослідження;
- мати простий фізичний смисл;
- існувати для всіх стадій проведення експерименту.

Після вибору критеріїв оптимізації необхідно включити до розгляду всі існуючі **фактори**, які можуть здійснювати вплив на об'єкт дослідження. Вибираючи фактори, доцільно враховувати область, яка обмежує їх можливе варіювання. Бажано, щоб фактори мали кількісну оцінку, хоча планування експерименту можливе і при якісному їх представленні.

Взагалі фактори повинні відповідати наступним вимогам.

1. *Незалежність*, тобто можливість установлення фактора на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших. Якщо ця вимога не виконується, то планувати експеримент неможливо.

2. *Сумісність*. При плануванні експерименту зазвичай одночасно змінюються декілька факторів. Тому дуже важливо, щоб всі їх комбінації були можливими і безпечними.

3. *Керованість*. Планувати експеримент можна тільки у тому випадку, коли дослідник, вибравши потрібний рівень фактора, може підтримувати його постійним на протязі всього досліджу.

4. *Однозначність*, тобто безпосередній вплив на об'єкт. Важко керувати фактором, який функціонально залежить від інших.

5. *Невзаємозамінність*. Взаємозамінність не слід допускати навіть для двох любих факторів із їх загальної сукупності.

6. *Точність вимірювання*. Планування експерименту неможливе, коли фактори вимірюються з великою похибкою або особливість об'єкта дослідження така, що значини факторів важко підтримувати на заданому рівні (рівень фактора «пливе»).

Фактори, які з тих або інших причин не можна врахувати в експерименті, на протязі всіх дослідів слід стабілізувати на постійних рівнях.

Ступінь точності математичної моделі визначається діапазоном зміни факторів. Під час підготовчої роботи для кожного із них установлюють основний (x_{i0}), верхній (x_{imax}) і нижній (x_{imin}) рівні, а також крок їх варіювання (Δx_i).

При проведенні експериментів використовуються кодовані значини рівнів факторів. При цьому основний рівень приймається рівним нулю, верхній – (+)1, а нижній – (–)1. Кодування здійснюється за формулою:

$$\hat{X}_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i};$$

$$i = \overline{1, k}.$$

Наступний етап планування експерименту – складання **лінійного плану**, реалізація дослідів якого ставить за мету відшукати поки ще не оптимум, а лише напрямок до нього.

Припустимо, що в задачі змінюються тільки два фактори – x_1 і x_2 , причому кожний на двох рівнях⁴: +1 та –1. Планування зводиться при цьому до реалізації 2^k дослідів. У даному випадку маємо провести повний факторний експеримент типу 2^2 , де всі можливі комбінації факторів будуть вичерпані в чотирьох дослідах (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Рівні факторів

Номер досліджу	Фактор		Функція відгуку Y
	x_1	x_2	
1	+1	+1	Y_1
2	–1	+1	Y_2
3	+1	–1	Y_3
4	–1	–1	Y_4

Перша строчка таблиці відповідає першому досліджу, в якому обидва фактори знаходяться на верхньому рівні; друга строчка – другому досліджу, де фактор x_1 приймає значину нижнього рівня, а x_2 – верхнього і т.д.

По результатах чотирьох дослідів, кожний із яких проводиться **m** разів, можна знайти значини коефіцієнтів регресії (3.), яка для лінійного плану при $k = 2$ має наступний вид:

⁴ - проведення експериментів з кількістю рівнів факторів більшою, ніж 2, – дуже складне, а тому знаходить обмежене застосування на практиці.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3.10)$$

У рівнянні (3.10) коефіцієнт b_0 відображає значину функції відгуку при знаходженні значин факторів на основному рівні, а коефіцієнт b_{12} – за парної взаємодії факторів x_1 і x_2 ($x_1 \cdot x_2$).

Методика розрахунку коефіцієнтів поліному типу (3.10) досить предметно викладена у спеціальній літературі. На основі її використання розроблено відповідне програмне забезпечення для ПЕОМ. Крім визначення коефіцієнтів регресії його алгоритм також передбачає перевірку:

- однорідності дисперсій значин функції відгуку;
- значущості коефіцієнтів регресії;
- адекватності (відповідності) отриманого лінійного рівняння вивчаємому явищу. В разі неадекватності переходять до більш складної моделі.

Остаточну регресійну модель процесу отримують після підстановки в установлений за допомогою ПЕОМ многочлен типу (3.10) фізичних значин факторів замість кодованих.

Подальший процес дослідження полягає в **пошуку оптимуму функції відгуку** (якщо він є) та **тлумаченні отриманих результатів**. Значини факторів, при яких функція відгуку досягає екстремуму, є оптимальними. Для отримання максимальної інформації про положення оптимуму використовують ітераційні методи його пошуку. Вибір того чи іншого із них – прерогатива дослідника. Практично на кожний відомий нині метод оптимізації, як на суто формальну процедуру, розроблено програмне забезпечення для ПЕОМ. Проте іноді оптимум можна визначити в результаті мисленого аналізу графічної інтерпретації функції відгуку.

Слід, однак, пам'ятати, що ефективність даного (як, до речі, і будь-якого іншого) математичного моделювання залежить від уміння дослідника тлумачити отримані дані. Представлення графічної інтерпретації функції відгуку вивчаємого процесу без виявлення та пояснення закономірностей його зміни є одностороннім і явно недостатнім результатом.

3.5. Моделювання з використанням лінійного програмування

Лінійне програмування виникло у зв'язку з потребою розгляду питань про знаходження найвигідніших варіантів при вирішенні різних виробничих задач. Типовими серед них для сільськогосподарського виробництва є:

- розподіл земельних площ по культурах;
- прийняття рішень щодо виду і норми внесення мінеральних добрив;
- підбір раціону найменшої вартості для с.-г. тварин;
- планування трудовитрат та потреби в техніці.

При вирішенні будь-якої задачі лінійного програмування виділяють чотири основні етапи:

- 1) Постановка задачі, збір необхідної інформації та вихідних даних.
- 2) Формалізація задачі у відповідності до схеми лінійного програмування.
- 3) Додання математичних процедур і правил, необхідних для рішення поставленої задачі.
- 4) Інтерпретація результатів та пояснення їх смислу.

Найбільш складним із вказаних етапів є другий. Реалізація третього етапу для більш-менш складних задач потребує широкого використання ПЕОМ.

- 1) *Шукані змінні*, чиї значини повинні бути визначені в результаті рішення.
- 2) *Функція мети*, значина якої підлягає оптимізації.
- 3) *Умови*, що обмежують можливості вибору значин шуканих змінних.

Вказані умови прийнято називати *обмеженнями*.

Перераховані вище елементи повинні відповідати певним вимогам.

По-друге, шукані змінні повинні відповідати умовам безперервності та невід’ємності. Це означає, що в межах, визначених накладеними на них обмеженнями, змінні можуть приймати значини любого невід’ємного числа.

Знайти: $\max_{i=1}^n \sum c_i x_i$ - функція мети⁵

де x_i – шукані змінні;
 c_i, b_m, a_{mn} – постійні коефіцієнти

Досліднику, який розв’язує задачу лінійного програмування, не обов’язково знати обчислювальні деталі симплекс-методу. Проте, з метою кращого його розуміння доцільно розглянути приклад симплекс-задачі у графічній її інтерпретації, тобто для двох шуканих змінних.

Взагалі зміни любого вихідного показника $y(t)$ в реальних умовах функціонування обумовлені багатьма вхідними впливами $x_i(t)$. Під час побудови математичної моделі немає можливості врахувати дію кожного із них. У зв'язку з цим виникає потреба кількісної оцінки ступеню ідентичності (достовірності) такої прийнятої моделі реальному об'єкту.

⁵ - у випадку рішення задачі мінімізації розглядають максимізацію цієї ж функції, взятої з протилежним знаком

Однією із таких оцінок моделей є дисперсійна (ψ_D), суть якої визначає співвідношення між залишковою (D_z) і повною (D_n) дисперсіями вихідного процесу:

$$\psi_D = 1 - (D_z/D_n).$$

Для лінійних одномірних математичних моделей ступінь їх ідентичності дорівнює квадрату коефіцієнта кореляції (ρ_{xy}) між вхідним впливом та вихідним параметром, тобто

$$\psi_D = \rho_{yx}^2.$$

Для багатомірних моделей з n входами справедливим є наступне:

$$\psi_D = \sum_{i=1}^n \rho_{yi}^2. \quad (3.11)$$

Досвід ідентифікації моделей різних сільськогосподарських агрегатів і їх робочих процесів показав, що значина дисперсійної оцінки ψ_D повинна бути не меншою за 0,65...0,70. Коефіцієнт множинної кореляції при цьому, як випливає із (3.11), має дорівнювати не менше 0,80. При значинах ψ_D менших за 0,65 потрібно змінити модель і врахувати додаткові фактори, які впливають на вихідний параметр.

Питання для самоперевірки

1. Що таке модель фізичного явища? Назвіть її різновиди і вимоги до них.
2. У чому полягає різниця між тотожністю і подібністю?
3. Які задачі можна вирішувати з допомогою моделей?
4. Охарактеризуйте відомі способи моделювання.
5. Поясніть різницю між повно, неповною та наближеною подібностями природних явищ.
6. У чому полягає суть першої теореми подібності?
7. Назвіть практичну значущість другої теореми подібності.
8. Яку інформацію і користь надає досліднику функціональна модель?
9. У чому полягає значущість статичних моделей фізичних явищ?
10. Назвіть переваги і недоліки регресивних моделей функціонування динамічних систем.
11. Складіть загальну схему організації і планування експерименту.
12. Назвіть основні вимоги, які висуваються до факторів планування експерименту.
13. Поясніть, у якому випадку виникає потреба переходу від лінійного плану планування експерименту до нелінійного.
14. Яка роль поверхонь відгуку у процесі математичного дослідження із застосуванням регресійних моделей.
15. Охарактеризуйте особливості отримання і використання регресійних критеріальних рівнянь у математичному моделюванні.
16. Назвіть суть, переваги і недоліки лінійного моделювання.
17. Назвіть найбільш відомі і розповсюджені методи перевірки математичних моделей на адекватність. У чому полягає необхідність проведення такого етапу дослідницьких робіт?

Лекція 4

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Поняття про вимірювально-реєстраційні системи і їх основні метрологічні характеристики

Для отримання інформації про якість об'єкта досліджень у вигляді певного роду сигналу використовують вимірювально-реєстраційні системи (ВРС). Основними умовами забезпечення високої якості отримуваної ними інформації є:

- правильний вибір методу вимірювань;
- правильне складання вимірювальних схем;
- забезпечення технічно прийнятних умов роботи вимірювальних пристроїв.

ВРС – це комплекс пристроїв для отримання, перетворення та видачі вимірювальної інформації. Вони можуть мати один або декілька каналів вимірювання і здійснювати різноманітні функції в залежності від їх конструктивного виконання. ВРС бувають аналоговими або дискретними. Аналогові ВРС видають результат вимірювання у вигляді безперервного сигналу на показчик, осцилограму чи графік. Дискретні ж ВРС видають результат вимірювання у вигляді множини окремих значин на імпульсний лічильник, цифровий індикатор, точкову діаграму або на пристрій для введення безпосередньо у ЕОМ.

Більшість ВРС працюють за принципом електричних вимірювань неелектричних величин: вимірювані параметри різної фізичної природи з допомогою датчиків перетворюються в однакові за природою електричні сигнали. Ефективність вимірювання визначається насамперед його точністю. Характеристиками приладів та ВРС, що визначають точність вимірювання, є їх метрологічні та динамічні характеристики.

Метрологічними характеристиками називають стандартизовані числові показники точності приладу, які повинні враховуватися під час його вибору і складанні вимірювальних схем. На відміну від динамічних, метрологічні характеристики приладів визначають похибки статичних вимірювань (тобто таких, які не змінюються в часі). До таких характеристик належать: *клас точності, варіювання показань, чутливість, границя вимірювання*.

Клас точності показує допустиму статичну похибку приладу даного класу, виражену через приведену похибку.

Приведена похибка (Δ) розраховується по формулі:

$$\Delta = \frac{X_{\text{п}} - X_{\text{д}}}{X_{\text{в}} - X_{\text{н}}} \cdot 100, (\%) \quad (4.1)$$

- де $X_{\text{п}}$ – показання приладу;
 $X_{\text{д}}$ – дійсна значина вимірюваної величини;
 $X_{\text{в}}$ – верхня межа вимірювань приладу;
 $X_{\text{н}}$ – нижня межа вимірювань приладу.

У формулі (4.1) величина $\lambda = X_n - X_d$ – це абсолютна похибка вимірювального приладу.

Відношення абсолютної похибки λ до дійсної значини вимірюваної величини називається відносною похибкою приладу (γ):

$$\gamma = \lambda \cdot 100 / X_d (\%).$$

Числові значини для класів точності вибирають із наступного числового ряду: $[1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6] \cdot 10^n$.

Значина n приймається рівною: $+1; 0; -1; -2$.

Так, при $n = 0$ маємо: клас точності приладу 2,5, а його приведена похибка дорівнює $\pm 2,5\%$.

Варіюванням показань називають найбільшу різницю між показаннями використовуваного та зразкового приладів.

Чутливість приладу – це відношення приросту показань приладу (δA) до зміни вимірюваної величини (δx), що визвала цей приріст (δA):

$$S = \delta A / \delta x.$$

Чутливість ВРС дорівнює добутку чутливостей окремих елементів схеми. Під час компонування останньої потрібно узгоджувати чутливість пристрою із заданою точністю вимірювання. Занижена чутливість збільшить похибку вимірювання, а занадто висока – ускладнить процес вимірювання із-за збільшення часу заспокоєння приладу тощо.

Границя вимірювання – це робочий діапазон шкали приладу. Клас точності останнього визначається відносно верхньої межі шкали. У зв'язку із цим для невеликих значин вимірюваної величини не можна використовувати прилад з великою границею вимірювання, оскільки це призведе до великої похибки.

Більшість с.-г. технологічних процесів мають випадковий (іноді детермінований) коливальний характер. Тому в практиці випробувань досить часто має місце вимірювання величин, що змінюються у часі.

До основних динамічних характеристик вимірювальних приладів відносять: характеристику перехідного процесу, амплітудну (АЧХ), фазову (ФЧХ) і амплітудно-фазову (АФЧХ) характеристики та передаточну функцію. Числовими характеристиками вказаних динамічних властивостей виступають:

- час перехідного процесу;
- коефіцієнт підсилення системи і окремих її елементів;
- смуга пропускних частот;
- частота зрізу;
- резонансна частота тощо.

Найбільш інформативною динамічною характеристикою є передаточна функція, методика отримання якої була розглянута вище.

4.2. Датчики вимірювань

Датчиком або первинним вимірювальним перетворювачем називають конструктивно закінчений прилад для перетворення дії вимірюваної величини в електричний сигнал.

По функціональному призначенню датчики розподіляються на параметричні (пасивні) і генераторні (активні).

В **параметричних** датчиках під дією вимірюваної величини змінюється їх електричний параметр: опір, ємність, індуктивність.

До параметричних датчиків відносяться:

- комутуючі датчики, які під впливом зміни вимірюваної величини включають електричну ланку, подаючи при цьому у вимірювальну систему імпульсні сигнали (переривачі імпульсів, кодувальні датчики тощо);
 - потенціометричні і реостатні датчики, в яких під дією вимірюваної величини переміщується реостатний повзунок (головним чином датчики лінійних та кутових переміщень);
 - тензорезистори (тензометричні датчики опору), які змінюють активний опір під впливом деформації;
 - ємкісні датчики, які змінюють свою електричну ємність під впливом вимірюваної величини;
 - індуктивні датчики, в яких під впливом вимірюваної величини змінюється індуктивність (індуктивний опір);
 - датчики термоопору, фотоопору, які змінюють свій електричний опір при зміні температури, сили світла і т. ін.;
 - трансформаторні датчики, феромагнітні датчики кута повороту, сельсини.
- В цих датчиках обмотка збудження живиться змінною напругою від блоку живлення, а на виході отримують напругу, пропорційну переміщенню якоря.

Генераторні датчики генерують електрорушійну силу (ЕРС) під час обертання ротора або в результаті впливу температури, тиску тощо. До генераторних датчиків відносять:

- тахогенератори та індуктори (індукційні датчики) для вимірювання кутової швидкості;
- термоелектричні і гальванічні датчики, термопари і т. ін.

Суттєвою характеристикою будь-якого датчика є його **лінійність**. В робочому діапазоні вимірювань датчик повинен мати лінійну статичну характеристику. Нелінійність характеристики потребує нелінійного масштабу показника, значно утруднює оброблення результатів вимірювань і т. ін.

Якщо немає змоги підібрати або виготовити датчик з лінійною характеристикою, то в у вимірювальну ланку вводять лінеаризувальні пристрої, які, однак, можуть бути додатковими джерелами похибок. Лінеаризація у більшості випадків буває не повною, а лише частковою.

4.3. Визначення кількості вимірювань

У сучасних ВРС інформація із того чи іншого датчика поступає на вхід АЦП, із якого вона потрапляє на реєстрування і збереження у ПЕОМ (рис. 4.1). Більшість процесів сільськогосподарського виробництва мають випадковий характер. При дослідженні того чи іншого із них виникає питання щодо отримання мінімального об'єму первинної інформації, яка в першу чергу

визначається типом та характером вивчаємого процесу: стаціонарний, нестаціонарний, ергодичний чи не ергодичний. У подальшому ми зосередимо увагу саме на стаціонарних і ергодичних із них.

Процеси, середня амплітуда і характер коливань яких із плином часу є однорідними, називають **стаціонарними**. Приклад сімейства таких процесів представлений на рис. 4.1.

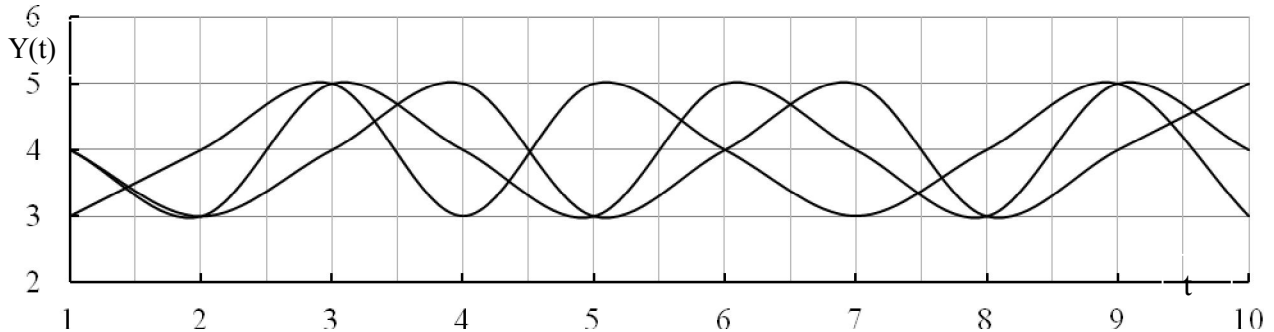


Рис. 4.1 – Реалізації стаціонарного ергодичного процесу

За своєю природою ці процеси значно простіші, ніж нестаціонарні. Характерною їх ознакою є постійність середньої значини $[X(t)]$ і дисперсії $[D(t)]$:

$$X(t) = \text{const}; \quad D(t) = \text{const}.$$

Процеси, для яких середня значина у часі на достатньо великому проміжку вимірювань приблизно дорівнює середній значині по множині реалізацій, називають **ергодичними**. Для пояснення кожен із реалізацій, зображених на рис. 4.2, уявно продовжимо на досить великий проміжок часу, а потім для кожної із них розрахуємо середню значину. При порівнянні отриманих середніх значин виявиться, що різниця між ними є статистично випадковою. А це означає, що кожна із реалізацій є «правомочним представником» усієї їх сукупності. Сам процес називається при цьому ергодичним і усі його реалізації можуть бути представлені однією із них. Єдиною вимога полягає у тому, що ця **єдина** реалізація повинна відтворювати достатній проміжок часу (T_p , с), а значить бути **репрезентативною** (тобто **представницькою**).

Науковою практикою встановлено, що для більшості випадкових процесів сільськогосподарського виробництва

$$T_p = (400 \dots 600) \cdot \Delta t,$$

де Δt – інтервал квантування неперервного випадкового процесу.

Для визначення величини цього інтервалу пропонується наступна формула:

$$\Delta t = \pi / \omega_b,$$

де ω_b = кругова частота вищої гармоніки спектру випадкового процесу, с^{-1} .

Враховуючи той факт, що $\omega_b = 2 \cdot \pi \cdot f_b$ (де f_b – частота вищої гармоніки процесу, Гц), остаточно отримуємо:

$$\Delta t = 1 / (2 \cdot f_b).$$

Для багатьох процесів, які мають місце при роботі сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів, $f_b \approx 5 \dots 6$ Гц. Звідси знаходимо, що

$$\Delta t = 1 / (10 \dots 12) = 0,10 \dots 0,08 \text{ с},$$

а

$$T_p = (400 \dots 600) \cdot (0,10 \dots 0,08) = 32 \dots 60 \text{ с}.$$

Знаючи величини Δt і T_p , досить легко визначити об'єм (N_p) отриманого масиву даних:

$$N_p = T_p / \Delta t.$$

Нехай, наприклад, перед нами стоїть задача встановити статистичні характеристики тягового опору орного знаряддя ($P_{кр}$). Априорі приймаючи, що функція $P_{кр}$ є стаціонарною і ергодичною, спочатку визначимося із тривалістю її фіксування (T_p) на відповідний вимірювальний прилад.

На полях високої культури виробництва частота вищої гармоніки коливань тягового опору орних знарядь (f_b) в середньому становить приблизно 5 Гц. Звідси

$$\Delta t = 1 / (2 \cdot f_b) = 1 / (2 \cdot 5) = 0,1 \text{ с};$$

$$T_p = (400 \dots 600) \cdot 0,1 = 40 \dots 60 \text{ с}.$$

Для практичного застосування краще прийняти більшу значину тривалості реєстрування тягового опору орного знаряддя, тобто $T_p = 60 \text{ с}$. За інтервалу квантування цього процесу 0,1 с отримаємо наступний масив даних:

$$N_p = 60 / 0,1 = 600.$$

Такої кількості даних, як показує практика, цілком достатньо для розрахунку не тільки середньої значини і дисперсії, а й навіть для достовірного визначення кореляційної функції та спектральної щільності коливань цього процесу.

У багатьох випадкових процесах (коливання профілю поля, глибини обробітку ґрунту, глибини загортання насіння с.-г. культур тощо) аргументом виступає не час, а відстань (L_p , м) від початку вимірювань. У цьому випадку при виборі інтервалу вимірювань того чи іншого параметру (ΔL), а також відстані L_p , слід враховувати швидкість робочого руху (V_p) агрегату:

$$\Delta L = V_p \cdot \Delta t;$$

$$L_p = (400 \dots 600) \cdot \Delta L = (400 \dots 600) \cdot V_p \cdot \Delta t.$$

Покажемо, для прикладу, як користуватися даною методикою при визначенні статистичних характеристик коливань глибини оранки агрегатом, робоча швидкість руху якого $V_p = 2 \text{ м/с}$. Практикою встановлено, що частота вищої гармоніки коливань цього (знову ж таки стаціонарного і ергодичного) процесу (f_b) в середньому не перевищує 1 Гц. Звідси знаходимо:

$$\Delta t = 1 / (2 \cdot f_b) = 1 / (2 \cdot 1) = 0,5 \text{ с};$$

$$\Delta L = V_p \cdot \Delta t = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м}.$$

$$L_p = (400 \dots 600) \cdot \Delta L = 400 \dots 600 \text{ м}.$$

Оскільки крок вимірювань глибини оранки дорівнює 1 м, то на ділянці довжиною L_p в даному випадку слід зробити щонайменше 400 замірів.

4.4. Вибір універсальних засобів вимірювання

Для універсальних засобів вимірювання лінійних величин основною характеристикою є гранична похибка засобу вимірювання Δ_{lim} :

$$\Delta_{lim} = \pm 3 \cdot \sigma,$$

де σ – допустима похибка вимірювання. Її дотримання при контролі забезпечує взаємозамінність при складанні виробу і для конкретного розміру та допуску на нього регламентується стандартом.

Якщо при багатократному вимірюванні однієї і тієї ж величини постійного розміру сумнівна значина результату вимірювання відрізняється від середньої значини більше, ніж на Δ_{lim} , то із ймовірністю 0,997 цей результат є помилковим і його слід відкинути. Таку похибка вимірювання вважають грубою.

Проте практика показує, що у багатьох випадках дослідник здійснює однократні вимірювання. Але оскільки отриманий при цьому результат має статистично випадковий характер, то його представлення не має сенсу без указання того діапазону вимірювання, у якому знаходиться розмір вимірюваної величини.

Для цього дослідник повинен володіти попередньою апріорною інформацією. Стосовно вимірювань лінійних і кутових розмірів вона повинна містити знання величин допустимої (δ) і граничної (Δ_{lim}) похибок застосовуваного засобу вимірювання.

Якщо виявиться, що

$$\Delta_{\text{lim}} \leq \delta,$$

то однократне вимірювання із ймовірністю 0,997 забезпечить необхідну точність. Результат однократного вимірювання (D) записується наступним чином:

$$D = D_d \pm \Delta_{\text{lim}},$$

де D_d – дійсна значина розміру, отриманого вимірюванням з довірчою ймовірністю 0,997.

Розглянемо конкретний приклад. Нехай потрібно вибрати такий засіб вимірювання маси трактора серії ХТЗ-170, щоб обмежитися одним вимірюванням.

Згідно з апріорною інформацією номінальна маса цього енергетичного засобу становить 8200 кг. За таблицею відповідного стандарту установлюємо, що допустима похибка вимірювання маси становить 0,5%. У розглядуваному нами прикладі – це 41 кг. З урахуванням цього поставлену задачу можна вирішити з допомогою ваг, гранична похибка яких не перевищує, скажімо, 40 кг.

У тому випадку, коли немає можливості застосування вимірювального засобу заданої точності, здійснюють багатократні вимірювання одного і того ж об'єкту. Згідно з положеннями теорії ймовірностей похибка N -кратного вимірювання зменшується при цьому у $\sqrt{N}$ разів.

Результат багатократного вимірювання (D_n) записують наступним чином:

$$D_n = \bar{D} + \frac{\Delta_{\text{lim}}}{\sqrt{N}},$$

де $\bar{D}$ – середня арифметична значина результатів вимірювань

4.5. Методика оцінювання і оформлення результатів вимірювань

Однією із самих розповсюджених помилок при оцінюванні результатів вимірювань є розрахунок і представлення їх із занадто великою кількістю значущих цифр. Крім того, що у цьому немає практичної потреби, такий методичний прийом є ще й некоректним.

Нехай, наприклад, розрахунками встановлено, що за результатами

вимірювань глибини загортання насіння с.-г. культури середня значина цього параметру $X_{\text{ср}} = 4,83$ см. Якщо при цьому вимірювання глибини здійснювали із точністю ± 1 см, то коректним буде запис $X_{\text{ср}} = 5$ см.

Представлення цього ж результату у вигляді $X_{\text{ср}} = 5,0$ см означає, що вимірювання контрольованого параметру здійснювали з похибкою $\pm 0,1$ см. Але у цьому випадку з урахуванням похибки вимірювань і правил округлення правильним записом розглядуваної середньої значини є: $X_{\text{ср}} = 4,8$ см. Подання результату $X_{\text{ср}} = 4,83$ см було правильним за умови вимірювання глибини загортання насіння з похибкою $\pm 0,01$ см (тобто ± 1 мм).

Правильне здійснення округлення наближених чисел у свою чергу вимагає знання правил здійснення арифметичних дій із ними.

Складання, віднімання, множення і ділення – число значущих цифр суми, різниці, добутку або частки визначає число із найменшою кількістю значущих цифр. Наприклад:

$$7,1 + 12,8 = 19,9 - \text{записуємо } 20,0.$$

У цьому випадку сума 20,0 має дві значущі цифри (20), а 0 лише репрезентує точність обчислення (0,1). Натомість, сума 19,9 має не два (як у першого доданку), а три значущих числа.

Приклад інших арифметичних дій:

$$3,31 - \mathbf{1,2^1} = 2,11 - \text{записуємо } 2,1;$$

$$0,18 \cdot \mathbf{2,3} = 0,414 - \text{записуємо } 0,41;$$

$$296,03 / \mathbf{25,1} \approx 11,794 - \text{записуємо } 11,8.$$

Піднесення до ступеню і добування кореню. Результат цих арифметичних дій повинен мати стільки значущих цифр, скільки їх у основи (при піднесенні до ступеню) або у числа під коренем:

$$12,32^2 = 151,7824 - \text{записуємо } 151,8;$$

$$\sqrt{8,256} = 2,8733 - \text{записуємо } 2,87,3.$$

При логарифмуванні число значущих цифр у мантисі результату має дорівнювати числу значущих цифр логарифмованого числа:

$$\ln 2,48 = 0,90825 - \text{записуємо } 0,908.$$

Особливу увагу слід звертати при розрахунку середнього квадратичного відхилення (або стандарту) статистично випадкового процесу ($\pm\sigma$). Значина цієї оцінки визначається шляхом добування кореню квадратного із дисперсії (D) цього ж процесу. У зв'язку з цим величина D має бути розрахована з такою точністю, щоб число її значущих цифр було на два більше, ніж число значущих цифр величини σ .

Наприклад:

$$D = 12,55, \text{ звідки } \sigma = \pm 3,54 - \text{записуємо } \sigma = \pm 3,5.$$

Натомість, для оцінки $\sigma = \pm 3,54$ дисперсію після розрахунку слід записати так:

$$D = 12,532 \text{ (кв. од.)}.$$

Дослідник дуже часто оперує тими чи іншими довідковими фізико-хімічними константами (π , g , e тощо). За своєю природою вони є трансцендентними, тобто такими, які не можуть бути розраховані алгебраїчним

¹ жирним шрифтом позначені числа із найменшою кількістю значущих цифр.

шляхом. Із-за цього у розрахунках використовують їх наближені (округлені) значини.

Водночас, число значущих цифр при цьому вибирають таким, щоб кінцева значина обчислювальної величини не виходила за попередньо установлені дослідником межі.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть призначення вимірювально-реєстраційної системи у дослідницькій діяльності.
2. Що таке абсолютна і відносна похибки та чутливість вимірювального приладу?
3. Назвіть типи датчиків вимірювань.
4. Що таке нестационарний випадковий процес за математичним очікуванням?
5. Розкрийте природу нестационарного випадкового процесу за дисперсією.
6. Що таке ергодичний випадковий процес і які у нього переваги перед неергодичним?
7. Що означає вираз «репрезентативна реалізація»?
8. Як визначити тривалість реєстрування випадкового процесу?
9. Як встановити інтервал квантування неперервного випадкового процесу?
10. Як визначити потрібний об'єм даних реєстрування випадкового процесу?
11. Суть методики оцінювання похибки опосередкованих вимірювань.
12. Що таке гранична похибка засобу вимірювання?
13. Як записуються результати будь-якого однократного та багатократного вимірювань?

Лекція 5

МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

5.1. Методика оброблення масиву даних

Дуже часто мають місце випадки, коли вибіркова сукупність даних містить дані, значини яких сильно (на перший погляд) відрізняються від інших. У зв'язки з цим деякі дослідники приймають суб'єктивне і необґрунтоване рішення щодо видалення «сумнівних» даних із статистичного обробітку.

Водночас, бракувати ті чи інші дані можна лише за умови наявності прямих доказів того, що вони є результатом грубої помилки при їх отриманні.

Одним із механізмів такого аналізу є загальновідомий критерій Ірвіна (λ). Дійсну його значину (λ_d) знаходять із виразу:

$$\lambda_d = (X_n - X_{n-1})/\sigma,$$

- де X_n – максимальна «сумнівна» значина масиву даних;
 X_{n-1} – значина із масиву даних, найближча до максимальної;
 σ – середнє квадратичне відхилення масиву даних.

Табличну значину критерію Ірвіна (λ_T) визначають наступним чином:

- для довірчої ймовірності 90%:

$$\lambda_T = \frac{2}{\sqrt{N}} + 0,60,$$

де N - кількість даних вибірки (масиву);

- для довірчої ймовірності 95%:

$$\lambda_T = \frac{2,5}{\sqrt{N}} + 0,75;$$

- для довірчої ймовірності 99%:

$$\lambda_T = \frac{3}{\sqrt{N}} + 1,15.$$

«Сумнівну» величину масиву X_n вибраковують тільки тоді, коли виявиться, що $\lambda_d > \lambda_T$. Аналогічно перевіряють і «сумнівну» найменшу величину масиву експериментальних даних.

Наприклад, нехай нами отримано десять ($N = 10$) вимірів якого-небудь параметру: 5; 6; 5; 7; **8**; 6; 5; 6; 7; **12**.

Сумнів викликає остання значина масиву – «12». Найближчою до неї є п'ята значина параметру – «8». Звідси $X_n = 12$, а $X_{n-1} = 8$.

Розрахувавши для даного масиву середнє квадратичне відхилення σ , знаходимо, що $\lambda_d = 1,89$. Разом з цим, для довірчої ймовірності 95% $\lambda_T = 1,54$. Оскільки в цьому випадку $\lambda_d > \lambda_T$, то вимір масиву, значина якого дорівнює 12, є сумнівним і його слід вибракувати.

Натомість, у аналогічному масиві даних 5; 6; 5; 7; **8**; 6; 5; 6; 7; **10** вимір зі значиною 10 не може бути вибракуваним, оскільки тут $\lambda_d = 1,26 < \lambda_T = 1,54$.

Більшість коливних явищ у сільськогосподарському виробництві представляють собою випадкові стаціонарні і ергодичні процеси. Механізми їх обробітку нині практично повністю формалізовані і при використанні комп'ютерів з програмним забезпеченням не викликають будь-яких труднощів.

Нестационарність того чи іншого випадкового процесу може бути за математичним очікуванням, дисперсією і за тим та другим одночасно.

Коли має місце нестационарність за дисперсією, то, за рекомендацією проф. А.Б. Лур'є, нестационарну ділянку слід просто видалити (рис. 5.1), а решту даних обробляти як єдину генеральну сукупність.

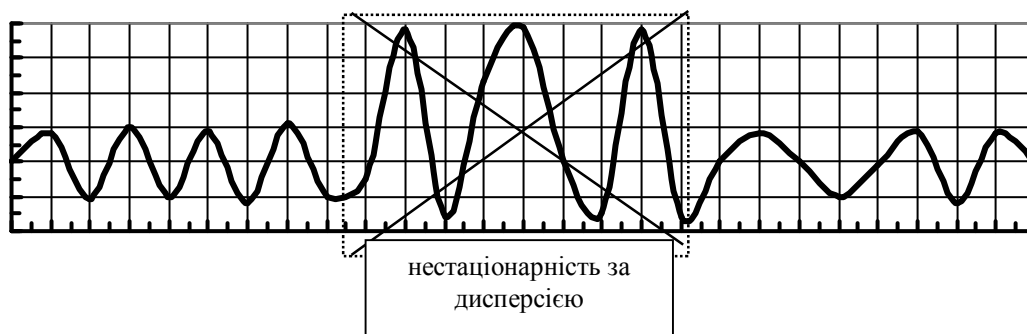


Рис. 5.1– Вид випадкового процесу з нестационарністю за дисперсією

Значно частіше той чи інший випадковий процес може бути нестационарним (причому лінійно) за математичним очікуванням.

Нехай випадковий процес зміни того чи іншого параметру описується кривою $f-f$ (рис. 5.2).

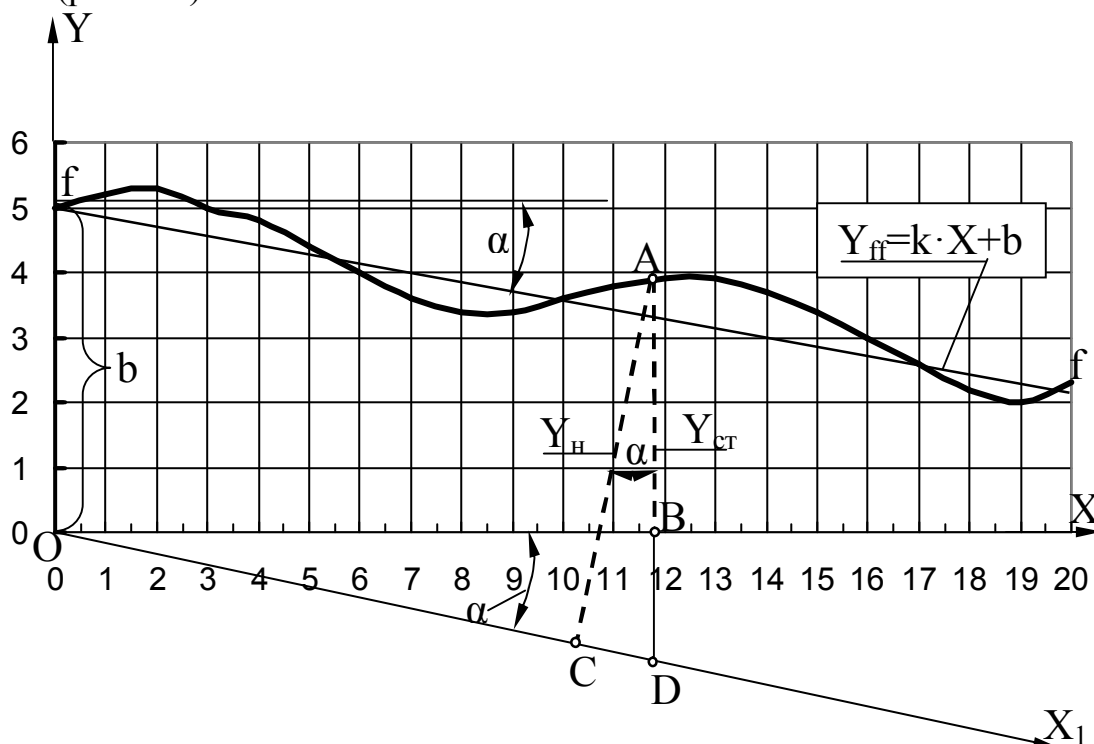


Рис. 5.2 – Схема обробки процесу, нестационарного за математичним очікуванням

На нестационарність за математичним очікуванням цього коливного процесу вказує той факт, що пряма лінія $Y_{ff} = k \cdot X + b$, яка апроксимує криву **f-f**, нахилена до осі OX під кутом α . В результаті, зі збільшенням значини регресора (X) ордината досліджуваного процесу ($Y_{ст}$), замість коливання відносно апроксимаційної прямої Y_{ff} , поступово зменшується.

У принципі, для досягнення поставленої мети криву **f-f** слід повернути проти ходу годинникової стрілки на той же кут α . Здійснити це можна наступним чином. Із початку системи координат YOX треба провести пряму OX_1 , паралельну лінії Y_{ff} (див. рис. 5.2). Далі, стару ординату ($Y_{ст}$) кожної точки кривої **f-f** (т. А, наприклад) слід замінити на нову (Y_n), отриману відносно лінії OX_1 .

Із рис. 5.2 випливає, що $Y_n = AD \cdot \cos \alpha$.

У свою чергу

$$AD = Y_{ст} + BD.$$

Враховуючи, що

$$k = \operatorname{tg} \alpha,$$

можемо записати:

$$BD = -k \cdot X.$$

З урахуванням вищевикладеного остаточно отримуємо:

$$Y_n = (Y_{ст} - k \cdot X) \cdot \cos[\operatorname{arctg}(k)]. \quad (5.1)$$

Залежність (5.1) дає можливість ординати лінійно нестационарного коливного процесу перетворити у стаціонарний за математичним очікуванням масив.

Практичне застосування викладеної вище методики продемонструємо на наступному прикладі. В процесі експериментальних досліджень було отримано масив ординат відхилення траєкторії руху просапного МТА від прямої лінії. Виявилося, що цей процес (крива 1, рис. 5.3) є нестационарним за математичним очікуванням, оскільки апроксимаційна пряма $y = 0,0035 \cdot x + 5,7238$ не паралельна до базової лінії (осі OX).

Після оброблення експериментальних даних з урахуванням залежності (5.1) отримано новий масив ординат, який представляє практично стаціонарний процес коливань траєкторії руху просапного МТА (крива 2, рис. 5.3).

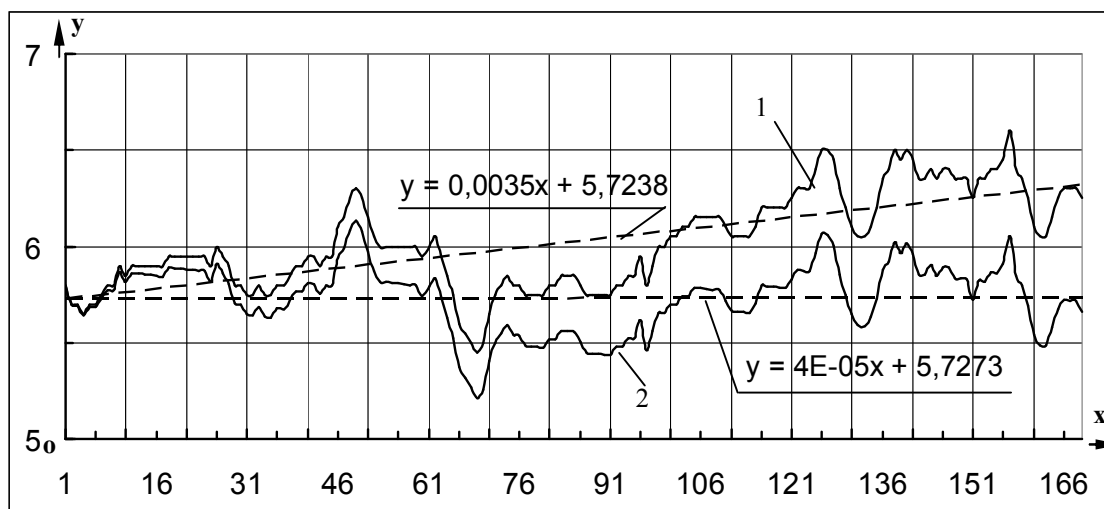


Рис. 5.3 – Нестационарний (1) та стаціонарний (2) за математичним очікуванням випадові процеси коливань траєкторії руху просапного МТА

5.2. Розрахунок та аналіз основних статистичних характеристик

5.2.1 Середня арифметична значина

Методика розрахунку середньої арифметичної значини того чи іншого масиву даних на сучасному етапі абсолютно формалізована і не викликає будь-яких ускладнень. Окремо стоїть питання правильного використання цієї статистичної кількісної характеристики. Особливо при порівнянні двох статистично випадкових процесів.

На практиці може виявитися, що кількісно мала різниця між середніми арифметичними є не випадковою. В такому випадку говорять, що нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних статистичних характеристик на тому чи іншому прийнятому статистичному рівні значущості **відхиляється**.

Часто буває навпаки: відносно значна кількісна різниця між середніми значинами виявляється випадковою і нуль-гіпотеза про їх рівність **не відхиляється**. В цьому випадку обидві статистичні характеристики репрезентують одну і ту ж генеральну сукупність (масив) експериментальних даних.

Одним із способів оцінювання суттєвості різниці між середніми арифметичними значинами двох **незалежних** і однакових за об'ємом вибірок даних (масивів) є **t**-критерій. Розраховується він наступним чином:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2}}, \quad (5.2)$$

де X_1, X_2 – середні арифметичні значини двох масивів даних;
 S_{x1}, S_{x2} – похибки порівнюваних середніх арифметичних X_1 і X_2 .

В загальному випадку величини S_{x1} і S_{x2} знаходять із виразів:

$$S_{x1} = \sigma_1 / \sqrt{N_1};$$

$$S_{x2} = \sigma_2 / \sqrt{N_2},$$

де σ_1, σ_2 – середні квадратичні відхилення (стандарти) масивів N_1 і N_2 .

Оскільки в даному випадку $N_1 = N_2 = N$, то

$$S_{x1} = \sigma_1 / \sqrt{N};$$

$$S_{x2} = \sigma_2 / \sqrt{N},$$

і залежність (5.2) можна представити у такому варіанті:

$$t = \frac{(X_1 - X_2) \cdot \sqrt{N}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}. \quad (5.3)$$

Якщо виявиться, що $t \geq t_{\text{теор}}^1$, то нуль-гіпотеза щодо відсутності суттєвої різниці між середніми арифметичними X_1 і X_2 відхиляється. За таких обставин вважають, що статистична характеристика X_1 не випадково більша за статистичну характеристику X_2 .

В протилежному випадку (коли $t < t_{\text{теор}}$) різниця між X_1 і X_2 знаходиться в межах випадкових коливань на відповідному статистичному рівні значущості. А такий факт принаймні не заперечує, що між оцінюваними середніми арифметичними значинами не існує різниці.

¹ таблична величина

Розглянемо наступний приклад. Нехай треба оцінити середні значини глибини оранки двох процесів, кожен із яких представлений 100 вимірюваннями даного оцінюваного параметру, тобто $N = 100$. Розрахунками встановлено, що

$$X_1 = 26,5 \text{ см}; \quad X_2 = 25,3 \text{ см}; \quad \sigma_1 = \pm 1,3 \text{ см}; \quad \sigma_2 = \pm 1,5 \text{ см}.$$

Підставивши ці дані у формулу (5.3), отримуємо, що $t = 6,05$. Теоретична ж (тобто таблична) значина цього критерію для статистичного рівня значущості 0,05 $t_{\text{теор}} = 1,98$. Оскільки $t = 6,05 > t_{\text{теор}} = 1,98$, то нуль-гіпотеза щодо відсутності суттєвої різниці між середніми арифметичними X_1 і X_2 відхиляється. Тобто, середня значина глибини оранки $X_1 = 26,5$ см не випадково більша за характеристику $X_2 = 25,3$ см. Слід зазначити, що X_1 не випадково більша за X_2 і для статистичного рівня значущості 0,001 (тобто для ймовірності 99,9%), оскільки навіть у цьому випадку $t = 6,05 > t_{\text{теор}} = 3,39$.

Якби у обох процесів за тих же X_1 та X_2 середні квадратичні відхилення були більшими і становили:

$$\sigma_1 = \pm 3,5 \text{ см}; \quad \sigma_2 = \pm 3,5 \text{ см},$$

то тоді б із виразу (5.3) отримали, що $t = 2,42$ і на статистичному рівні значущості 0,05 нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних середніх значин знову відхиляється, тому що $t = 2,42 > t_{\text{теор}} = 1,98$.

Водночас, на статистичному рівні значущості 0,01 нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних середніх значин уже не відхиляється, оскільки $t = 2,42 < t_{\text{теор}} = 2,63$. Тобто із довірчою імовірністю 99% можна стверджувати, що різниця між середніми значинами глибини оранки $X_1 = 26,5$ см і $X_2 = 25,3$ см є статистично випадковою і вони обидві репрезентують одну і ту ж генеральну сукупність (тобто один і той же випадковий процес). На даному статистичному рівні значущості у дослідника немає підстав стверджувати, що величина X_1 більша за X_2 , хоча арифметично це дійсно так.

Досліднику треба чітко знати до чого приводить спроба зменшення об'єму масиву вимірюваних даних N . Так, за умов

$$X_1 = 26,5 \text{ см}; \quad X_2 = 25,3 \text{ см}; \quad \sigma_1 = \pm 1,3 \text{ см}; \quad \sigma_2 = \pm 1,5 \text{ см},$$

але $N = 10$, тому отримуємо $t = 1,91$.

А це означає, що навіть на статистичному рівні 0,05 між середніми значинами глибини оранки $X_1 = 26,5$ см та $X_2 = 25,3$ см немає істотної різниці, оскільки $t = 1,91 < t_{\text{теор}} = 1,98$. І це в той час, коли за умови $N = 100$ ця ж сама різниця між оцінюваними параметрами була істотною як на статистичному рівні значущості 0,05, так і на рівні значущості 0,001.

Перевірити нуль-гіпотезу можна і іншим способом. Для цього використовують найменшу істотну різницю (НІР) між порівнюваними середніми арифметичними. Якщо дійсна різниця між X_1 і X_2 є більшою за НІР або дорівнює їй, тобто $X_1 - X_2 = d \geq \text{НІР}$, то величина d признається значущою і нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних характеристик на відповідному статистичному рівні значущості відхиляється. І навпаки, коли $d < \text{НІР}$, то величина є несуттєвою і середні арифметична X_1 є закономірно більшою за X_2 .

Для знаходження величини НІР спочатку визначають похибку різниці середніх арифметичних s_d : $s_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2}$.

Наступним кроком розраховують значини найменших істотних різниць на відповідному статистичному рівні значущості. Наприклад,

$$НІР_{05} = t_{05} \cdot s_d - \text{для довірчої ймовірності } 95\%;$$

$$НІР_{01} = t_{01} \cdot s_d - \text{для довірчої ймовірності } 99\%.$$

У цих формулах t_{05} , t_{01} – теоретичні (табличні) значини t- критерію для статистичних рівнів значущості 0,05 і 0,01 відповідно.

Із викладеного вище бачимо, що на величину різниці між порівнюваними середніми арифметичними суттєво впливає похибка їх оцінювання (S_x). Із теорії математичної статистики відомо, що в цілому похибка середньої арифметичної тим менша, чим менше варіює досліджуваний процес (менше величина σ) і чим більша кількість вимірювань його ординат (N).

Науковці досить часто оперують статистичною оцінкою, яка виражена у відсотках від відповідної середньої арифметичної (X) і називається відносною похибкою вибіркової середньої ($S_{x\%}$):

$$S_{x\%} = (S_x \cdot 100) / X.$$

В деяких літературних джерелах величину $S_{x\%}$ іноді називають «точністю досліду». При цьому вважають, що коли $S_{x\%}$ перевищує 5%, то слід удосконалювати методику досліду, а якщо $S_{x\%} > 7...8\%$, то результати досліджень взагалі не можна вважати достовірними.

Водночас, існує досить обґрунтована думка, яку повністю поділяє і автор даного підручника, що таке визначення відносної похибки середньої значини не відповідає дійсності, а тому не пропонується до ужитку.

Наприклад, при дослідженні глибини загортання насіння пшениці сівалкою були отримані дві середні значини X : 5 і 6 см відповідно. Похибка оцінювання цих характеристик виявилась однаковою і рівною $S_x = 0,25$ см. В результаті для першого варіанту маємо $S_{x\%} = (0,25 \cdot 100) / 5 = 5\%$, а для другого $S_{x\%} = (0,25 \cdot 100) / 6 = 4,2\%$. Виникає питання, на якій підставі «точність досліду» у другому варіанті слід вважати вищою, ніж у першому?

5.2.2 Дисперсія та середнє квадратичне відхилення

Дані статистичні характеристики є основними мірками варіації (коливання, розсіювання) вивчаемого випадкового процесу.

В загальному випадку для визначення дисперсії (D) статистично випадкового процесу не потрібно знати значину середньої арифметичної. Процедура розрахунку цієї характеристики передбачає знання величини та кількості ординат вибірки.

Дисперсія є завжди позитивною, а її розмірність дорівнює квадрату розмірності досліджуваного параметра. Оскільки це не завжди зручно, то застосовується характеристика, яка дорівнює кореню квадратовому із дисперсії. Цілком зрозуміло, що вона має розмірність досліджуваного параметра і називається середнім квадратичним відхиленням або стандартом (σ). Значина стандарту завжди записується із знаком « $\pm$ ». Наприклад, $\sigma = \pm 3,5$ см; $\sigma = \pm 25$ кН; $\sigma = \pm 1,5$ кг тощо.

Для порівняння дисперсій двох процесів D_1 і D_2 з об'ємами вибірок N_1 і N_2

використовують загальновідомий F- критерій Фішера:

$$F = D_1/D_2,$$

де між оцінюваними дисперсіями має виконуватись співвідношення $D_1 > D_2$.

Табличну значину F-критерію (F_T) знаходять в залежності від вибраного статистичного рівня значущості і числа незалежних вимірювань f_1 і f_2 :

$$f_1 = N_1 - 1;$$

$$f_2 = N_2 - 1.$$

Якщо розрахована значина F більша або дорівнює F_T , то з вибраною довірчою ймовірністю можна стверджувати, що дисперсія D_1 більша за дисперсію D_2 . Інакше між цими статистичними характеристиками суттєвої різниці немає і нуль-гіпотеза про їх рівність не відхиляється.

Якщо порівнюються не дві, а декілька дисперсій, то замість F-критерію Фішера застосовують критерій Кокрена (G). Для k експериментів з однаковим числом вимірювань N маємо:

$$G = D_{\max}/(D_1 + D_2 + \dots + D_k). \quad (5.4)$$

Відношення максимальної із дисперсій до суми усіх інших має свій ймовірнісний розподіл, який залежить від статистичного рівня значущості, числа дисперсій і числа ступенів вільності $f = N - 1$. Теоретичні значини цього розподілу (G_T) табульовані.

Якщо значина G, розрахована згідно з (5.4), є менша за табличну (G_T), то усі k дисперсій вважаються однорідними на прийнятому статистичному рівні значущості. Коли ж $G > G_T$, то неоднорідна дисперсія $D_{\max}$ виключається, а із решти (k-1) перевіряється наступна максимальна. Порівняння здійснюють до тих пір, поки не отримують умову $G < G_T$.

Нехай, для прикладу, треба оцінити значущість наступних трьох дисперсій: $D_1 = 25,46 \text{ см}^2$; $D_2 = 36,96 \text{ см}^2$ і $D_3 = 15,16 \text{ см}^2$. Усі вони отримані у 3-х експериментах (k = 3) із числом вимірювань у кожному N = 10. Максимальною із приведених дисперсій є друга, тобто $D_{\max} = 36,96 \text{ см}^2$.

Із формули (5.4) отримуємо, що

$$G = D_{\max}/(D_1 + D_2 + D_3) = 36,96/(25,46 + 36,96 + 20,16) = 0,447.$$

Числа незалежних вимірювань при цьому є такими:

$$f_1 = k - 1 = 3 - 1 = 2;$$

$$f_2 = N = 10.$$

Згідно із табличними даними для $f_1 = 2$ і $f_2 = 10$ для довірчої імовірності 95% $G_T = 0,445$. Оскільки в даному випадку $G > G_T$, то оцінювана максимальна дисперсія D_2 є неоднорідною із іншими.

Оцінювання дисперсій D_1 і D_3 на однорідність здійснюємо за таких вихідних даних:

$$f_1 = k - 1 = 2 - 1 = 1;$$

$$f_2 = N = 10;$$

$$G = D_{\max}/(D_1 + D_3) = 25,46/(25,46 + 15,16) = 0,558.$$

Для $f_1 = 1$ і $f_2 = 10$ $G_T = 0,602$. Оскільки це більше за $G = 0,558$, то дисперсії D_1 і D_3 є однорідними і на статистичному рівні 0,05 різниця між ними є випадковою. Обидві вони, на відміну від дисперсії D_2 , представляють одну і ту ж генеральну сукупність.

5.2.3 Коефіцієнт варіації

Даний коефіцієнт (V) – це стандарт, виражений у відсотках до середньої арифметичної того чи іншого випадкового процесу:

$$V = (\sigma \cdot 100) / X. \quad (5.5)$$

Використання коефіцієнта варіації має сенс при вивченні варіювання параметра, який приймає тільки **позитивні** значини. Немає суті у величини V для процесу, середня значина якого дорівнює нулю.

Більше того, навіть для вибірок виключно з позитивними даними коефіцієнт варіації може не мати фізичного смислу. Для прикладу розглянемо процес коливання поздовжнього профілю поля. На практиці його реєстрацію здійснюють з допомогою профілографу. Основою цього приладу є рейка, яка встановлюється на певній висоті паралельно поверхні поля.

Припустимо, що у першому варіанті вимірювання ця рейка була розташована на висоті 0,5 м, а в другому – на висоті 0,3 м. В обох випадках відстань від рейки до поверхні поля фіксуватимемо в одних і тих же точках.

Середнє квадратичне відхилення (або стандарт) процесу, як відомо, не залежить від середньої арифметичної. В результаті для двох варіантів вимірювання профілю поля матимемо теоретично рівні значини σ . Але оскільки дійсні середні арифметичні при цьому у нас є різними, то різними, всупереч логіці, будуть і значини коефіцієнту варіації V .

Слід підкреслити, що для такого процесу, як вертикальні коливання профілю поля (шляху, дорого тощо) фізичного смислу не має і середнє арифметичне, так як висоту установки базової горизонтальної лінії, від якої здійснюються вимірювання, є результатом суб'єктивного вибору.

Мінливість (варіабельність) процесу прийнято вважати незначною, якщо коефіцієнт варіації, визначений за формулою (5.5), не перевищує 10%. При значині цього показника більше 10%, але менше 20% мінливість є середньою. Якщо $V > 20\%$, то мінливість випадкового процесу вважають значною.

Важливо, що при вивченні варіабельності параметрів однакової розмірності слід проявляти певну обережність. Коефіцієнт варіації може дати невірну оцінку щодо мінливості при різних середніх арифметичних, але однакових стандартах. В цьому випадку мінливість доцільніше оцінювати саме величиною середнього квадратичного відхилення.

5.2.4 Довірчий інтервал і довірча ймовірність

Оцінювання **точності** отриманого експериментального результату здійснюють з допомогою такої статистичної оцінки, як довірчий інтервал (D_i). Для його розрахунку використовують наступну формулу:

$$D_{\text{інт}} = X \pm t \cdot S_x,$$

де X – середня арифметична;
 t – теоретична значина критерію Стьюдента;
 S_x – похибка середньої арифметичної.

Границі $X - t \cdot S_x$ і $X + t \cdot S_x$ прийнято називати **довірчими**, а та ймовірність, з якою істинна (невідома нам) значина параметру не виходить за межі цих границь, – **довірча ймовірність** (P).

Досить часто замість довірчої ймовірності P використовують величину, яка доповнює її до одиниці. Ця величина називається **статистичним рівнем значущості** і позначається символом α :

$$\alpha = 1 - P.$$

На практиці точність отриманого результату оцінюють при розв'язанні двох задач.

Перша із них така. Нехай здійснено $N = 120$ вимірювань глибини суцільної культивування зябу і визначено її середнє арифметичне ($X = 10,4$ см) та похибку середнього ($S_x = 0,2$ см). Для заданої довірчої ймовірності $P = 95\%$ треба знайти відповідний довірчий інтервал $D_{\text{інт}}$.

Для цього з урахуванням P і N із таблиць знаходимо значину t -критерію. Наразі вона є такою: $t = 1,98$. Помноживши її на величину S_x , встановлюємо половину довжини довірчого інтервалу $t \cdot S_x = 1,98 \cdot 0,2 = 0,4$ см.

Звідси довірчий інтервал, за межі якого з ймовірністю P не вийде істинна значина вимірюваного параметру, становитиме:

$$D_{\text{інт}} = X \pm t \cdot S_x = 10,4 \pm 0,4 \text{ см.}$$

Друга задача формулюється так: по заданому розміру $\pm t \cdot S_x$ довірчого інтервалу встановити довірчу ймовірність P . Для цього спочатку знаходять розрахункову значину t -критерію (t_p):

$$t_p = t \cdot S_x / S_x.$$

Задавши $\pm t \cdot S_x = \pm 0,6$ см, знаходимо, що

$$t_p = t \cdot S_x / S_x = 0,6 / 0,2 = 3.$$

Після цього із таблиць з урахуванням t_p і N визначаємо, що цьому відповідає довірча ймовірність $P = 99,9 \%$.

5.3. Лінійна та криволінійна кореляції

В наукових дослідженнях часто мають місце співвідношення між перемінними, коли кожній значині признаку X відповідає не одне, а кілька можливих значин признаку Y . Такі зв'язки, на відміну від функціональних, є стохастичними (імовірностними) або кореляційними. Вони характеризуються тісністю і формою зв'язку. Для встановлення останніх використовують спеціальні статистичні методи, які називаються кореляцією і регресією.

За формою кореляція може бути лінійною і криволінійною, а за напрямом – прямою і зворотною.

Під регресією розуміють зміну результативної ознаки Y (функції) за певної визначеної зміни аргументу – ознаки X . Зв'язок між функцією і аргументом виражається рівнянням регресії або кореляційним рівнянням.

Для оцінки тісноти зв'язку між функцією і аргументом застосовують коефіцієнт кореляції або кореляційне відношення.

Лінійною (прямолінійною) кореляційною залежністю між ознаками X і Y називають таку, яка описується рівнянням прямої лінії

$$Y = a + b \cdot X, \quad (5.6)$$

де a , b – сталі величини.

Якщо при збільшенні X величина Y зростає, то кореляція і регресія позитивні або прямі. В протилежному випадку – від’ємні або зворотні.

За числовий показник лінійного зв’язку використовують коефіцієнт кореляції – r . Він є безрозмірною величиною, яка змінюється в таких межах:

$$-1 < r < +1.$$

Причому, чим ближча значина r до $+1$ чи -1 , тим тісніший прямолінійний кореляційний зв’язок і навпаки. Коли ж $r = 0$, то між ознаками X і Y лінійний зв’язок відсутній (зате криволінійний може існувати!).

За сучасного рівня розвитку математичного програмного забезпечення (MathCAD, MathLAB, Statistica, Mathematica, Maple тощо) визначення сталих величин a і b лінійної регресії (5.6), а також коефіцієнта кореляції r та його стандартної похибки і критерію істотності є процедурою абсолютно формальною, тому окремо на цьому питанні зупинятися не будемо.

Дуже часто у науковців з’являється впевненість, що величина коефіцієнта кореляції на рівні 0,5 є досить високою і такою, за якої збіг варіації двох ознак (X і Y) має бути у половині всіх випадків.

Водночас, теорія кореляції свідчить, що ступінь взаємовпливу у варіюванні двох величин більш точно визначається квадратом коефіцієнта варіації (r^2). Величину r^2 називають коефіцієнтом детермінації і позначають R^2 . Цей коефіцієнт показує долю тих змін, які у вивчаємому явищі (процесі) залежать від змінюваного фактора (аргументу).

Наприклад, при $r = 0,5$ тільки 25% (а не 50%) зміни функції обумовлене зміною аргументу. У зв’язку з цим коефіцієнт детермінації є більш інформативним по відношенню до коефіцієнта кореляції. Коли, для прикладу, стверджують, що «90% вертикальних коливань трактора обмовлені коливаннями профілю поля», то тут 90% – це коефіцієнт детермінації, а не кореляції.

Якщо $r < 0,3$, то лінійну кореляційну залежність вважають слабкою, коли $r = 0,3 \dots 0,7$ – середньою, при $r > 0,7$ – сильною.

На відміну від прямолінійної, криволінійна регресія – це така залежність, коли за однакового приросту аргументу приріст функції є неоднаковим. Показником криволінійної залежності є кореляційне відношення (η). За незначного масиву дослідних даних (до 30) ця величина розраховується наступним чином:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum(Y - y_c)^2 - \sum(Y - y_x)^2}{\sum(Y - y_c)^2}},$$

де $\sum(Y - y_c)^2$ – сума квадратів відхилень індивідуальних значин Y від загальної середньої арифметичної y_c ;

$\sum(Y - y_x)^2$ – сума квадратів відхилень варіант від частинних середніх y_x , які відповідають фіксованим значинам незалежної ознаки Y .

Для розрахунку кореляційного відношення за цим виразом здійснюють наступні підготовчі операції. Спочатку значини незалежної ознаки Y ранжують за зростанням і розраховують середнє арифметичне u_c . Потім цей ряд чисел розбивають на $k = 4 \dots 7$ груп з таким розрахунком, щоб у кожній із них було не менше двох значин аргументу. Далі для кожної із k груп розраховують частинне середнє u_x , а вже потім – кореляційне відношення η .

За умови функціональної залежності Y від X кореляційне відношення дорівнює 1. Якщо $\eta = 0$, то це вказує на некорельованість ознак X і Y . За проміжного характеру кореляційної залежності кореляційне відношення знаходиться в межах

$$0 < \eta < 1.$$

Величину η^2 називають індексом детермінації. Він, по аналогії з коефіцієнтом кореляції, визначає відсоток варіювання ознаки Y (функції) від впливу аргументу X .

Похибку (S_η) і критерій істотності (t_η) кореляційного відношення η знаходять із наступних виразів:

$$S_\eta = \sqrt{(1 - \eta^2)/(N - 2)};$$

$$t_\eta = \eta/S_\eta,$$

де N – об'єм масиву даних, за якими розраховується значина η .

Теоретичну значину критерію t_η для того чи іншого статистичного рівня значущості можна знайти в таблицях багатьох посібників.

На практиці науковці часто необґрунтовано апроксимують експериментальні дані лінійною або нелінійною залежністю. В дійсності слід поступати так. Коли є підтвердження, що між ознаками X і Y існує прямолінійний зв'язок – слід застосовувати механізм прямолінійної кореляції.

Якщо заздалегідь відомо, що між ознаками X і Y криволінійний зв'язок, то з допомогою того чи іншого програмного забезпечення підбирають таку криволінійну залежність, яка найбільш точно відтворює зв'язок між функцією та аргументом досліджуваного процесу.

Водночас, досить часто характер зв'язку (лінійний чи криволінійний) між ознаками X і Y невідомий. В цьому випадку, як би криволінійно не розташовувались експериментальні значини функції, слід діяти за наступним алгоритмом. Спочатку розраховують коефіцієнт лінійної кореляції r і кореляційне відношення η . Далі визначають дійсну значину F -критерію:

$$F_d = \frac{(\eta^2 - r^2) \cdot (N - k)}{(1 - \eta^2) \cdot (k - 2)}.$$

Якщо виявиться, що дійсна значина F -критерію менша за табличну (тобто $F_d < F_T$), то зв'язок між ознаками X і Y є лінійним, а коли $F_d \geq F_T$ – криволінійним.

5.4. Методика аналізу кривих за відсутності оптимуму

Результати виробничих або економічних процесів зазвичай залежать від багатьох факторів. Якщо ми зафіксуємо всі із них, окрім одного, то будемо мати

залежність, яка описується функцією однієї змінної. Найчастіше представляють інтерес точки, в яких описана функція приймає своє найменше або найбільше значення. Для знаходження таких точок екстремуму використовують диференціальне числення. Далі будемо розглядати процеси, в яких область зміни фактора можна умовно розбити на два інтервали. В кожному з інтервалів залежність результату від досліджуваного фактора є близькою до лінійної, але на одному з інтервалів функція зростає або спадає швидко, а на іншому – повільно. Опуклі криві, які описують такі функції, будемо називати **двозонними**.

Прикладами таких двозонних кривих є графіки функцій

$$y_1 = \frac{\alpha x}{1 - \beta x^2} \text{ на проміжку } (0, \beta^{-0.5})$$

та

$$y_2 = k - \alpha e^{-\beta x} \text{ на проміжку } (-\infty, \infty).$$

Типові графіки цих функцій зображені на рис. 5.4. Функція y_1 , для прикладу, застосовується для апроксимування кривих буксування мобільних енергетичних засобів. Функція y_2 використовується при аналізі низки процесів з експоненціальною складовою.

При дослідженні процесів, які описуються двозонними кривими, бажано вміти визначати точку, яка розділяє проміжки зміни фактора з істотно різними швидкостями залежності результату від цього фактору. Для цього потрібно дати строге означення точки (будемо називати її точкою оптимуму двозонної кривої), яка поділяє двозонну криву на дві частини з суттєво різними властивостями та запропонувати метод визначення її положення.

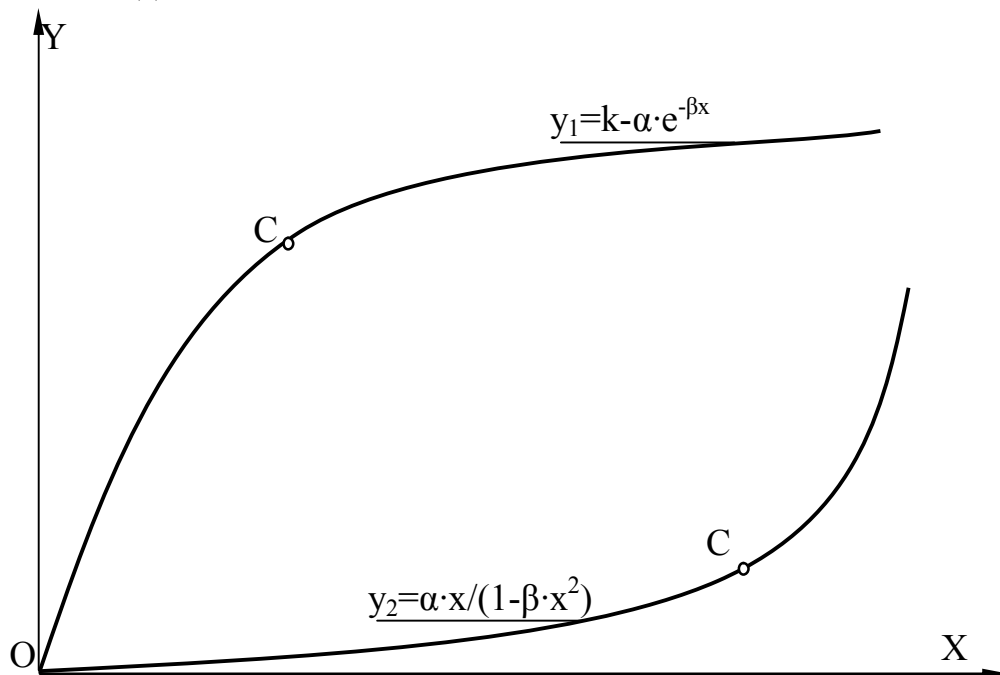


Рис. 5.4 – Типові графіки двозонних кривих

Для означення точки оптимуму розглянемо «ідеальну» двозонну криву, яка представляє собою дволанкову ламану. Очевидно, що для неї точкою оптимуму буде

кутова точка. Для довільної двозонної кривої розглянемо множину дволанкових ламаних, вписаних в цю криву. Тобто таких ламаних, початок і кінець яких співпадає з початком і кінцем цієї кривої, а кутова точка лежить на цій кривій.

Точкою оптимуму двозонної кривої будемо називати кутову точку дволанкової ламаної, яка найкращим чином наближає задану криву.

Нам потрібно визначити критерій, який визначає ступень наближення. В якості такого критерію візьмемо відстань між функціями $f(x)$ та $g(x)$, які описують криву та ламану відповідно, в просторі $L[a, b]$:

$$\rho(f, g) = \int_a^b |f(x) - g(x)| dx. \quad (5.7)$$

Іншими словами, ламана тим краще наближає криву, чим менша площа фігури, обмеженої цими лініями.

Безпосереднє використання формули (5.7) для отримання аналітичного виразу для координат точки оптимуму ускладнене, оскільки наявність модулів не дозволяє скористатися апаратом диференціального числення. Але використання інформації про опуклість функції дає можливість спростити міркування.

Для прикладу розглянемо графік функції $f(x)$, яка на заданому кінцевому проміжку $[a, b]$ є опуклою вгору (рис. 5.5).

Розглянемо кінцеві точки кривої $A(a, f(a))$ та $B(b, f(b))$. Позначимо кутову точку ламаної через C . Вона буде мати координати $C(c, f(c))$. Із викладеного вище випливає, що потрібно так обрати точку оптимуму C , щоб площа S фігури, обмеженою кривою ACB та ламаною ACB була мінімальна.

Зрозуміло, що для фіксованої кривої величина S буде залежати тільки від положення точки C , тобто $S = S(c)$. В силу опуклості кривої ACB матимемо, що ламана лежить під кривою, а, отже S дорівнює різниці площ, обмежених кривою та ламаною.

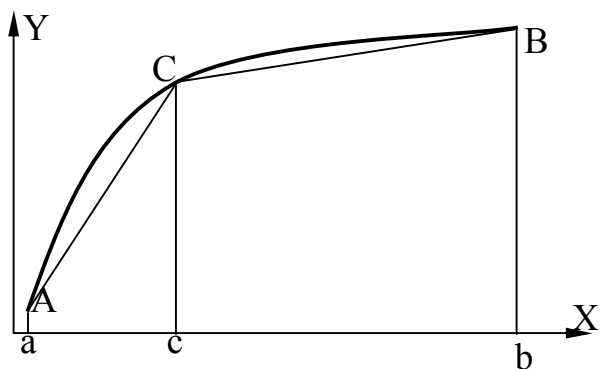


Рис. 5.5 – Ламана, вписана в криву

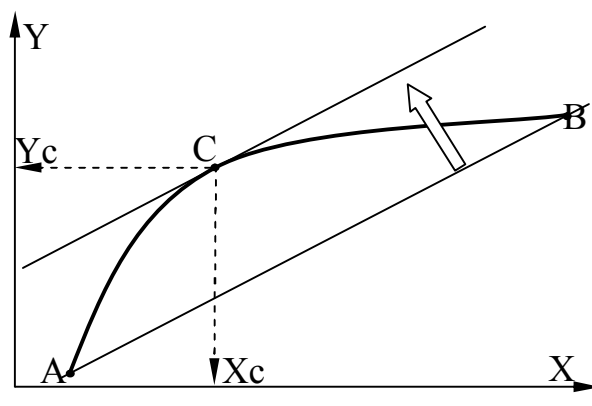


Рис. 5.6 – Графічний метод пошуку точки оптимуму

Площа обмежена кривою, є постійною величиною. Таким чином S буде тим менше, чим більшою буде площа $P(c)$ під ламаною. Отже умову $S(c) \rightarrow \min$ можна замінити еквівалентною умовою

$$P(c) \rightarrow \max. \quad (5.8)$$

Вираз для площі $P(c)$ можна записати явно, оскільки розглянута фігура складається з двох трапецій:

$$P(c) = \frac{f(a) + f(c)}{2}(c - a) + \frac{f(c) + f(b)}{2}(b - c). \quad (5.9)$$

Для знаходження максимуму $P(c)$ розв'яжемо рівняння $P'(c) = 0$. Оскільки

$$2P'(c) = f'(c)(b - a) + f(a) - f(b),$$

то абсциса C точки оптимуму C визначається із умови

$$f'(c) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}. \quad (5.10)$$

Зауважимо, що для диференційованих функцій точка, визначена умовою (5.10) обов'язково існує в силу теореми Лагранжа. Майже ті ж самі міркування будуть правильними, якщо будемо розглядати функцію, опуклу вниз. Тільки нам буде потрібно шукати не максимум, а мінімум функції $P(c)$. Умова (5.10), як необхідна умова екстремуму, буде мати місце і в цьому випадку.

Графічна інтерпретація умови (5.10) полягає в наступному. Точка C є оптимумом в означеному сенсі тоді і тільки тоді, коли дотична до неї паралельна відрізку AB (рис. 5.6). Це дає можливість досить просто визначати координати шуканої точки C безпосередньо з графіка функції. Для цього слід взяти лінійку, прикласти її до точок A і B і рухати паралельно уверх до тих пір, поки над нею не залишиться єдина точка дуги ACB (рис. 5.6).

Цілком зрозуміло, що вираз (5.10) можна використовувати для аналітичного визначення положення (координат) точки C . В якості прикладу розглянемо функцію

$$y = \frac{\alpha x}{1 - \beta x^2}. \quad (5.11)$$

На рисунку 5.7 зображено її графік на відрізку $[a, b] = [0, 0.5]$ при наступних значеннях параметрів: $\alpha = 0.12$, $\beta = -3$. На кінцях відрізку вона приймає наступні значення: $y(a) = y(0) = 0$, $y(b) = y(0.5) = 0.24$.

Оскільки для функції (5.11) похідна, в загальному вигляді, дорівнює

$$y'(x) = \alpha \frac{1 + \beta x^2}{(1 - \beta x^2)^2},$$

то умова (5.10) при заданих значеннях параметрів представляє собою рівняння

$$0.12 \frac{1 + 3c^2}{(1 - 3c^2)^2} = \frac{0.24}{0.5}.$$

Ми отримали біквдратне рівняння, яке на розглянутому проміжку $[0, 0.5]$ має єдиний корінь $c = 0.37$. На рис. 5.15 показано, що отриманий результат узгоджується з встановленою геометричною інтерпретацією, тобто його можна отримати шляхом зсуву прямої, яка з'єднує кінці кривої.

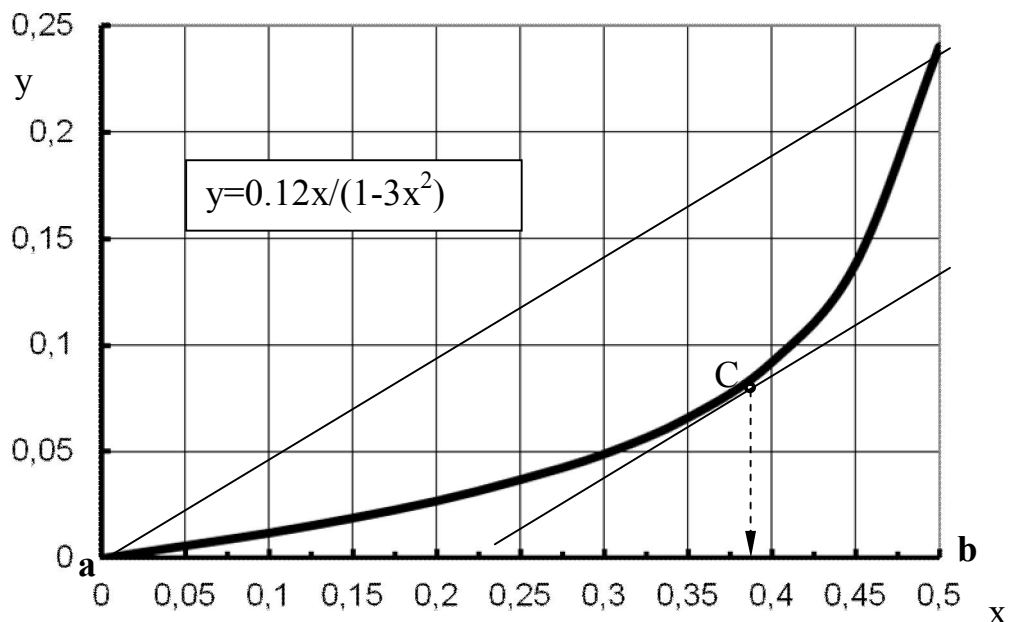


Рис. 5.7 – Практичне визначення координат т. С

Питання для самоперевірки

1. Як використовувати критерій Ірвіна для перевірки дослідних даних на «сумнівність»?
2. Розкажіть суть методики остаціонарювання масиву дослідних даних за середньою значиною.
3. Як перевірити нуль-гіпотезу про рівність/нерівність двох середніх значин двох випадкових процесів?
4. У чому полягає суть методики застосування найменшої істотної різниці для порівняння двох середніх значин випадкових процесів?
5. У чому полягає некоректність застосування похибки вибіркової середньої значини для установлення точності досліду?
6. Як порівнювати між собою дві дисперсії двох випадкових процесів?
7. Розкажіть про особливості методики порівняння трьох і більше дисперсій між собою.
8. Для яких випадкових процесів коефіцієнт варіації не носить фізичного смислу, а тому не може застосовуватися при аналізі?
9. Для чого досліднику потрібні довірчий інтервал і довірна ймовірність?
10. У чому полягає суть методики визначення характеру зв'язку між функцією і аргументом: лінійна чи нелінійна?
11. Що таке індекс детермінації?
12. Суть методики аналізу кривих за відсутності у них оптимуму.

Лекція 6

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1. Прогнозні методи ефективності технічних рішень

6.1.1 Метод короткострокового прогнозування ефективності технічних рішень

Від моменту завершення проектно-конструкторських робіт до початку їх впровадження проходить деякий час, порівнянний з періодом короткострокового прогнозування. Для проведення такого прогнозу підходить метод числових параметрів, в основу якого покладено визначення узагальнених критеріїв:

- технічного рівня (K_1), який характеризує прогнозований об'єкт по відношенню до аналогічних існуючих вітчизняних зразків;
- технічної конкурентоспроможності (K_2), який характеризує прогнозований об'єкт по відношенню до існуючих закордонних зразків.

Дані критерії розраховують із виразів:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^s K_n \cdot \varphi(i)}{\sum_{i=1}^s \varphi(i)};$$

$$K_2 = \frac{\sum_{i=1}^s K_m \cdot \varphi(i)}{\sum_{i=1}^s \varphi(i)};$$

У приведеній вище формулі $\varphi(i)$ – функція, яка нормує вагу відносних параметрів K_n і K_m . Загальне їх число визначається експертом і дорівнює s .

Якщо запропоноване нове технічне рішення по відношенню до існуючих супроводжується зростанням порівнюваних числових параметрів, то

$$K_n = P/P_v;$$

$$K_m = P/P_z;$$

де P – розмірний параметр для прогнозованого об'єкта (продуктивність, металоємкість, енергонасиченість, трудоемкість тощо);

P_v – значина аналогічного параметра для кращих серійних зразків вітчизняного виробництва;

P_z – значина аналогічного параметра для кращих закордонних зразків.

У протилежному випадку

$$K_n = P_v/P;$$

$$K_z = P_z/P.$$

Нормувальну функцію $\varphi(i)$ розраховують по формулі:

$$\varphi(i) = i/2^{i-1}, \\ i = \overline{1, s}.$$

Кількість оцінюваних числових параметрів s залежить від точності прогнозування Δp . Для $\Delta p = 5...10\%$ рекомендовано приймати $s = 7$.

Якщо $K_1 > 1$, то прийнято вважати, що прогнозоване технічне рішення вище рівня кращих вітчизняних зразків, а тому перспективне з позиції короткострокового прогнозування.

При $K_1 = 1$ приймається, що об'єкт виконаний на рівні прототипів і не має суттєвих переваг при оцінці перспективи впровадження його у виробництво.

Якщо ж $K_1 < 1$, то прогнозований об'єкт розроблений нижче рівня кращих вітчизняних зразків, а тому практична реалізація його у виробництво небажана (при відсутності, звичайно, яких-небудь особливих тлумачень).

Технічна конкурентоспроможність об'єкту оцінюється аналогічно.

Для конкретного прикладу розглянемо новий вітчизняний трактор серії ХТЗ-160. Технічний рівень цього енергетичного засобу оцінимо по відношенню до серійного трактора Т-150К.

Після оброблення вибраних оцінюваних числових параметрів встановлено (табл. 6.1), що коефіцієнт технічного рівня ХТЗ-160 (K_1) дорівнює $1,0 \pm 0,47$.

Таблиця 6.1 – Числові параметри порівнюваних енергетичних засобів

Назва параметру та його розмірність	Значина параметру	
	Т-150К	ХТЗ-160
1. Найбільше статичне навантаження на вісь, кН	47,2	46,2
2. Питомі витрати палива на найбільш енергоємній операції, кг/га	16,0	14,1
3. Енергонасиченість, кВт/т	15,2	14,6
4. Номінальне тягове зусилля, кН	32,1	31,4
5. Відношення колії до номінального тягового зусилля, мм/кН	52,3	66,9
6. Відношення радіусу повороту до поздовжньої бази	0,713	0,755
7. Річне завантаження, год.	1700	1770

Як бачимо, згідно з проведенням аналізом за прийнятими числовими параметрами трактор ХТЗ-160 не має суттєвих переваг перед серійним вітчизняним енергетичним засобом Т-150К. Але, трактор ХТЗ-160, окрім того, що може використовуватись на вирощуванні просапних культур, має низку додаткових функціональних можливостей:

- реверсивний пост керування;
- передній навісний механізм;
- передній і задній вали відбору потужності.

А саме ці широкі функціональні властивості і створюють передумови розроблення на його основі таких агрегатів, які неможливі на базі серійного вітчизняного енергетичного засобу Т-150К.

Враховуючи вищевикладене, можна прогнозувати, що трактор ХТЗ-160 знайде застосування в господарствах України, а тому його виробництво необхідне.

6.1.2 Метод прямокутної піраміди

У тому випадку, коли ефективність техніко-технологічного або якое іншого рішення оцінюється трьома показниками, доцільно застосовувати метод «прямокутної піраміди». При цьому бажано, щоб ці показники були одного векторного спрямування. Тобто, ефективність оцінюваного рішення вища, коли вони або усі зростають, або зменшуються.

Нехай, наприклад, ефективність орного агрегату (E_a) оцінюється питомими витратами пального – P_1 , праці – P_2 і металомісткості – P_3 . Кожен із цих показників у прийнятому відповідному масштабі відкладемо на взаємно перпендикулярних осях системи OXYZ (рис. 6.1).

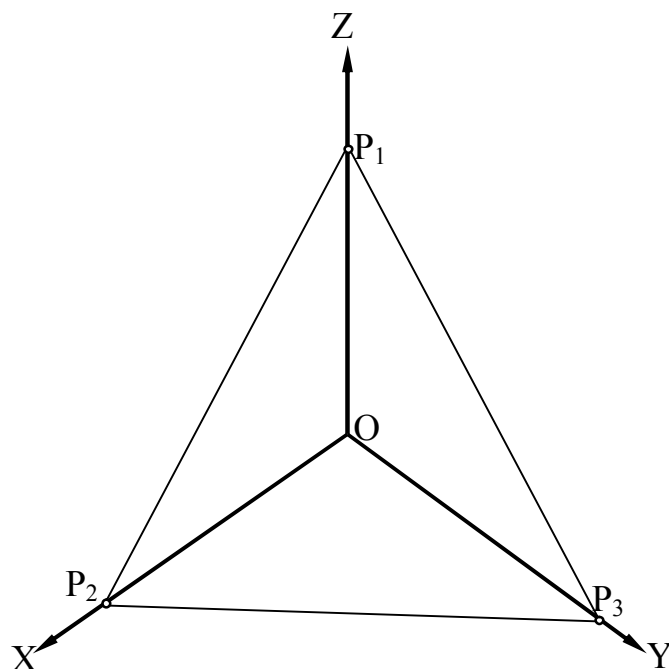


Рис. 6.1 – Графічна інтерпретація методу «прямокутної піраміди»

В результаті утвориться прямокутна піраміда $OP_1P_2P_3$. Серед кількох варіантів орного МТА із різними показниками P_1 , P_2 і P_3 той буде найбільш ефективним, у якого об'єм прямокутної піраміди $OP_1P_2P_3$ виявиться найменшим.

Для розрахунку об'єму прямокутної піраміди, який асоціюється із оцінюваною ефективністю орного агрегату E_a , застосовують наступну формулу:

$$E_a = \frac{1}{6} \cdot \begin{vmatrix} P_1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & P_2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & P_3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

У розглянутому прикладі ефективність технічного рішення (тобто орного машинно-тракторного агрегату) тим вища, чим менші значини показників P_1 , P_2 і P_3 . Якщо ж підвищення ефекту обумовлюється зростанням останніх, то найкращим буде той варіант технічного рішення, для якого об'єм прямокутної піраміди $OP_1P_2P_3$ виявиться найбільшим.

6.2. Експлуатаційно-технологічна оцінка ефективності використання техніки

На заключному етапі випробувань прийнято здійснювати оцінку експлуатаційних властивостей техніки, які характеризують її здатність виконувати технологічний процес в межах агротехнічного строку з оптимальною продуктивністю і заданою якістю та мінімальними втратами часу робочої зміни.

Основним елементом цього процесу є *хронографія* – тобто реєстрація переліку та тривалості усіх операцій роботи техніки у хронологічному порядку. За відсутності спеціального автохронографічного приладу вказану реєстрацію здійснює спостерігач. На протязі трьох контрольних змін загальною їх тривалістю не менше 18 год він фіксує:

- умови і режим роботи техніки;
- тривалість елементів часу зміни;
- витрати пального та технологічних матеріалів;
- об'єм виконаної роботи.

Отримана при цьому інформація використовується для розрахунку:

- продуктивності роботи техніки;
- питомих витрат пального та технологічних матеріалів;
- питомих витрат праці;
- експлуатаційно-технологічних коефіцієнтів.

Методика проведення експлуатаційно-технологічної оцінки у повному обсязі викладена у додатку Д.

Результати цієї оцінки використовуються при розрахунках економічної ефективності техніки, про що мова йтиме у наступному параграфі. Крім того, їх наявність є прямим доказом технічної здійсненності того чи іншого технічного рішення. Величина коефіцієнта надійності технологічного процесу, а також наробітки у мото-годинах на одну технічну і технологічну відмови, які визначаються на основі аналізу хронографічних даних, відповідним чином репрезентують якість і надійність роботи техніки.

6.3. Методи економічного оцінювання ефективності застосування наукових розробок

Одним із основних показників ефективності використання с.-г. техніки є сукупні витрати (П) на одиницю виконаної роботи. Згідно з ДСТУ 4397:2005 «Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань» вони складаються із суми прямих експлуатаційних витрат (Е) та помножених на ставку пільгового кредиту НБУ (C_k) питомих інвестиційних вкладень (K_n):

$$П = Е + C_k \cdot K_n / 100.$$

В свою чергу, прямі експлуатаційні витрати – це сума наступних складових:

$$Е = З + А + Р + Г + М + Ф,$$

де $З$ – заробітна платня обслуговуючого персоналу;

$А$ – витрати на амортизацію;

Р – витрати на ремонти і технічне обслуговування;

Г – витрати на паливно-мастильні матеріали (ПММ);

М – витрати на допоміжні матеріали;

Ф – витрати на монтування, зберігання та страхування техніки.

Методика розрахунку кожної із цих складових повністю викладена у ДСТУ 4397:2005.

При проведенні порівняльного аналізу у навчальних цілях двох або більше машин сукупні витрати для кожної із них можуть бути розраховані із наступного виразу:

У цій формулі прийняті наступні позначення:

- L_i – кількість і-ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини (визначаються за даними випробувань), люд;
- t_i – тривалість зайнятості і-го виробничого персоналу, год;
- r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці на і-му виді робіт, грн /люд·год;
- $W_{зм}$, $W_{ек}$ – змінна і експлуатаційна продуктивності роботи МТА, га (т)/год;
- Б – балансова вартість машини, грн;
- а – коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини. Визначають за допомогою прямолінійного методу нарахування амортизації, тобто $a = 1 / T$, де Т – термін служби машини в роках;
- T_z , T_n – зональне і нормативне річне завантаження машини, год;
- r_T – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та ТО;
- r_K – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;
- q_i – питомі витрати пального (електроенергії), кг (кВт·год)/ га (т);
- Ц_і – ціна одного кілограма пального (однієї кіловат-години електроенергії), грн/кг (грн/ кВт·год);
- $Z_{пi}$ – затрати праці і-ої категорії працівників на доскладання та монтування машини, люд.-год;
- Ц_д – вартість матеріалів, які використані на доскладанні та монтуванні

машини, грн;

- S_3 – річні витрати на зберігання та страхування машини, грн.

Знайшовши сукупні витрати, річний економічний ефект від експлуатації нової машини у розрахунку на річний обсяг її робіт у господарстві (E_p , грн) визначають за формулою:

$$E_p = (П_б - П_н) + E_{як},$$

де $П_б, П_н$ – сукупні витрати на виконання річного обсягу робіт у господарстві відповідно базовою та новою машиною, грн;

$E_{як}$ – річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції в результаті експлуатації нової машини, грн.

Як показує практика, у багатьох випадках величину $E_{як}$ визначити дуже складно. Наприклад, установлено, що застосування 12-и рядної просапної сівалки замість серійної 8-и рядної дозволяє зменшити тривалість сівби тієї чи іншої просапної культури. В кінцевому рахунку, як відомо, це позитивно відбивається на її урожайності.

Водночас, конкретне оцінювання річного економічного ефекту, одержаного від зміни кількості продукції (у даному випадку – урожайності с.-г. культури) є досить проблематичним. У зв'язку з цим річний економічний ефект від впровадження нової сівалки оцінюють без урахування величини $E_{як}$, не виправдано зменшуючи при цьому рівень ефективності нового технічного рішення.

Другим важливим показником ефективності використання тієї чи іншої машини є питомі витрати праці ($З_п$). Для їх визначення використовують формулу:

$$З_п = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{W_{ек}}.$$

Із цього виразу бачимо, що для зменшення питомих витрат праці слід збільшувати продуктивність роботи розроблюваної техніки.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає суть коефіцієнтів технічного рівня і технічної конкурентоспроможності нової техніки?
2. Яку роль відіграє нормувальна функція у методі короткострокового прогнозування ефективності технічного рішення?
3. Розкажіть методику оцінки ефективності техніко-технологічного рішення з допомогою методу «прямокутної піраміди».
4. Для чого призначена експлуатаційно-технологічна оцінка техніки?
5. Що таке хронографія технологічного процесу? Як вона проводиться?
6. Які параметри фіксуються спостерігачем у процесі експлуатаційно-технологічної оцінки техніки?

7. Назвіть основні оціночні параметри експлуатаційно-технологічної оцінки випробовуваної техніки.
8. Які складові сукупних витрат обумовлюють їх зменшення, а які – небажане збільшення?
9. Як розрахувати річний економічний ефект і питомі витрати праці від застосування нового технічного рішення (машини, комбайну, МТА тощо).

Лекція 7

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

7.1. Наукова стаття

Результати тієї чи іншої наукової діяльності дослідника тільки тоді мають практичну цінність і значущість, коли вони доведені до відому членів суспільства. Однією із найпоширеніших форм такої діяльності є наукові публікації, які виконують наступні функції:

- оприлюднюють результати наукової роботи автора і сприяють встановленню його пріоритету;
- свідчать про відповідний особистий внесок дослідника в розробку наукової проблеми;
- підтверджують достовірність основних результатів і висновків, новизни і наукового рівня досліджень;
- підтверджують факт апробації та впровадження результатів і висновків наукової роботи;
- відбивають основний зміст наукової роботи;
- фіксують завершення певного етапу дослідження або роботи в цілому;
- забезпечують первинною науковою інформацією суспільство, сповіщають наукове співтовариство про появу нового наукового знання, передають індивідуальний результат у загальне надбання тощо.

Одним із різновидів публікації є *наукова стаття* (додаток Е). Вона відображає проміжні або кінцеві результати наукового дослідження, висвітлює конкретне окреме питання за темою наукової роботи, фіксує науковий пріоритет автора, робить її матеріал надбанням науковців і практиків.

Рукопис статті, як правило, має починатися із зазначення індексу універсального десятикового класифікатора (УДК). Він широко використовується у всьому світі для систематизації різноманітної друкованої продукції із занесенням її у відповідні картотеки. Тому, якщо автор наукової публікації має бажання, аби його твір був затребуваний (цитований, передрукований тощо), до питання коректного визначення індексу УДК слід відноситися досить відповідально. Усю необхідну інформацію щодо цього питання можна отримати на сайті **www.teacode.com**.

Жанр наукової статті вимагає дотримання певних правил. *Назва статті* повинна стисло відбивати її головну ідею, думку і має бути якомога коротшою.

Іншим важливим кроком при оформленні наукової статті є формулювання *анотації*. Загальний її обсяг має становити 120...200 слів. Згідно із вимогами багатьох закордонних видань бажано, щоб текст анотації мав свої рубрики.

Кожна стаття починається із *вступу*, у якому висвітлюється постановка наукової проблеми, її актуальність, зв'язок з найважливішими завданнями державного та регіонального рівнів, значення для розвитку певної галузі науки або практичної діяльності.

Бажано, щоб у вступній частині автор привів короткий аналіз результатів

наукових досліджень попередників, які розглядали подібну проблему. Особливу увагу слід звернути на ті невирішені ними питання, які складають основу власних наукових напрацювань.

Після висвітлення суті проблеми автор у стислій формі формулює *мету статті*. Її зміст повинен розкривати головну ідею даної публікації, яка доповнює або поглиблює вже відомі підходи. При цьому бажано звернути увагу на уведення до наукового обігу нових рекомендацій, закономірностей або уточнення відомих раніше, але недостатньо вивчених. Читач зможе краще оцінити докази, які будуть викладені автором у науковій статті, якщо він знатиме на досягнення якої мети вони направлені.

Дуже важливою частиною наукового твору є виклад *методики* досліджень. Причому, як експериментальних, так і теоретичних. Достатня повнота матеріалу цієї рубрики дозволяє читачеві оцінити науково-методичний рівень наукового пошуку і достовірність його результатів. Більше того, повнота інформації методичного характеру дає можливість іншим дослідникам порівнювати їх результати із тими, які викладені у науковій статті.

У більшості видань вони подаються під рубрикою *«Результати і обговорення»*. Водночас, багато науковців-початківців основну увагу приділяють лише висвітленню результатів досліджень. При цьому поза їх увагою проходить той факт, що читача найбільше цікавить саме аналіз (тобто обговорення) отриманих даних. Тим більше, коли встановлюються такі нові закономірності, природа яких не є тривіальною і для повного її розуміння потребує від автора ґрунтового, змістовного пояснення.

Квінтесенцією наукової статті є *висновки*, у яких формулюються основні умовиводи автора, зміст пропозицій і рекомендацій, їх значення для теорії і практики, суспільна значущість. У цій рубриці можуть коротко окреслюватися перспективи подальшої наукової роботи у напрямку вирішення розглядуваної проблеми.

Бажано чітко уявляти потенційного читача статті, у зв'язку з чим писати слід спеціального для нього у манері не занадто технічній, але і не абсолютно тривіальній. Краще вживати ординарні слова і прості конструкції. Писати бажано відносно короткими реченнями з урахуванням досить розповсюдженого правила: «Одне-два речення на одну ідею».

Етика наукового спілкування вимагає, аби автор при використанні математичних формул здійснював обов'язкове розшифровування усіх їх складових. У по-деяких випадках – з обов'язковим зазначенням розмірностей. Нумерацію здійснюють лише тих формул, на які є відповідні посилання у тексті статті.

Особливу увагу слід приділяти тому факту, що представлення того чи іншого математичного виразу, результатів дослідження, рекомендацій, цитат тощо без посилання на літературне джерело автоматично декларує пріоритет на них автора наукового твору. Навіть несвідоме запозичення чужих результатів фактично є науковим плагіатом, якого жоден науковець допускати не має права.

Завершує наукову статтю список використаних джерел (література). Більшість вітчизняних видавництв відслідковують наявність у ньому сучасних

наукових робіт. Редакції закордонних журналів, збірників наукових праць тощо особливу увагу звертають на ступінь обізнаності автора статті із результатами досліджень іноземних науковців.

Цілком зрозуміло, що таке питання не може бути проблемним за наявності у науковця відповідної постійно поновлюваної бази даних літературних джерел, про що мова йшла у параграфі 2.2.

Практично кожне наукове видавництво встановлює певний обсяг публікації наукової статті. Найчастіше він обмежується кількістю друкованих сторінок формату А4. Водночас, певні труднощі у авторів виникають при визначенні обсягу праць у таких одиницях обчислення, до яких належать авторський і умовний друкований аркуші.

Авторський аркуш – одиниця обліку друкованого твору, що береться для обрахунку праці авторів, перекладачів, редакторів тощо. Він дорівнює:

- 40 000 друкованих знаків звичайного (прозового) тексту (букв, цифр, розділових знаків тощо);
- приблизно 24 сторінкам машинописного тексту формату А4 з міжстроковим інтервалом 1,5;
- приблизно 16 сторінкам машинописного формату А4 з міжстроковим інтервалом 1,0;
- 3 000 см² ілюстрованого чи рекламного матеріалу.

У основі *умовного друкованого аркушу* (умов. др. арк.) лежить аркуш, отриманий на папері розміром 60х90 см (5400 см²). Якщо авторський аркуш друкується па папері саме такого розміру, то він автоматично дорівнює 1 умов. друк. арк. Наприклад, автореферат дисертації обсягом 20 сторінок з міжстроковим інтервалом 1,0 і шрифтом кеглем 14 віддруковано на папері форматом 60х90/16. У цьому випадку обсяг вказаного документу становитиме $20 \text{ с.} / 16 \text{ с.} = 1,25$ умовних друкованих аркушів

Якби вказаний автореферат був віддрукований на 24 с. з міжстроковим інтервалом 1,5 (кегль шрифту – той же), то його обсяг становив би $20 / 24 = 0,83$ умов. друк. арк.

7.2. Структура наукового реферату і наукових тез

Дослідник часто стикається з необхідністю написання *реферату* – короткого викладу змісту одного або декількох документів з певної тематики.

Обсяг реферату визначається специфікою теми і змістом документів, кількістю відомостей, їх науковою цінністю або практичним значенням. Його обсяг коливається від 500...2500 знаків до 20...24 сторінок.

Є кілька видів рефератів. Науковці найчастіше мають справу з інформативними і розширеними або зведеними рефератами.

Інформативний реферат (додаток К) найповніше розкриває зміст документа, містить основні фактичні та теоретичні відомості. В такому рефераті як правило зазначають:

- мету роботи, об'єкт і предмет дослідження;

- основні результати роботи;
- дані щодо методів і умов дослідження;
- пропозиції автора щодо застосування результатів дослідження;
- основні характеристики нових технологічних процесів, технічних виробів, нова інформація про відомі явища, предмети та ін.

Інформаційний реферат найчастіше розміщують у таких первинних документах, як книги, журнали, збірники наукових праць, звіти про науково-дослідну роботу та ін.

Розширений, або зведений реферат містить відомості про певну кількість опублікованих і неопублікованих документів з однієї теми, викладені у вигляді зв'язного тексту. Приблизною структурою такого реферату є:

ВСТУП.

РОЗДІЛ I Аналіз стану проблеми.

РОЗДІЛ II Перспективи розв'язку проблеми в сучасних умовах.

ВИСНОВКИ.

ЛІТЕРАТУРА.

ДОДАТКИ.

У вступі обґрунтовуються актуальність теми, її особливості, значущість з огляду на соціальні потреби суспільства та розвиток конкретної галузі науки або практичної діяльності.

У розділі I наводяться основні теоретичні і експериментальні дослідження з теми, зазначається, хто з науковців минулого вивчав дану проблему, які ідеї висловлював. Визначаються сутність (основний зміст) проблеми, основні чинники (фактори, обставини), що зумовлюють розвиток явища або процесу, який вивчається. Наводиться перелік основних змістових аспектів проблеми, які розглядалися вченими. Визначаються недостатньо досліджені питання, з'ясовуються причини їх слабкої розробленості.

У розділі II дається поглиблений аналіз сучасного стану процесу або явища, тлумачення основних поглядів і позицій щодо проблеми. Особлива увага приділяється виявленню нових ідей та гіпотез, експериментальним даним, новим методикам, оригінальним підходам до вивчення проблеми. У цьому розділі подається аналіз практичних питань, висловлюються власні думки щодо перспектив розвитку проблеми.

У висновках подаються узагальнені умовиводи, ідеї, думки, оцінки, пропозиції науковця.

До списку літератури включають публікації переважно останніх 5...10 років. Особливу цінність мають роботи останнього року.

У додатках наводяться формули, таблиці, схеми, якщо вони суттєво полегшують розуміння роботи.

Обсяг розширеного реферату – 20...25 сторінок.

Тезами називають послідовно сформульовані дослідником (або групою дослідників) основні ідеї, думки та положення наукової доповіді, повідомлення, статті або іншої наукової праці (додаток Л).

Рекомендований обсяг тез наукової доповіді – 1...3 сторінки формату А4 машинописного тексту через 1,0 – 1,5 інтервали.

Схематично структура тез наукової доповіді може мати такий вигляд:

- теза (її суть);
- обґрунтування;
- доказ;
- аргумент;
- результат;
- перспективи.

Посилання на джерела, цитати в тезах доповіді використовуються рідко. Допускається опускати цифровий, фактичний матеріал. Проте іноді саме його наявність дозволяє значно краще розкрити суть того проблемного питання, яке розглядається у тезах.

Формулювання кожної тези починається з нового рядка. Кожна теза містить самостійну думку, що висловлюється в одному або кількох реченнях. Виклад суті ідеї чи положення може здійснюватися без наведення конкретних прикладів.

7.3. Доповідь на науковій конференції

Найбільш поширеною формою усного оприлюднення наукових результатів є *доповідь* – виступ науковця, у якому викладаються певні питання, даються висновки, пропозиції. Структура тексту доповіді практично аналогічна плану наукової статті. Але є і свої особливості.

По-перше, доповідач, як правило, обмежений у часі. Зазвичай він не перевищує 30 хвилин. У зв'язку з цим науковець повинен так побудувати свій виступ, щоб за тривалістю він не виходив за межі регламенту. Більше того, краще викласти матеріал так оперативно, щоб залишилося кілька хвилин на непередбачені запитання збоку аудиторії.

Для кращої побудови доповідь доцільно викласти її зміст на папері. При цьому слід мати на увазі, що за 10 хвилин людина може у середньому прочитати матеріал, надрукований на чотирьох – п'яти сторінках машинописного тексту.

По-друге, під час доповіді бажано використовувати мультимедійний супровід. Краще, коли він створений у загальновідомому і популярному програмному середовищі PowerPoint.

При розробленні електронної версії доповіді слід уникати використання таблиць із великою кількістю даних. В цьому випадку слайд із-за малого шрифту тексту практично не сприймається візуально. Рисунки чи схеми повинні бути змістовними, але не перенасичені дрібними деталями.

По-третє, практично кожен слайд доповіді повинен ґрунтовно коментуватися доповідачем. Просте демонстрування отриманих результатів наукових досліджень без їх інтерпретування – ознака невідповідності науковця.

Якість коментування слайдів доповіді залежить від умінь доповідача чітко і професійно правильно будувати свої речення. Говорити слід голосно і не поспішаючи. Одним із варіантів практичного відпрацювання цього питання є прослуховування науковцем своєї доповіді, записаної на диктофон.

Завершуватися доповідь має конкретними і лаконічно сформульованими висновками.

7.4. Структура звіту про результати наукових досліджень

Звіти про науково-дослідну роботу оформляються згідно ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки» (додаток М, [1]).

Звіт умовно поділяють на:

- вступну частину;
- основну частину;
- додатки.

Вступна частина включає:

- титульний аркуш;
- список авторів;
- реферат;
- зміст;
- перелік умовних позначень (за потреби);
- вступ.

Особливу увагу слід приділяти списку авторів. По великому рахунку цей аркуш носить юридично-правовий підтекст, оскільки він встановлює права кожного із виконавців на відповідний результат роботи. Саме тому за кожним із авторів треба **обов'язково** зазначити виконаний ним об'єм роботи. Обмежуватися одним лише списком виконавців, що останнім часом досить часто має місце на практиці, – не можна.

Не менш важливим документом є реферат звіту. Він має бути стислим, водночас із цим – інформативним і містити відомості, які дозволяють прийняти рішення про доцільність читання всього звіту. Бажано, щоб реферат уміщався на одні сторінці формату А4. Приклад написання інформативного реферату приведено у додатку F, [1].

Основна частина звіту повинна починатися з викладення програмних питань досліджень. Причому, формулюватися вони повинні у вигляді задач дослідження, а не носити форму пунктів календарного плану роботи. Наприклад: «Дослідити вплив швидкості руху орного агрегату на глибину оранки» – це питання програми досліджень. А вираз «Виготовлення макетного зразка фронтального плуга» – це виключно пункт календарного плану і до програмних питань досліджень його віднести не можна.

Далі може викладатися мета, об'єкт і процес дослідження. Тут же бажано привести опис тих фізичних об'єктів, які використовуються у дослідженнях.

Особливо відповідально слід відноситися до викладання методики дослідження. Остання приводиться окремо для кожного пункту програми досліджень і інформує читача про використання прилади і обладнання, вимірні параметри, методику здійснення того чи іншого виміру, методику оброблення даних і їх відображення у звіті.

Закінчується основна частина звіту висновками, які ні в якому разі не повинні носити анотаційну форму.

За наявності і потреби в кінці звіту розміщують додатки, вимоги до оформлення яких викладено в ДСТУ 3008-95.

7.5. Структура звіту про патентні дослідження

З 1 січня 1998 р. в Україні набув чинності державний стандарт ДСТУ 3575-97 «Патентні дослідження. Основні положення та порядок проведення», який установлює основні вимоги до проведення й форми звіту про патентний пошук.

Проведення таких досліджень здійснюється на основі отриманого завдання, регламенту і довідки про пошук (додаток Н).

Основна задача, на вирішення якої направлений патентний пошук – визначення об'єкта господарської діяльності (ОГД). Ним можуть бути технічні рішення, способи тощо.

У цілому звіт включає 2 розділи (додаток Н). Перший із них направлений на визначення патентоспроможності ОГД. В ньому викладається патентна інформація, відібрана для подальшого аналізу.

Другий розділ присвячується аналізу документів-аналогів щодо можливості промислового застосування ОГД.

Завершується звіт висновками і пропозиціями, які враховуються при визначенні подальших напрямків проведення наукових досліджень.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть, які функції виконують наукові публікації?
2. З якою метою у статті проставляється індекс УДК? Для чого він потрібен і як його визначити?
3. Наявність яких рубрик бажана у науковій статті?
4. З якою метою у науковій статті подається анотація та ключові слова?
5. Розкрийте приблизну структуру інформативного реферату, для чого він потрібен і коли вживається?
6. Як має бути побудована доповідь на науковій конференції?
7. Якою має бути структура звіту про наукові дослідження?
8. Для чого проводиться патентний пошук?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

Бхаттачарджи А., Ситник Н. Методологія та організація наукових досліджень: дослідження в соціально-економічних науках : навчальний посібник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. 173 с.

Вакуленко В. Л., Боярчук С. В. Ключові аспекти академічної доброчесності: запобігання плагіату. *Гуманітарні студії: педагогіка, психологія, філософія*. 2022. Вип. 13 (4). С. 26-34. DOI: [https://doi.org/10.31548/hspedagog13\(4\).2022.26-34](https://doi.org/10.31548/hspedagog13(4).2022.26-34)

Данильян О. Г., Дзьобань О. П. Методологія наукових досліджень : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Харків: Право, 2023. 488 с.

Костін Ю. Д., Полозова Т. В., Шейко І. А., Костін Д. Ю. Теорія і методологія наукових досліджень : навчальний посібник. Харків : ХНУРЕ, 2021. 152 с.

Методологія наукових досліджень : навчальний посібник / за ред. В. П. Горина. Тернопіль : ФОП Осадца Ю. В., 2023. 170 с.

Методологічне та інструментальне забезпечення наукових досліджень: навчальний посібник / В. Г. Бодров та ін. Ірпінь : Університет ДФС України, 2020. 323 с.

Носачова Ю., Іваненко О., Радовенчик Я. Основи наукових досліджень. Київ : Кондор, 2020. 132 с

Самсонов В., Сільвестров А., Тачиніна О. Методологія наукових досліджень та приклади її використання: навчальний посібник. Київ : НУХТ, 2022. 385 с.

Тверезовська Н. Т., Сидоренко В. К. Методологія педагогічного дослідження : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури. 2020. 440 с.

Додаткова

Бабайлов В. К. Методологія наукових досліджень : навч. посіб. Харків : Бровін О. В., 2019. 148 с.

Дубницький В. І., Науменко Н. Ю., Федулова С. О. Методологія наукових досліджень в інформаційній економіці : навч. посіб. / за ред. Дубинського В. І. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2019. 443 с.

Клименко М. О., Феценко В. П., Вознюк Н. М. Основи та методологія наукових досліджень : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2018. 351 с.

Стрелкова Г. Г., Федосенко М. М., Замулько А. І., Іщенко О. С. Основи наукових досліджень : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 120 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/d1ae877a-3fc0-4875-8846-7c193b8dd727/download>.

Швець С. В., Швець У. С. Основи системного аналізу : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2017. 126 с.

Навчальне видання

МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Частина 1.: Конспект лекцій

Укладачі: **Садовий** Олексій Степанович
Суковіцина Ірина Миколаївна

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 4,5,.
Тираж 20 прим. Зам. № ____.

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.