

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В.Т. Надикто



ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мелітополь – 2015

УДК 001.891
ББК 72

Надикто В.Т.

Основи наукових досліджень / В.Т. Надикто. —

Рецензенти: **Адамчук В.В.**, доктор технічних наук, професор,
академік НААН України

Булгаков В.М., доктор технічних наук, професор,
академік НААН України

Дідур В.А., доктор технічних наук, професор,
академік Міжнародної академії аграрної освіти

Рекомендовано до видання у якості підручника рішенням Вченої ради
Таврійського державного агротехнологічного університету
(протокол №6 від 28 грудня 2015 р.)

У підручнику викладено основи організації та проведення наукових досліджень з використанням методологічних підходів, які суттєво доповнюють і розширюють відомі на теперішній час. Визначено стратегію організації наукової діяльності, розкрито роль різновидів моделювання, а також рівня методичної досконалості у становленні дослідника. Викладено нові методи оброблення і аналізу експериментальних даних, висвітлено сучасні підходи щодо апробації результатів наукових досліджень.

Підручник призначений для магістрів, аспірантів і наукових співробітників, які здійснюють свою діяльність як у сільськогосподарській, так і інших галузях народного господарства.

ISBN

© В.Т. Надикто

© Таврійський державний агротехнологічний університет

ВСТУП

Потреба наукового вирішення проблем в тій чи іншій діяльності людини вимагає постійного підвищення рівня її підготовки, творчого підходу до оволодіння знаннями, участі у проведенні наукових досліджень. Серйозна наукова робота формує потрібні якості майбутніх фахівців, розкриває нові шляхи в науці.

Водночас, виконання будь-якої наукової роботи вимагає володіння дослідниками методологічних основ її проведення. А оскільки це практично неможливо реалізувати без якісного освоєння відповідної кількості спеціальних знань, то перед вищою школою, як першою ланкою підготовки наукових кадрів, першочергово стоїть задача навчання магістрів та аспірантів методології наукової діяльності.

Згідно із загальновідомим визначенням *методологія* – це система принципів і засобів організації та побудови науково-практичної діяльності, а також вчення про цю систему. Методологія покликана виконувати наступні функції:

- формувати способи і методи отримання наукових знань;
- визначати напрямок і програму дій, з допомогою яких досягається певна, наперед визначена, науково-дослідницька мета;
- забезпечувати необхідну повноту отримання інформації щодо процесу чи явища, які вивчається;
- поповнювати фонд науки новою науково-практичною інформацією;
- забезпечувати уточнення, збагачення, систематизацію нових термінів і понять у науці тощо.

Звідси зрозуміло, що далеко не кожний дослідник здатний розробити свою власну оригінальну методологію наукового дослідження, яка була б здатна виконувати вищезазначені функції і забезпечувати її розробнику достатню кількість послідовників. З огляду на це значна частина науковців, тим більше – початківців, має використовувати уже апробовані науковою спільнотою методологічні прийоми для досягнення певних творчих результатів.

Метою викладання даної дисципліни є розвиток у майбутніх фахівців творчого мислення, ознайомлення з існуючими елементами раціонального планування, організації та проведення наукових досліджень, розроблення і випробувань нових технічних засобів, організації дослідницької роботи на виробництві.

Якісне засвоєння читачами матеріалів підручника передбачає наявність у них суми певних базових знань і понять таких предметів, як вища математика, теоретична механіка, теорія ймовірності математична статистика. Стосовно двох останніх дисциплін від читача вимагається розуміння таких понять, як стаціонарність та ергодичність статистично випадкових процесів, середня значина, середнє квадратичне відхилення, дисперсія, коефіцієнт варіації тощо.

Підручник не претендує на виключну повноту знань щодо методології організації і проведення наукової діяльності. Значну частку корисної і необхідної додаткової інформації читач може знайти у рекомендованому цим підручником списку літератури.

Глава 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, світлу, 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 вологи 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, культивування, 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 обробки 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 обробки 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.

Глава 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. Частина 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).

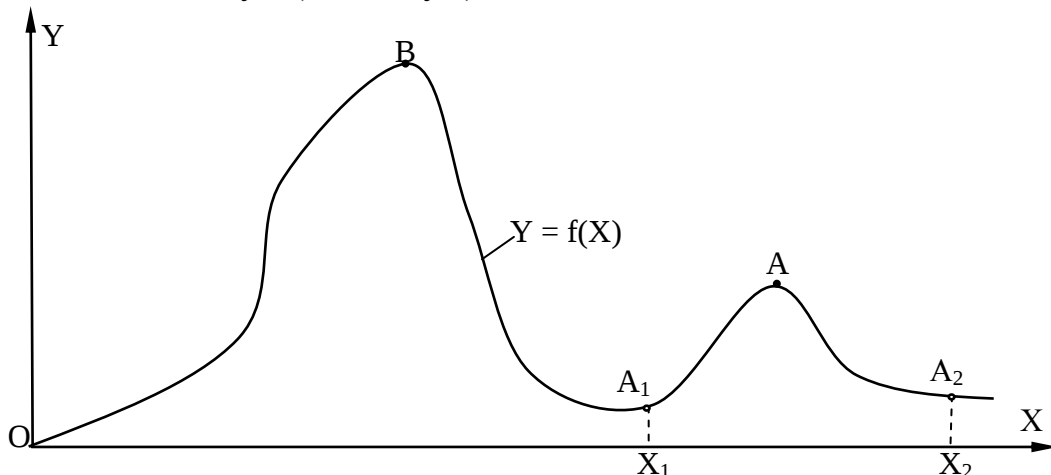


Рис. 2.1 – Графічна інтерпретація досліджуваного процесу $Y = f(X)$

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 B. 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 установлення аргументу X в межах такої значини, яка відповідає глобальному максимуму процесу $Y = f(X)$ (т. B, 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 ($t. B$), 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.

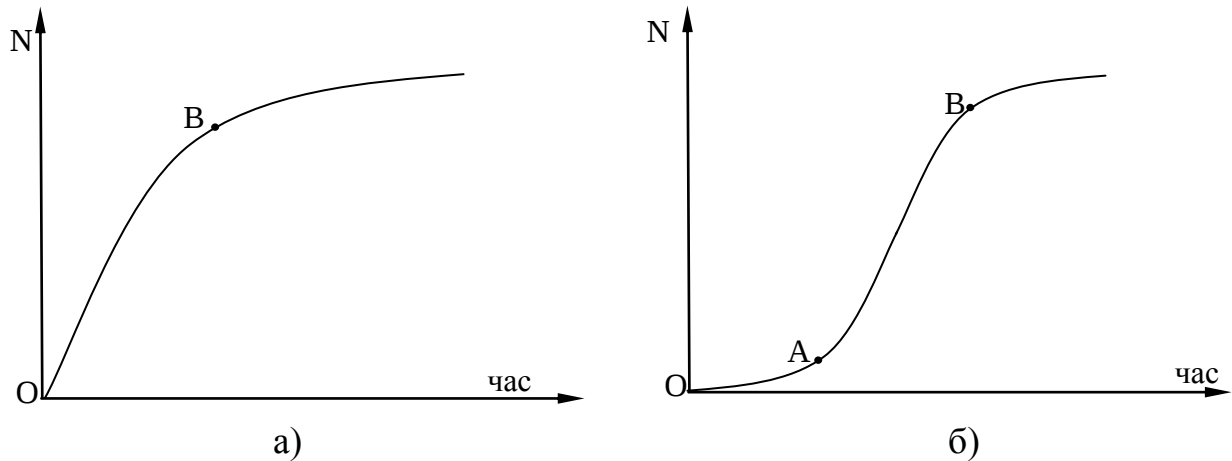


Рис. 2.1 – Геометричні інтерпретації процесів накопичення (N , шт.) літературних джерел

Натомість, інший загальний 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 видавництв, 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 ключо-

вих 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 проведене 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 установалення 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 об'єктом 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, відрізанною 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?

Глава 3

МОДЕЛІ ТА ЇХ РОЛЬ У ПІДГОТОВЦІ ДОСЛІДНИКА

3.1. Види моделювання і їх класифікація¹

Одночасно зі швидким розвитком усіх галузей науки сьогодення характеризується зростанням потреби в інформації, необхідній фахівцеві при вивченні того чи іншого предмету, процесу, явища тощо.

Значний потік нових знань був би катастрофічним для подальшого розвитку людського пізнання, якби разом з розширенням і поглибленням наук все ясніше і ясніше не проявлялись тенденції до їх синтезу і не створювались нові можливості автоматизації, зберігання та передачі інформації.

В основі процесу накопичення останньої лежить органічне поєднання як теоретичних, так і експериментальних досліджень. Причому, чим швидше розвивається теорія і більше отримується наукової інформації, тим більш тоншими і витонченими повинні бути експериментальні методи.

Як і завжди, експеримент є і буде важливим інструментом пізнання. 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.*

Закономірне обґрунтування результатів одиничного явища на широкі групи йому подібних, що дозволяє зробити теорія подібності, вкрай необхідне. Подібність розглядається все у більш широкому плані, коли множина об'єктів об'єднується в групи за доволі складними ознаками, а не тільки згідно з умовами пропорційності подібних величин.

Що стосується моделювання, то воно стає основою для проведення широкого кола експериментів, причому не тільки фізичних, але і математичних та мислених.

Загальна задача теорій подібності і моделювання – *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 зру-

¹ при написанні параграфу використано матеріали роботи [6]

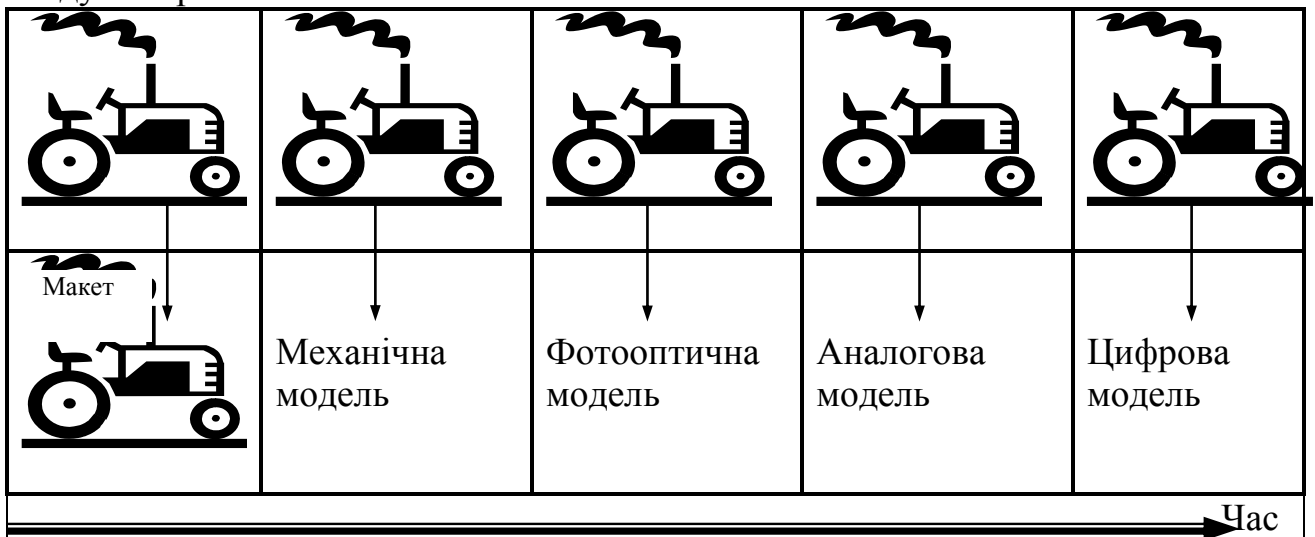
чних для досліджень структур чи схем. Останні, полегшуючи міркування і логічні побудови та дозволяючи проводити експерименти, що уточнюють природу явищ, – називаються *моделями*.

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

В загальнотеоретичному плані моделювання означає здійснення яким-небудь чином відображення чи відтворення дійсності для вивчення притаманних їй об’єктивних закономірностей.

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 певних 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.

Таким чином, подібність та моделювання, що представляють практичний інтерес, можуть бути розділені на 3 способи.

1. Спосіб повного моделювання і повної подібності, за якого забезпечується подібність руху матерії в основних формах її існування (тобто у часі та просторі). Даний спосіб математично характеризується наступним співвідношенням параметрів моделі (X) та оригіналу (Y):

$$X_i = K_i \cdot Y_i,$$

де K_i – масштабний коефіцієнт (у більшості випадків – const);

Y_i – параметри системи або її режиму:

$Y_i = \varphi(Y_1, Y_2, \dots, Y_{k-1}, l_x, l_y, l_z, t)$, причому l_x, l_y, l_z – геометричні розміри; t – час.

2. Спосіб неповного моделювання і подібності, за якого протікання всіх основних процесів подібно лише частково (або у просторі, або у часі).

В першому випадку

$$Y_i = \varphi(Y_1, Y_2, \dots, Y_{k-1}, l_x, l_y, l_z),$$

а у другому

$$Y_i = \varphi(Y_1, Y_2, \dots, Y_{k-1}, t).$$

3. Спосіб наближеного моделювання, пов'язаний з наближеною подібністю, при якому деякі фактори, що мають незначний вплив на протікання вивчає

мого процесу, моделюються приблизно або зовсім не моделюються. Між деякими параметрами систем чи параметрами їх режимів може не існувати при цьому співвідношень подібності:

$$X_i \neq K_i \cdot Y_i,$$

або

$$X_i \approx K_i \cdot Y_i.$$

Це заздалегідь вносить похибку, яка повинна бути оцінена тим чи іншим способом. Слід звернути увагу на те, що:

- наближене моделювання може бути як повним, так і не повним;
- для наближеного моделювання характерно не те, що воно не забезпечує абсолютної подібності з оригіналом, а те, що при його реалізації мають місце свідомо допущені та відповідним чином оцінені похибки, які пов'язані як зі спрощенням фізичних уявлень, так і з відхиленням значин параметрів системи.

Кожний із розглянутих способів подібності і моделювання може бути розділений на три види:

- 1) мислене, ідеально-теоретичне моделювання;
- 2) мислене аналітичне моделювання, при якому використовується та чи інша апаратура для підтвердження своїх постулатів;
- 3) матеріальне, реально-практичне моделювання.

При цьому слід пам'ятати, що другий вид моделювання є проміжним по відношенню до першого та третього.

Розглянуті способи моделювання базуються на використанні якогось допоміжного (проміжного) штучного чи природного об'єкту-моделі, котрому притаманні певні властивості, головними із яких слід вважати:

- певна об'єктивна відповідність вивчаємому об'єкту (оригіналу);
- можливість заміщення оригінала на певних етапах досліджень;
- можливість отримання в результаті проведеного на моделі дослідження певної інформації про оригінал.

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 розуміти любий 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.

Вказані правила в кінцевому рахунку ведуть до вимоги відповідності математичних співвідношень (критеріїв подібності) у моделі та вивчаемого оригіналу.

Вивчення відповідними методами властивостей подібних явищ складають зміст теорії подібності.

Під *явищем* розглядається комплекс *процесів*, які можуть бути описані рівняннями, що зв'язують параметри системи у вибраній системі координат.

Процеси будуть подібні друг до друга, коли існує певна відповідність подібних величин розглядуваних систем: положення точок, геометричних розмірів, параметрів систем та процесів. Взагалі ця відповідність математично описується рівнянням наступного виду:

$$\frac{P_i}{R_i} = m_i,$$

де P_i, R_i – подібні параметри процесів і елементів розглядуваних систем;
 m_i – коефіцієнт (масштаб) подібності параметрів.

На практиці існують повна, неповна та наближена подібності.

Повна подібність – це подібність протікання у часі і в просторі тих процесів, які достатньо повно визначають вивчаєме явище.

Неповна подібність – це подібність протікання процесів тільки у часі чи тільки у просторі.

Наближена подібність (як повна, так і неповна) характеризується спрощеннями, які заздалегідь передбачають наявність оцінюваної тим чи іншим методом похибки.

Подібності у всіх її видах властиві певні загальні закономірності, які достатньо мірою описуються двома теоремами. Обидві установлюють співвідношення між параметрами подібних явищ, не вказуючи при цьому способів реалізації подібності при розробці моделей. Відповідь на це питання дає *третья* (зворотна) теорема. Саме вона визначає умови, необхідні і достатні для того, щоб явища були подібними.

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 перет-

¹ - **idem** – відповідно однаково

ворюватися в критерії другої форми шляхом їх перемноження, ділення, піднесення до ступеню або множення на будь-який 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, при певних умовах може бути представлена у вигляді залежності між складеними із цих величин критеріями подібності:

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

Практичне використання цієї теореми дозволяє здійснити свого роду заміну змінних, скоротивши їх число з m розмірних до $m-k$ ¹ безрозмірних величин, перейшовши, тим самим, до запису рівнянь процесів в критеріальній формі (3.1).

Аналіз цього виразу показує, що один із $m-k$ критеріїв подібності є функцією останніх. Таким чином, число величин, які визначають характер процесу при критеріальній формі запису, зменшується на $k+1$. Незалежних критеріїв залишається $m-k-1$ (в даному випадку $\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{m-k}$). Залежний критерій π_1 , при дотриманні незалежних, – визначається автоматично.

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.

Третя теорема подібності стверджує:

Для подібності явищ повинні бути відповідно однаковими визначальні критерії подібності і подібні умови однозначності.

Під визначальними критеріями мають на увазі такі, що містять параметри процесів та системи, які в даній задачі можна вважати незалежними (наприклад: час, довжина, маса тощо).

Під умовами однозначності розуміють групу параметрів, значини яких (у вигляді чисел чи функціональних залежностей) виділяють конкретне розглядуване явище із множини існуючих даного виду.

Іншими словами суть третьої теореми можна пояснити так:

Подібність любых двох систем може бути створена за умови пропорційності всіх схожих величин, що входять до цих систем, і рівності $(m-k-1)$ критеріїв подібності, визначених згідно з другою теоремою.

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

¹ k – кількість незалежних між собою величин

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 ($m = 4$):

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

Виходячи із аналізу розмірностей цих параметрів, знаходимо, що незалежних¹ із них тільки 3: M , X і t (тобто $k = 3$).

Згідно з π -теоремою в даному випадку можемо мати один ($m - k = 4 - 3 = 1$) і то лише залежний 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.

Визначення критеріїв подібності з допомогою π -теореми передбачає наступний порядок дій:

- 1) визначають кількість m параметрів $P_1, P_2, \dots, P_k, \dots, P_s, \dots, P_m$, які характеризують вивчаємий процес;
- 2) складають функціональну залежність, яка підлягає вивченню;
- 3) вибирають число k незалежних між собою параметрів:
 - складають матрицю розмірностей вибраних k параметрів;
 - перевіряють правильність вибору числа k . Для цього розраховують визначник матриці D , складений із показників ступеню розмірностей ко-

¹ - незалежними є такі параметри, у яких формула розмірності не може бути представлена комбінацією формул розмірностей інших незалежних параметрів.

жної величини. Якщо значина D не дорівнює нулю, то вибрані параметри є дійсно незалежними;

4) складають матрицю розмірностей залежних параметрів;

5) визначають форму запису критеріїв подібності рівняннями виду:

$$\pi_1 = \frac{P_{k+1}}{P_1^{\alpha_{k+1}} \cdot P_2^{\beta_{k+1}} \cdot \dots \cdot P_k^{\gamma_{k+1}}}; \quad \pi_{s-k} = \frac{P_s}{P_1^{\alpha_s} \cdot P_2^{\beta_s} \cdot \dots \cdot P_k^{\gamma_s}}; \quad \pi_{m-k} = \frac{P_m}{P_1^{\alpha_m} \cdot P_2^{\beta_m} \cdot \dots \cdot P_k^{\gamma_m}}; \quad (3.4)$$

6) знаходять значини показників ступеню рівнянь (3.4);

- складають матрицю показників розмірностей усіх параметрів процесу розміром $m \times k$, у якій перші k строчок представлені показниками розмірностей незалежних величин;
- кожному із перших k строчок по чергово замінюють строчкою показників розмірностей залежних параметрів, розраховують визначник отриманої при цьому матриці і його значину ділять на розраховану раніше значину визначника D ;

7) записують критерії подібності.

Розглянемо перераховані вище операції на моделюванні закону руху такого конкретного об'єкту, як математичний маятник. Припустимо, що процес його малих коливань залежить від значин наступних параметрів:

$P_1 = L$ – довжина нитки, на якій підвішена матеріальна точка – [м];

$P_2 = T$ – період коливань [с];

$P_3 = g$ – прискорення вільного падіння [м/с²].

Для кращого розуміння процесу виведення критеріїв подібності вважатимемо, що процес коливань математичного маятника залежить і від маси підвішеної матеріальної точки, тобто

$P_4 = M$ – маса матеріальної точки [кг].

В результаті отримуємо чотири параметри ($m = 4$), які, на наш погляд, і визначають закон руху математичного маятника.

Функціональна залежність, що підлягає вивченню, має вид:

$$\varphi(M, L, T, g) = 0.$$

Виберемо три ($k = 3$) параметри в якості незалежних. Нехай це будуть M , L і T . Складаємо для них матрицю розмірностей:

$$\begin{aligned} [M] &= [M]^1 [L]^0 [T]^0; \\ [L] &= [M]^0 [L]^1 [T]^0; \\ [T] &= [M]^0 [L]^0 [T]^1. \end{aligned}$$

Для перевірки правильності вибору числа незалежних параметрів складаємо матрицю із показників ступеню розмірностей кожної величини, які входять до вказаної матриці і розраховуємо значину її визначника:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 1.$$

Оскільки значина D , як бачимо, відмінна від нуля, то незалежні величини вибрані правильно.

Наступний крок полягає в складанні матриці залежних величин. Такою, в даному випадку, є прискорення вільного падіння:

$$[g] = [M]^0 [L]^1 [T]^{-2}.$$

Згідно з π -теоремою в розглядуваному нами випадку можемо мати лише один ($m-k = 4 - 3 = 1$) залежний критерій подібності, форма запису якого згідно (3.4) має вид:

$$\pi_1 = \frac{[g]}{[M]^\alpha \cdot [L]^\beta \cdot [T]^\gamma}. \quad (3.5)$$

Для знаходження показників ступенів системи (3.5) у відповідності з пунктами 6-го кроку складаємо матрицю показників розмірностей розміром $\mathbf{m} \times \mathbf{k}$:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix}.$$

Для реалізації другого пункту 6-го кроку складаємо 3 визначники, знаходимо їх значини і ділимо на значину визначника D:

$$\alpha = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} / D = 0; \quad \beta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} / D = 1; \quad \gamma = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} / D = -2.$$

Підставивши значини показників ступенів α, β і γ у систему (3.5), отримуємо шуканий критерій подібності:

$$\pi_1 = \frac{g}{L \cdot T^{-2}} = \frac{g \cdot T^2}{L}. \quad (3.6)$$

На практиці закон руху математичного маятника прийнято представляти у вигляді залежності періоду його коливань від інших параметрів.

Таким чином маємо:

$$T = \sqrt{\frac{\pi_1 \cdot L}{g}}.$$

Якщо, згідно з першою теоремою подібності,

$$\pi_1 = \text{idem},$$

то і

$$\pi_0 = (\pi_1)^{1/2} = \text{idem}.$$

В результаті можна записати, що

$$T = \pi_0 \sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (3.6')$$

Із канонів фізичної механіки відомо, що

$$\pi_0 = 2 \cdot \pi,$$

де $\pi = 3,14$.

До речі, аналіз отриманого виразу (3.6') наочно демонструє тривіальну істину про те, що період коливань *математичного маятника* не залежить від маси матеріальної точки. Така залежність притаманна фізичному маятнику.

Застосовуючи модифікацію критерію подібності Ньютона (3.6), можна отримати інші, широко вживані у науковій практиці критерії.

Одним із них є критерій Фруда (F_r). Порядок його значини визначає відношення кінетичної енергії рідини до її прирощення, обумовленого роботою сили ваги на шляху L . Чим більше число Фруда, тим більшою є роль інерції у порівнянні із вагою і навпаки.

Даний критерій можна отримати, якщо чисельник і знаменник виразу (3.6) помножити на прискорення вільного падіння g та здійснити відповідні нескладні перетворення:

$$F_r = \frac{U^2}{g \cdot L} = \text{idem},$$

де U – швидкість потоку рідини, газу, частинки тощо.

Якщо ж чисельник і знаменник виразу (3.6) помножити на величину L , то після відповідних перетворень отримаємо критерій Рейнольдса – R_e :

$$R_e = \frac{U \cdot L}{\nu} = \text{idem},$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, газу.

Цей критерій подібності, як прийнято вважати, визначає режим руху рідкого або газового середовища, а саме: ламінарний чи турбулентний. За природою своєю він визначає співвідношення між силами інерції та силами тертя рухомих рідин чи газів.

З теорії гідроаеромеханіки відомо, що прискорення вільного падіння g можна визначити із наступного виразу:

$$g = \frac{\Delta P \cdot L^2}{m},$$

де ΔP – гідростатичний опір середовища;
 m – маса рідини чи газу.

Якщо тепер цей вираз підставити у критерій (3.6), то після перетворень отримаємо критерій Ейлера (E_e), який характеризує співвідношення сил тиску і сил інерції у подібних потоках рідинного чи газового середовищ:

$$E_e = \frac{\Delta P}{\rho \cdot U^2} = \text{idem},$$

де ρ – щільність газу або рідини.

Коли будь-яку фізичну величину, що входить до критерію подібності, не можна розрахувати або визначити експериментально, то її замінюють результатом перегруповування двох чи кількох інших критеріїв. У підсумку отримують новий, більш складний похідний критерій подібності.

Наприклад, за вільного руху рідини або газу, обумовленому різницею щільностей за рахунок різниці температур, визначеної у різних точках, важко визначити швидкість руху досліджуваного середовища. З огляду на це її виключають шляхом комбінування критеріїв Рейнольдса і Фруда:

$$Ga = \frac{Re^2}{Fr} = \frac{U^2 l^2 \rho^2 g l}{\eta^2 U^2} = \frac{l^3 \rho^2 g}{\eta^2}.$$

Результатом є новий критерій подібності Галілея (Ga), який характеризує співвідношення між силами молекулярного тертя та ваги у подібних потоках.

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:

$$Ns = A \cdot B^W, \quad (3.7)$$

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

A, B – константи апроксимації;

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

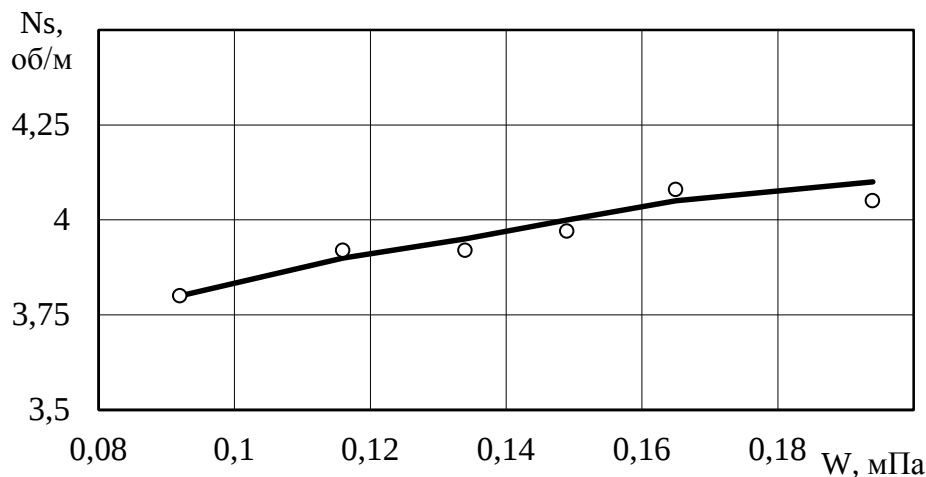


Рис. 3.1 – Залежність значини характеристики синхронного валу відбору потужності трактора від тиску повітря в шинах його задніх коліс

Математичні моделі поділяються на:

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

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, представленої на рис. 3.1 і описаною залежністю (3.7), 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.

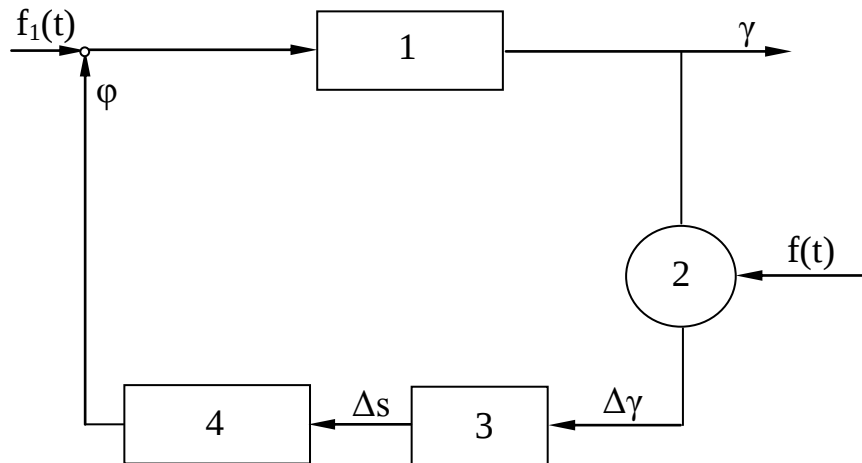


Рис. 3.2 – Функціональна модель САР бурякозбирального комбайну

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.

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.

В *динамічних моделях* змінна часу t може фігурувати у явному виді. Прикладом такої моделі є характер зміни експлуатаційної¹ маси (M_e) машини для внесення мінеральних чи органічних добрив під час робочого руху машинно-тракторного агрегату:

$$M_e = M_0 - k \cdot t, \quad (3.8)$$

¹ - сума конструктивної маси машини та маси завантажених добрив

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

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

Найчастіше типовою формою запису динамічної моделі є відповідне диференціальне рівняння. Наприклад, продиференціювавши ліву та праву частини залежності (3.8), отримаємо:

$$dM_e/dt = -k. \quad (3.9)$$

Згідно з виразом (3.9) темп зменшення експлуатаційної маси машини є величина постійна, а його значина залежить від коефіцієнту k .

Головна особливість *детерміністичної моделі* полягає в тому, щолюбий прогноз (урожайність культур, кількість опадів тощо) вона формує у вигляді числа, а не у вигляді розподілу ймовірностей. В деяких випадках це є прийнятним. Але, коли випадає мати справу з величинами, значину яких завбачити важко (кількість опадів, наприклад), то такий підхід часто бува незадовільним.

Стохастична модель відрізняється тим, що в ній обов'язково присутня одна або декілька випадкових змінних, заданих відповідними законами розподілу. Це дає можливість оцінювати не тільки середню значину оцінюваного параметру, а і його дисперсію.

Чим більш невизначена поведінка системи, тим ефективнішою є стохастична модель. Проте, при її використанні досить часто виникають значні технічні труднощі. Інколи ефективніше попередньо сформулювати і вирішити проблему шляхом використання детерміністичного підходу. Якщо при цьому результати будуть задовільними, то витратити зусилля на розробку складної стохастичної моделі недоцільно.

При підході до розробки тієї чи іншої моделі слід пам'ятати, що:

1. Гіпотези, виражені математично, можуть служити кількісним описом проблеми і тим самим сприяють більш глибокому її розумінню.
2. Математична модель часто підказує спосіб представлення результатів наукових досліджень у формі, зручній для використання на практиці.
3. Завдяки моделі може бути кількісно оцінена економічна ефективність результатів наукових досліджень, що стимулює оперативне впровадження їх у виробництво.
4. Математичне моделювання, з допомогою якого можна отримати відповідь на те чи інше спеціальне питання, а також зробити обґрунтований вибір із ряду альтернативних стратегій, дає можливість скоротити об'єм довготривалих та дорогих експериментальних робіт, виконання яких було б необхідним у разі відсутності відповідних моделей.
5. При дослідженні складних багатокомпонентних об'єктів модель дозволяє об'єднати розрізнені знання стосовно окремих частин такої системи, а також виробити концепцію її поведінки як одного цілого.
6. З допомогою моделі можна вибрати найбільш раціональну стратегію і тактику реалізації дослідницьких програм, забезпечивши при цьому необхідну деталістність вивчення спеціальних питань та кооперування окремих напрямків досліджень.

7. Математична модель – потужний засіб узагальнення різнорідних даних про об'єкт, включаючи інформацію як про минулий (інтерполяція), так і майбутній (екстраполяція) характер його поведінки.

Особливою складністю відрізняються математичні моделі сільськогосподарських (СГА) або машинно-тракторних (МТА). Повторимо, що 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).*

Працюють 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.

Вплив змінних факторів відповідним чином відображається на рівномірності завантаження енергетичних засобів і знарядь, а також на експлуатаційно-технологічних, агротехнічних і енергетичних показниках їх роботи.

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.

В загальному вигляді розрахункова блок-схема СГА/МТА (далі – агрегату) може бути представлена системою (рис. 3.3), на вході якої діють вектори-функції¹ умов роботи F_i і керування U_i .

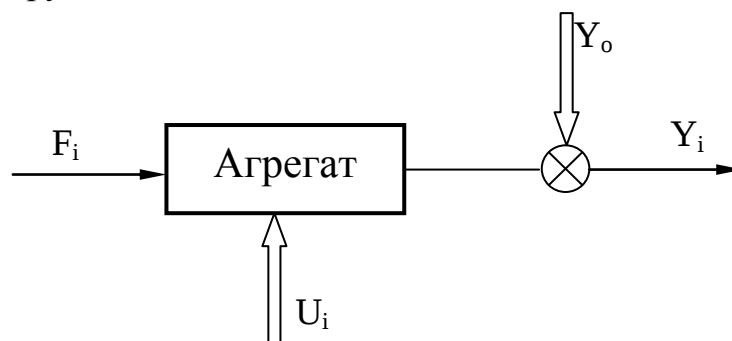


Рис. 3.3 – Блок-схема сільськогосподарського і/або машинно-тракторного агрегату

¹ – даний термін означає, що на вході системи діє n збурювальних і k керуючих впливів, кожен із яких у загальному випадку є функцією часу t або якого-небудь іншого параметру

Вихідні змінні також представляють собою вектор-функцію Y_i . Вона показує як веде себе агрегат в реальних умовах функціонування. Одночасно з цим на вихід системи «Агрегат» поступає вектор-функція Y_o з інформацією про те, як в дійсності вона (система) має працювати.

Відхилення вектора-функції Y_i від вектора Y_o і визначає точність роботи (Е) досліджуваного об'єкта як динамічної системи:

$$E = Y_i - Y_o.$$

Взагалі Y_o можна розглядати як вихідний вектор деякої ідеальної машини, яка забезпечує виконання технологічної операції без помилок ($E = 0$) у відповідності з встановленими агротехнічними, експлуатаційними, техніко-економічними та іншими вимогами.

Число збурювальних (n) і керуючих (k) компонент залежить від типу агрегату, ступеню урахування різних умов роботи і інших факторів. При практичних розрахунках число змінних чинників завжди менше фактично діючих в реальних умовах функціонування динамічної системи. Саме цим, в першу чергу, і відрізняється модель від оригіналу – реальної машини.

Так, наприклад, для орного агрегату в складі трактора і плуга розрахункова схема може бути представлена у вигляді системи, у якій вектор F_i включає амплітуди коливань нерівностей поверхні поля, опору знаряддя, вертикальних реакцій на мостах трактора тощо. Вектор-функцію U_i можуть представляти коливання кута повороту керованих коліс трактора і швидкість його руху, а вектор Y_i – витрати потужності і пального, глибина оранки, траєкторія руху МТА і таке інше.

Найбільш суттєвою особливістю складових вхідного вектора-функції F_i будь-якого СГА/МТА є те, що вони (складові) можуть бути віднесені до категорії випадкових у імовірно-статистичному сенсі. В результаті закономірно випадковими будуть і складові вихідного вектора Y_i . Водночас, інколи ці випадковості несуттєві і ними можна знехтувати, отримавши, тим самим, можливість перейти від складної стохастичної до більш простої детерміністичної моделі. Остання, як відомо, характеризується взаємно-однозначною відповідністю реалізацій вхідних і вихідних процесів.

В реальних умовах експлуатації СГА/МТА є нестационарними динамічними системами. Нестационарності проявляються із-за зміни мас посівних чи посадкових машин, зміни геометрії робочих органів знарядь тощо.

Разом з тим, на етапі конструювання машин та в деяких інших випадках можна прийняти припущення про стаціонарність характеру функціонування розглядуваних динамічних систем. В цьому випадку вважають, що реакція агрегату залежить від тривалості дії вхідного параметру, а не від часу початку його дії.

Друге практично важливе спрощення полягає в заміні реальної динамічної системи її лінійною моделлю, що досягається шляхом представлення зовнішніх впливів у вигляді заданих функцій часу. При цьому передбачається і наявність урівноважених станів, хоча згідно специфіки протікання процесів в реальних польових умовах усталені режими можуть розглядатися тільки як миттєві.

Слід підкреслити, що лінеаризація тієї чи іншої математичної моделі дозволяє в першому наближенні провести теоретичний і експериментальний аналіз ро-

боти агрегату, намітити методику вибору і розрахунку основних його параметрів, накопичити досвід проектування.

В реальній практиці дуже багато одномірних динамічних систем, які функціонують за схемою «вхід-вихід» (див. рис. 3.3). В загальному випадку властивості такої системи можуть бути виражені яким-небудь оператором W , який відтворює природу перетворення нею вхідної величини $x(t)$ у вихідну $y(t)$;

$$y(t) = W[x(t)]. \quad (3.10)$$

Основною особливістю функціонування СГА/МТА як динамічних систем є їх багатомірність, обумовлена не тільки числом врахованих вхідних і вихідних параметрів, а і наявністю взаємозв'язку між ними. Останнє означає, що кожний вхідний параметр одночасно може впливати на декілька вихідних.

Для сільськогосподарських агрегатів придатною моделлю функціонування слід вважати модель з кількома вхідними процесами і одним вихідним компонентом вектора Y_i (технологічним, енергетичним тощо).

У випадку багатомірної динамічної моделі при перетворенні кожного вхідного впливу $x_i(t)$ у вихідну змінну $y_i(t)$ будемо мати відповідний оператор W_i , сукупність яких і визначатиме властивості всієї системи в цілому.

Наприклад, двомірна динамічна модель плуга з двома вхідними впливами: профіль поверхні поля $z(t)$ і твердість ґрунту $R(t)$, та двома вихідними параметрами: гребенистість поверхні оранки $h(t)$ і тяговий опір орного знаряддя $P(t)$, матиме 4 відповідні оператори W_{ij} (рис. 3.4).

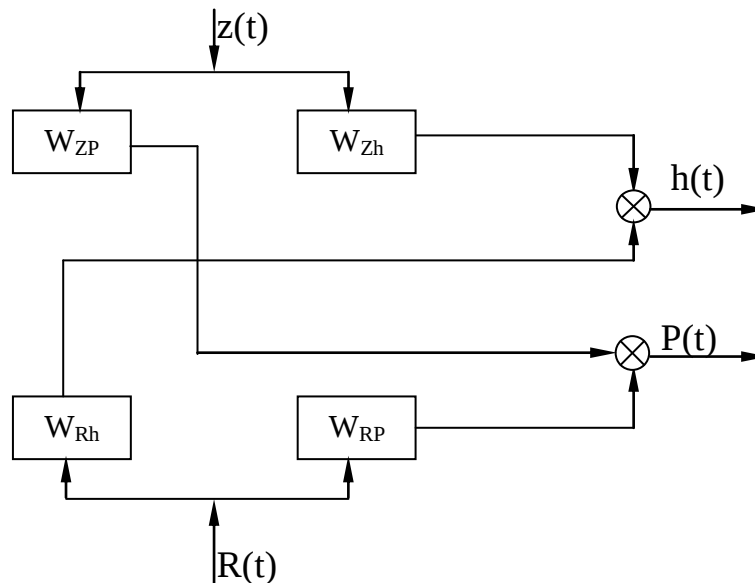


Рис. 3.4 – Схема двохмірної моделі плуга

Гребенистість поверхні оранки $h(t)$ обумовлюється впливами $z(t)$ і $R(t)$, які характеризують ґрунтове середовище. Характер цього впливу виражається операторами W_{Zh} і W_{Rh} .

Аналогічно, тяговий опір плуга $P(t)$ можна розглядати як результат тих же впливів $[z(t)$ і $R(t)]$, але виражених іншими операторами W_{ZP} і W_{RP} .

Виходячи із вищевикладеного, і вважаючи вхідні впливи взаємно некорельованими, можна записати:

$$\begin{aligned}h(t) &= W_{zh}[z(t)] + W_{rh}[R(t)]; \\P(t) &= W_{zp}[z(t)] + W_{rp}[R(t)].\end{aligned}$$

Смисл і зміст кожного оператора обумовлений характером та послідовністю математичних або логічних дій, необхідних для перетворення вхідного впливу на вихідну змінну.

У сільськогосподарських агрегатів, як і любых інших динамічних систем, оператор W_{ij} на стадії проектування може бути визначений із диференціальних рівнянь, які установлюють закономірності руху СГА/МТА чи його складових відносно опорної поверхні або оброблюваного середовища.

В теорії автоматичного регулювання оператор W_{ij} називають передаточною функцією динамічної системи. Крім цієї функції досить важливими є амплітудна (АЧХ) і фазова (ФЧХ) частотні характеристики. Фізична суть їх є такою. Якщо на вхід динамічної системи подати гармонічне збурення з амплітудою A і частотою ω , то на виході системи отримаємо коливання з тією ж частотою, але іншою амплітудою A_1 і фазовим зсувом φ_0 .

Прийнято вважати, що ідеальні АЧХ відтворення слідкуючою динамічною системою керуючого впливу в робочому діапазоні частот його коливань повинні дорівнювати **одиниці**, а ФЧХ – **нулю**.

Натомість, при відтворенні агрегатом зовнішніх збурень ідеальні АЧХ повинні бути рівними **нулю**, а ФЧХ – **прямувати до нескінченності**.

У символній формі запису це виглядає так:

Ідеальні характеристики:

$$\left. \begin{aligned} \text{АЧХ} &= \begin{cases} 1 - \text{керованість руху;} \\ 0 - \text{стійкість руху;} \end{cases} \\ \text{ФЧХ} &= \begin{cases} 0 - \text{керованість руху;} \\ \infty - \text{стійкість руху.} \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

В реальних умовах ідеальні частотні характеристики частіше за все недосяжні. Тобто, дійсні АЧХ і ФЧХ досліджуваної динамічної системи можуть не відповідати вимогам (3.11). Проте, в процесі математичного моделювання її схему та конструктивно-технологічні параметри можна підібрати такими, які забезпечать найкращу наближеність дійсних вказаних характеристик до ідеальних.

Іншими словами, система (3.11) – це той вектор, в напрямку якого слід рухатися під час проведення математичного моделювання.

Отримання АЧХ і ФЧХ будь-якої динамічної системи – процес, в принципі, тривіальний. Для цього необхідно реалізувати наступний алгоритм:

- скласти диференційні рівняння руху динамічної системи;
- перейти від диференціальної до операторної форми запису, тобто здійснити перетворення Лапласа;
- скласти відповідні передаточні функції;
- розрахувати дійсні АЧХ і ФЧХ.

А далі і починається процес математичного моделювання, який полягає у систематизованому підборі (тобто синтезі) такої схеми та параметрів динамічної системи, які забезпечують їй максимальне наближення дійсних АЧХ і ФЧХ до бажаних (ідеальних) у відповідності із вимогами (3.11).

Розглянемо наступний простий приклад. Нехай у процесі робочого руху на динамічну систему – причіпну валкову жнивварку – діють наступні сили (рис. 3.5):

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

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° .

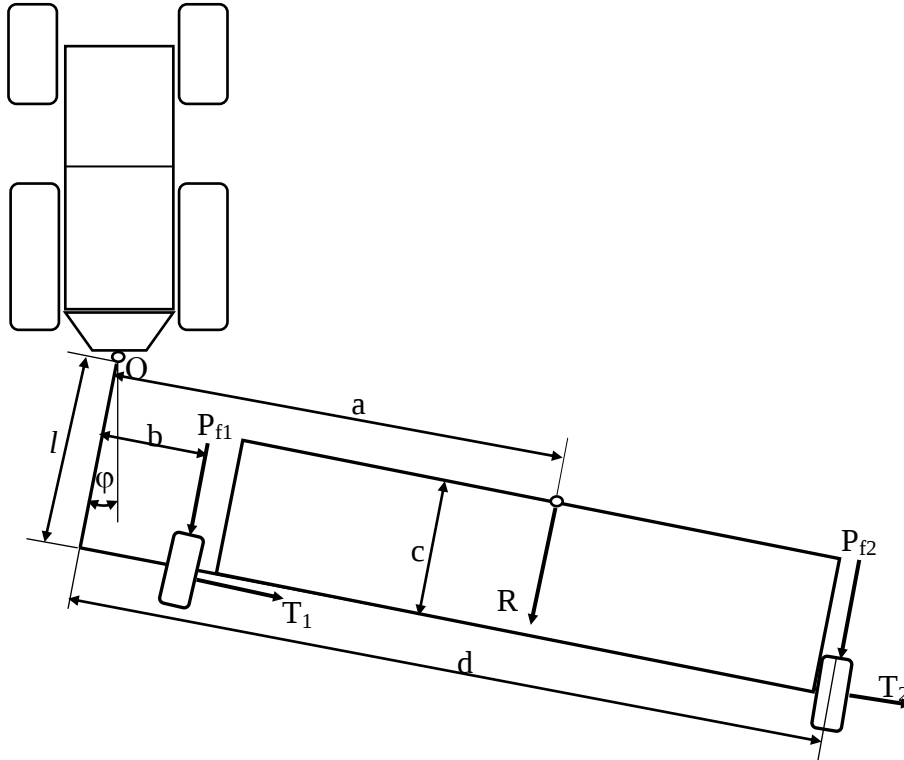


Рис. 3.5 – Схема сил, які діють на причіпну валкову жнивварку

Математично процес коливання кута φ описується наступним рівнянням:

$$J \cdot d\varphi^2/dt^2 = P_{f1} \cdot b + P_{f2} \cdot d + R \cdot a - (T_1 + T_2) \cdot l, \quad (3.12)$$

де J – момент інерції жнивварки при її повороті відносно вертикальної осі, яка проходить через т. О (див. рис. 3.5);

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

Після перетворень диференціальне рівняння (3.12) можна записати так:

$$d\varphi^2/dt^2 = D, \quad (3.13)$$

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

Розв'язком рівняння (3.12) є:

$$\varphi = C_1 \cdot \exp(\sqrt{D} \cdot t) + C_2 \cdot \exp(-\sqrt{D} \cdot t), \quad (3.14)$$

де C_1, C_2 – постійні інтегрування.

Оскільки для більшості сільськогосподарських МТА диференціальні рівняння, що описують характер їх функціонування, значно складніші, ніж (3.12), то отримати їх розв'язок у вигляді (3.14) не завжди вдається.

В цьому випадку простіше користуватись оператором системи $W(s)$, яку прийнято називати передаточною функцією.

Замінивши у виразі (3.13) оператор диференціювання d/dt символом s , після перетворення отримаємо:

$$s^2 \cdot \varphi = D. \quad (3.15)$$

По суті справи рівняння (3.15) описує стійкість руху динамічної системи (причіпної валкової жатки) під впливом певного збурення. Оскільки права частина цього рівняння є сталою величиною, то збурення такої динамічної системи можна розглядати у вигляді одиничної¹ ступінчастої функції $x(t) = 1(t)$, обумовленої зміною тих сил і конструктивних параметрів, які входять до складу коефіцієнта D . З урахуванням цього маємо:

$$s^2 \cdot \varphi = D \cdot 1(t).$$

Приймаючи до уваги залежність (3.10), зв'язок між вихідною змінною φ і вхідним збуренням $1(t)$ в даній одномірній лінійній моделі виразимо так:

$$\varphi = W(s)[1(t)],$$

де

$$W(s) = \frac{D}{s^2}. \quad (3.16)$$

Відмітимо, що рівняння (3.15) і (3.16), на відміну від диференціального (3.12), є суто алгебраїчними. А це значно полегшує їх подальший розв'язок.

З передаточною функцією $W(s)$ тісно зв'язана частотна характеристика $W(i\omega)$, яка відтворює характер функціонування динамічної системи в частотній області. Отримують її безпосередньо із передаточної функції шляхом підстановки

$$s = i\omega,$$

де $i = \sqrt{-1}$;

ω – частота вхідного впливу (в даному випадку збурювального).

Для розглядуваної моделі руху причіпної валкової жатки:

$$W(i\omega) = \frac{D}{-\omega^2}. \quad (3.17)$$

Використовуючи теоретичні положення теорії автоматичного регулювання, із виразу (3.17) шляхом відповідних перетворень знаходимо амплітудну частотну характеристику (АЧХ) даної динамічної системи:

$$АЧХ = D/\omega^2. \quad (3.18)$$

Фазова частотна характеристика (ФЧХ), тобто запізнення реакції динамічної системи на вхідний вплив, в даному випадку є постійною:

$$ФЧХ = -\pi.$$

Суть подальшого математичного моделювання полягає у виборі таких параметрів причіпної валкової жатки, які б забезпечували виконання умов (3.11). Із аналізу виразу (3.18) випливає, що цього можна досягти шляхом зменшення значини коефіцієнта D . Ідеальної АЧХ, яка б дорівнювала нулю, при цьому отримати не можна, а більш-менш близьку до цього – цілком реально.

Зменшення величини D можливе за рахунок (див. вираз 3.13 і рис. 3.5):

- 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 .

¹ суть і природу таких функцій описує курс теорії автоматичного керування [1].

Силу опору стеблового масиву R в даному аналізі не розглядаємо, тому що її зменшення означає збирання зернової культури меншої урожайності. А такий стан нас улаштовувати 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. 5). 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 ($-b$).

Викладений вище алгоритм математичного моделювання можна застосовувати практично для всіх причіпних динамічних систем. Умови (3.11) залишаються при цьому універсальними для динамічних систем будь-якої складності.

3.4. Регресивні 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:

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

де η – параметр процесу, який підлягає оптимізації.

Розглянемо самий загальний випадок, коли розв'язок задачі проводиться при неповному знанні механізму вивчаемого явища. Цілком природно, що аналітичний вираз функції відгуку при цьому невідомий. Тому дослідники вимушені обмежуватись поліномом виду:

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i \leq j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \dots, \quad (3.19)$$

з теоретичними коефіцієнтами регресії $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$.

Завдяки експерименту отримують коефіцієнти b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} , які є оцінками коефіцієнтів $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}$ і β_{ij} . Після цього рівняння (3.19) приймає вид:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \leq j}^k b_{ij} x_i x_j + \dots, \quad (3.20)$$

де $\hat{Y}$ – розрахункова значина параметра 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 Y в математичній моделі (3.20), необхідно враховувати, що він повинен:

- бути кількісним і задавався 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.

Іноколи критерій оптимізації із-за певних технічних труднощів (відсутність необхідних приладів, достовірних методів оцінки тощо) випадає змінювати. У такому випадку можна застосовувати критерії, які дають посередню оцінку. Проте слід пам'ятати, що тоді значно ускладнюється інтерпретація отриманих результатів. Коли є декілька критеріїв оптимізації, то треба розглянути можливість зменшення їх до мінімуму. Якщо ж це не вдається, то слід переформулювати задачу досліджень.

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 установаження 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 установаються 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 напрям до нього.

Припустимо, що в задачі змінюються тільки два фактори – x_1 і x_2 , причому кожний на двох рівнях¹: +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).

¹ - проведення експериментів з кількістю рівнів факторів більшою, ніж 2, – дуже складне, а тому знаходить обмежене застосування на практиці.

Таблиця 3.1 – Рівні факторів

Номер досліду	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 досліду, в якому обидва фактори знаходяться на верхньому рівні; друга строчка – другому досліду, де фактор x₁ приймає значину нижнього рівня, а x₂ – верхнього і т.д.

По результатах чотирьох дослідів, кожний із яких проводиться **m** разів, можна знайти значини коефіцієнтів регресії (3.20), яка для лінійного плану при k = 2 має наступний вид:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3.21)$$

У рівнянні (3.21) коефіцієнт b₀ відображає значину функції відгуку при значенні значин факторів на основному рівні, а коефіцієнт b₁₂ – за парної взаємодії факторів x₁ і x₂ (x₁·x₂).

Методика розрахунку коефіцієнтів поліному типу (3.21) 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 (3.21) 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.

Для кращого сприйняття викладеного вище матеріалу розглянемо наступний практичний приклад. Нині у світовому сільськогосподарському виробництві все більшого розповсюдження набуває збирання зернових колосових культур методом обчісування рослин на корені.

Для зрізання і укладання у валок обчесаних стебел науковцями ТДАТУ запропоновано використовувати шнековий апарат різання. Крайка гвинтового ножа при цьому може бути розташована або в площині витка шнеку, або перпендикулярно їй.

Для вибору кращого варіанту в якості функцій цілі дослідники приймали ступінь зрізання (q_{cp}) та ступінь укладання у валок (q_v) обчесаних рослин. Параметрами, що впливають на ці процеси, розглядались частота обертання шнекового ножа n (фактор x_1) та кут нахилу протирізальних пластин до горизонту α_n (фактор x_2).

Матриця планування експерименту при двох факторах та двох рівнях їх зміни ($2^2 = 4$) мала наступний вид:

Таблиця 3.2 Рівні варіювання факторів

Фактори	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
$n, \text{хв}^{-1}$	600	700	800	100
$\alpha_n, \text{град}$	10	20	30	10

Кодування факторів здійснювали при цьому по формулах:

$$x_1 = \frac{n - 700}{100}; \quad x_2 = \frac{\alpha_n - 20}{10}. \quad (3.22)$$

Кожен із чотирьох дослідів проводили у двохкратній повторності і випадковому їх чередуванні.

Аналіз експериментальних даних показав, що шнековий гвинтовий ніж, у якого крайка розташована перпендикулярно площині гвинта, здатний забезпечити повне зрізання рослин.

Що стосується укладання зрізаних стебел у валок, то воно певним чином залежить від значин величин n і α_n . В результаті обробки даних факторного експерименту був установлений наступний функціональний зв'язок між цими параметрами та функцією мети:

$$q_v = 22,75 + 11,25 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 2 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (3.23)$$

Після підстановки значин кодованих факторів із (3.22) у (3.23) та відповідних перетворень отримана регресійна модель, яка адекватно відображає вплив частоти обертання шнекового ножа та кута нахилу проти різальних пластин на ступінь укладання зрізаних рослин у валок:

$$q_v = 0,0725 \cdot n - 1,1 \cdot \alpha_n + 0,002 \cdot n \cdot \alpha_n - 34. \quad (3.24)$$

Із графічної інтерпретації регресійної моделі (3.24) витікає цілком очевидна наступна закономірність: ступінь впливу змінного параметру n на вихідну величину q_v зростає по мірі збільшення значини параметра α_n . Наприклад (рис. 3.6), зміна n від 600 до 800 хв^{-1} при $\alpha_n = 10^\circ$ збільшує q_v з 10 до 27% (тобто на 17%).

При куті $\alpha_n = 30^\circ$ аналогічна зміна частоти обертання шнекового ножа забезпечує ріст ступеню укладання у валок уже на 27%.

Цілком справедливим є і зворотне тлумачення по відношенню до цих змінних. Так, збільшення кута α_n з 10 до 30° при $n = 600 \text{ хв}^{-1}$ приводить до зростання ступеню укладання зрізаних рослин у валок приблизно на 3%.

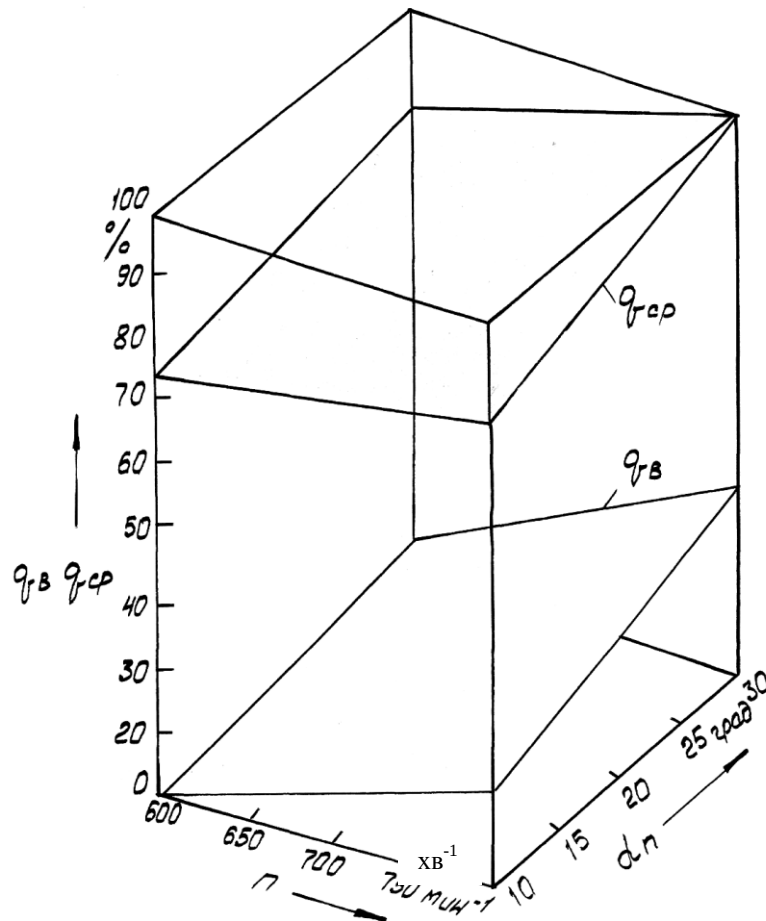


Рис. 3.6 – Графічна інтерпретація регресійних моделей (3.24) і (3.25)

Водночас, при частоті обертання гвинтового ножа 800 хв^{-1} приріст q_v складає уже 13% (від 37 до 40%).

Із приведеного вище аналізу однозначно впливає і те, що частота обертання шнеку (n) здійснює більш суттєвий вплив на якість валкоутворення, ніж кут α_n .

Розглянемо і другу частину аналізу результатів регресійного математичного моделювання. Для пристрою з гвинтовим ножом, крайка якого розташована у площині витка шнеку, ступінь валкоутворення, на відміну від ступеню зрізу, практично не залежить від зміни параметрів n і α_n .

Регресійна математична модель, яка дозволяє оцінити вплив частоти обертання шнека та кута нахилу проти різальних пластин на зрізання стебел, в кодованій формі представляє собою наступний поліном:

$$q_{cp} = 84 + 5,25 \cdot x_1 + 6,25 \cdot x_2 + 3,5 \cdot x_1 \cdot x_2.$$

Кодовані фактори x_1 і x_2 зв'язані зі змінними параметрами n та α_n тими ж залежностями (3.22), що і в попередній моделі. У зв'язку з цим в іменованих величинах дана математична модель виглядає наступним чином:

$$q_{cp} = 83,75 - 0,0175 \cdot n - 1,825 \cdot \alpha_n + 0,0035 \cdot n \cdot \alpha_n. \quad (3.25)$$

Аналіз графічного відображення залежності (3.25) показує, що рівень зрізання рослин шнековим ножом, у якого крайка розташована в площині витка шнеку, змінюється в межах 76...100% (див. рис. 3.6).

Як і в попередньому варіанті, справедливими є такі тлумачення:

1) ступінь впливу одного змінного параметру (n або α_n) на величину q_{cp} збільшується по мірі зростання другого;

2) вплив частоти обертання шнекового ножа на ступінь зрізання рослин більш суттєвий, ніж вплив кута нахилу проти різальних пластин до горизонту.

Слід зазначити, що вихідні величини q_v і q_{cp} змінюються приблизно в рівних діапазонах (30 і 24% відповідно), але на різних рівнях (див. рис. 3.6). У величини q_{cp} він вищий і коливається в межах від 76 до 100%, у той час як величина q_v знаходиться на рівні 10...40%

Викладений вище аналіз результатів лабораторних досліджень дозволяє зробити висновок, що з метою забезпечення прийняттого ступеня зрізання обчесаних рослин і наступного укладання їх у валок, крайка гвинтового ножа шнекового апарату різання повинна розташовуватися паралельно площині витка шнека.

Методи факторного планування експерименту можна застосовувати для отримання регресійних критеріальних рівнянь. Алгоритм такого прийому розглянемо на прикладі процесу колієутворення рушіями колісного трактора.

Відомо, що на глибину ущільнення ґрунту після проходження трактора істотно впливають фізико-механічні властивості першого (тобто ґрунту) і конструктивні параметри другого (трактора). Визначення і аналіз функціональних закономірностей такого впливу методом математичного моделювання передбачають наступний порядок дій:

- визначення j конструктивних параметрів колісного трактора і фізико-механічних характеристик ґрунту, що істотно впливають на процес формування колії по глибині;

- складання матриці розмірностей j вибраних параметрів;
- визначення числа k незалежних між собою параметрів;
- зображення опису вивчаємого явища в критеріальній формі;
- складання виразів для $j-k$ критеріїв подібності;
- визначення виду критеріального рівняння регресії;
- підготовка даних для проведення повного факторного експерименту.

Особливість даного підходу полягає в заміні окремих чинників узагальненими, що не дозволяє задавати крок варіювання критеріїв подібності незалежно від кроку варіювання параметрів, що входять в ці критерії.

Оскільки стосовно нашого завдання важливо, щоб прийняті взаємозалежні чинники були б керованими в умовах практичної експлуатації, то зі всієї їх множини до числа тих, що розглядаються, увійшли:

- вертикальне навантаження колеса трактора (N);
- тиск повітря в шині (P_w);
- твердість (H) ґрунту;
- щільність (ρ) ґрунту.

Враховуючи, що при деформації останнього відбувається переміщення його маси, а також приймаючи до уваги вимоги теорії подібності розмірностей, перераховані чинники доповнили постійною характеристикою поля земного тяжіння – прискоренням вільного падіння g .

Функціональна залежність глибини сліду коліс трактора (H) від прийнятих вхідних параметрів має вигляд:

$$h = f(N, P_w, H, \rho, g) \quad (3.26)$$

У якості базових чинників були узяті, як абсолютно незалежні величини, P_w , ρ і g . По відношенню до системи вимірювань [кг], [м] і [с] розмірність кожного з чинників виразу (3.26) наступна:

$$\begin{aligned} [P_w] &= [\text{кг}] [\text{м}]^{-1} [\text{с}]^{-2} \\ [\rho] &= [\text{кг}] [\text{м}]^{-3} [\text{с}]^0 \\ [g] &= [\text{кг}]^0 [\text{м}] [\text{с}]^{-2} \\ [h] &= [\text{кг}]^0 [\text{м}] [\text{с}]^0 \\ [N] &= [\text{кг}] [\text{м}] [\text{с}]^{-2} \\ [H] &= [\text{кг}] [\text{м}]^{-1} [\text{с}]^{-2} \end{aligned}$$

Для перевірки правильності вибору базових чинників досить розглянути матрицю їх розмірностей:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} = 2$$

Оскільки визначник даної матриці відмінний від нуля, то величини P_w , ρ і g дійсно взаємнонезалежні.

Критерії подібності (π_i) розглядуваної нами системи є такими:

$$\pi_0 = \frac{[h]}{[P_w]^{A_0} [\rho]^{B_0} [g]^{C_0}};$$

$$\pi_1 = \frac{[H]}{[P_w]^{A_1} [\rho]^{B_1} [g]^{C_1}};$$

$$\pi_2 = \frac{[N]}{[P_w]^{A_2} [\rho]^{B_2} [g]^{C_2}}.$$

Після визначення показників ступенів A_i , B_i і C_i , де $i = 0 \dots 2$, функціональна залежність (3.26) остаточно може бути записана у вигляді:

$$h \cdot \rho \cdot g / P_w = f(\pi_1; \pi_2), \quad (3.27)$$

$$\text{де } \pi_1 = H / P_w; \quad \pi_2 = N \cdot \rho^2 \cdot g^2 / P_w^3.$$

Для побудови математичної моделі вивчаємого процесу використовували планування експерименту за схемою 2^2 .

Зміну твердості і щільності ґрунту в шарі 0...15 см (табл. 3.3) здійснювали шляхом застосування культиваторної секції, яку розміщували на передньому навісному пристрої трактора. Глибина обробітку ґрунту цим знаряддям (при середньоквадратичному відхиленні $\pm 2,05$ см і коефіцієнті варіації 14,5%) знаходилася в межах $14,14 \pm 0,17$ см.

Що стосується вертикального навантаження коліс, то його значину змінювали баластуванням переднього моста енергетичного засобу. На момент проведення експериментальних досліджень вологість ґрунту в шарі 0...15 см складала 24,9%.

Таблиця 3.3 – Рівні і інтервали варіювання факторів та критеріїв подібності

Фактори та критерії подібності	Рівні варіювання			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Фактори:				
P_w , м Па	0,10	0,13	0,16	0,03
P , кг/ м ³	1020	1080	1140	60
H , м Па	0,48	0,69	0,90	0,21
N , кН	10,00	10,75	11,5	0,75
Критерії:				
π_1	3	6	9	3
π_2	0,00024	0,00082	0,0014	0,00058

Обробкою експериментальних даних встановлено, що функціональна залежність (3.27) може бути апроксимована лінійним поліномом виду:

$$h \cdot \frac{\rho \cdot g}{P_w} = 0,012 - 0,0006 \cdot \pi_1 + 0,0027 \cdot \pi_2,$$

який після переходу до натуральних змінних набуває наступного вигляду:

$$h = 0,01 \cdot \frac{P_w}{\rho \cdot g} - 0,0002 \cdot \frac{H}{\rho \cdot g} + 4,655 \cdot \frac{N \cdot \rho \cdot g}{P_w^2} \quad (3.28)$$

Аналіз залежності (3.28) показує, що із збільшенням вертикального навантаження коліс трактора характер зміни глибини слідів колії залежить від тиску повітря в шинах. При прийнятій мінімальній його значині величина **h** хоч і зростає інтенсивніше, проте при значно меншій значині і у вужчому діапазоні, ніж при $P_w^{\max}$ (рис. 3.7а).

У останньому випадку також більш значущою є зміна твердості і щільності ґрунту. Оскільки із-за достатньо тісного кореляційного зв'язку між цими чинниками окремих їх вплив на глибину слідів колії визначити досить складно, то в даному аналізі із зміною значини **H** відповідним чином змінювали і значину **p**. В результаті встановлено (рис. 3.7б), що при $P_w^{\min}$ інтенсивність і діапазон зміни **h** приблизно такий же, як і в попередньому варіанті (рис. 3.7а). При максимальному ж тиску повітря в шинах трактора інтенсивність зростання глибини слідів ПТК при зменшенні **H** і **p** значно вища. Вплив вертикального навантаження колеса на вихідний показник (**h**) при цьому зменшується.

Залежність глибини слідів колії від тиску повітря в шинах трактора носить нелінійний характер (рис. 3.7 в). Інтенсивність зміни **h** від варіювання цього чинника практична найвища.

Як впливає із рисунків 3.7а і 3.7б, зниження твердості і щільності ґрунту за рахунок використання передньоनावісної культиваторної секції дозволяє (при $P_w^{\min}$) збільшити глибину слідів колії на 2,5 см.

Що стосується вертикального навантаження на колесо трактора, то за максимального тиску повітря в шинах воно (навантаження) достатньо слабо впливає на зміну глибини слідів колії (рис. 3.7а).

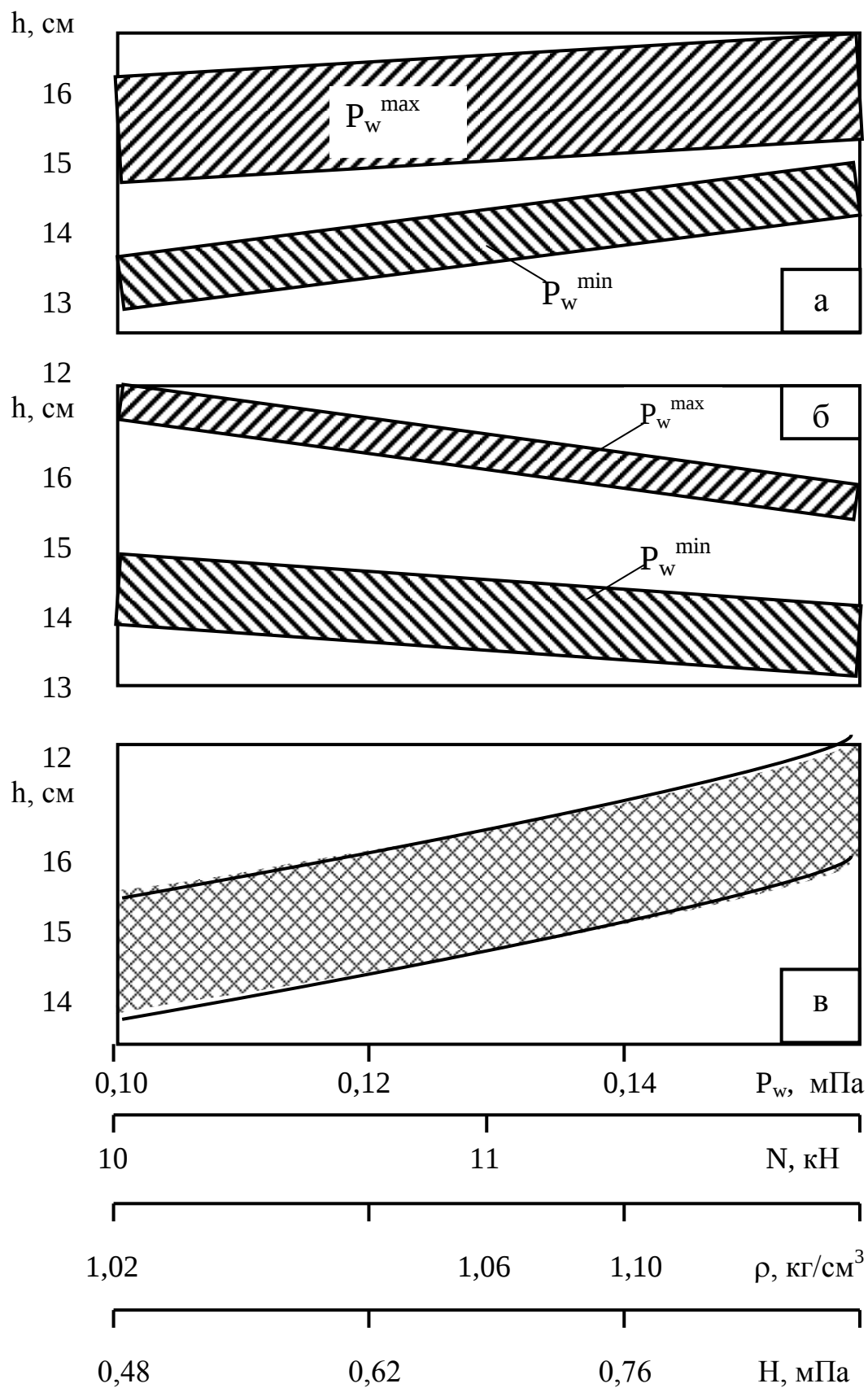


Рис. 3.7 – Залежність глибини слідів колії від зміни вертикального навантаження коліс (а) і тиску повітря в шинах трактора (в), а також твердості і щільності ґрунту

¹ - у випадку рішення задачі мінімізації розглядають максимізацію цієї ж функції, взятої з протилежним знаком

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

Розв’язок сформульованої вище задачі базується на знаходженні та наступному маніпулюванні з так званим *базисним рішенням*. Найкраще для цього підходить симплекс-метод, основна ідея якого полягає в переході від одного допустимого базисного рішення до другого таким чином, щоб забезпечити безперервне збільшення (максимізація) чи зменшення (мінімізація) функції мети.

Іншими словами, симплексний метод є, по суті, двофазною процедурою. Перша фаза, згідно першої теореми лінійного програмування, полягає у знаходженні вихідного базисного рішення або вершини.

Друга фаза представляє собою ітераційну процедуру, яка полягає в переміщенні від одної вершини області допустимих рішень до такої, якій відповідає менша/більша значина функції мети. Ця фаза продовжується до тих пір, поки не буде знайдено оптимальне рішення.

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.

Постановка задачі і обмеження.

Площа фермерського господарства складає 500 га. На цій площі фермер вирощує пшеницю і горох. Насіннєвий фонд фермера дозволяє йому сіяти пшеницю на площі не більше 400 га ($x_1 \leq 400$), а горох – не більше 300 га ($x_2 \leq 300$). Прибуток з 1 га пшениці складає 2 тис. грн, а з 1 га гороху – 5 тис. грн.

Функція мети – Визначити, як треба розподілити площу фермерського господарства під вирощувані культури, щоб сумарний прибуток від реалізації отриманої продукції (зерна) був максимальним.

Рішення.

Шукані величини: x_1 і x_2 – площі, відведені під пшеницю і горох відповідно.

Функція мети (Φ) має наступний вигляд:

$$\Phi = 2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \rightarrow \max.$$

Згідно з умовами *обмеженнями* в даній задачі є:

$$x_1 \leq 400;$$

$$x_2 \leq 300;$$

$$x_1 + x_2 \leq 500;$$

$$x_1 \geq 0;$$

$$x_2 \geq 0;$$

У геометричній інтерпретації кожне із приведених вище нерівностей-обмежень визначає напівплощини, перехрещення яких між собою дає багатокутник $OABCD$ (рис. 3.8).

Саме цей опуклий багатокутник і представляє собою множину K допустимих рішень даної задачі.

Далі розглянемо функцію мети $\Phi = 2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2$. Припустимо що $\Phi_1 = 1000$. Графік рівняння $\Phi_1 = 2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 = 1000$ на рисунку представляє собою пряму з відрізками на осях $x_1 = 500$ і $x_2 = 200$.

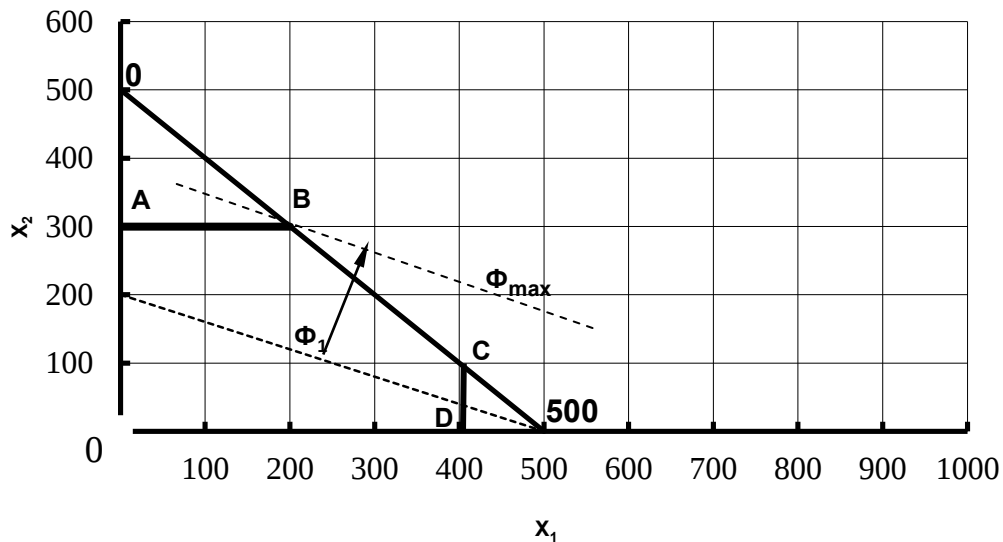


Рис. 3.8 – Графічний спосіб розв'язку задачі

Рухаючи пряму Φ_1 вгору паралельно самій собі, приходимо до такого положення ($\Phi_{\max}$), коли пряма і множина K будуть мати лише одну спільну точку (B). Очевидно, що саме ця точка з координатами $x_1 = 200$ та $x_2 = 300$ і є оптимальним рішенням, оскільки вона лежить на прямій з максимально можливою значиною $\Phi_{\max} = 2 \cdot 200 + 5 \cdot 300 = 1900$ тис. грн.

Підкреслимо, що дана точка є крайньою точкою множини K (багатокутника 0ABCD). Функція мети, таким чином, досягає максимуму або мінімуму в вершинах області допустимих рішень.

Задачі лінійного програмування з трьома шуканими змінними можуть бути представлені у трьохмірному просторі. Область допустимих рішень у цьому випадку представляє собою так званий **поліедр**. Його поверхня формується множиною площин, кожна із яких відповідає обмеженню або умові невід'ємності, задовольняє як рівності. Ребра поліедра створюються від перетинання двох із цих площин, а кути або вершини відповідають точкам, в яких перетинаються три площини. В такому випадку також може бути тільки кінцеве число вершин.

Процес моделювання із застосуванням симплекс-методу полягає в знаходженні оптимального рішення при різних значинах правих частин нерівностей обмежень. Якщо виявилось, наприклад, що вихідна система (3.29) не має базисного рішення, то перебором коефіцієнтів c_i , b_m , і a_{mn} можна спробувати таке рішення знайти.

3.6. Методика перевірки математичної моделі на адекватність

Одним із найголовніших етапів наукової роботи є теоретичні дослідження. У більшості випадків вони дозволяють обґрунтувати схему, параметри і режими роботи того чи іншого МТА без проведення відповідних експериментальних досліджень. Тим більше, що інколи здійснення останніх (в силу низки суб'єктивних та об'єктивних причин) або занадто проблематичне, або взагалі неможливе.

Теоретичні дослідження, як уже підкреслювалося вище, зручно виконувати з допомогою математичної моделі вивчаємого процесу чи дослідного МТА. Як показує практика, особливих труднощів при написанні відповідного математичного апарату у науковців не виникає. Більш проблематичним є продовження цієї роботи. Адже для того, щоб працювати з математичною моделлю як з об'єктом досліджень, треба обов'язково перевірити її на адекватність. Тільки після цього отримані результати математичного моделювання можна вважати достовірними. В протилежному випадку можна дійти принципово помилкових висновків.

Для прикладу спробуємо продемонструвати методики перевірки на адекватність математичних моделей двох МТА (орно-подрібнювального і орного за схемою «push-pull», які досить ґрунтовано описані у наукових технічних виданнях.

Для **орно-подрібнювального агрегату** поставлену задачу вирішували шляхом порівняння теоретичної ($S_{\text{пмт}}$) та експериментальної ($S_{\text{пм}}$) нормованих спектральних щільностей, а для **орного агрегату за схемою “push-pull”** – шляхом порівняння теоретичної [$A_t(\omega)$] і експериментальної [$A(\omega)$] амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) коливань переднього мосту трактора ХТЗ-160.

У обох математичних моделях збурювальним фактором були нерівності позовжнього профілю шляху. Слід підкреслити, що рух трактора ХТЗ-160 як у складі орно-подрібнювального, так і орного агрегатів передбачено правими колесами в борозні, а лівими – по необробленому агротехнічному фоні. Оскільки характер вертикальних коливань лівого і правого бортів енергетичного засобу в загальному випадку не однаковий, то в польових умовах знімали як позовжній профіль борозни попереднього проходу даного МТА, так і профіль необробленого поля. В подальшому на ЕОМ розраховували середнє квадратичне відхилення ($\sigma_{\text{пр}}$) та нормовану спектральну щільність ($S_{\text{пр}}$) для обох реалізацій. Для аналізу брали відповідні усереднені статистичні характеристики профілю. Цим самим було враховано неоднорідний характер вертикальних коливань лівого і правого бортів трактора.

Вихідним параметром моделей були вертикальні коливання переднього мосту трактора. Для їх реєстрації в натурних умовах використовували віброграф Гейгера, сигнал від якого фіксували з допомогою аналогово-цифрового перетворювача. Після оброблення отриманих реалізацій розраховували середнє квадратичне відхилення ($\sigma_{\text{пм}}$) та нормовану спектральну щільність ($S_{\text{пм}}$) вихідного параметру.

Теоретичну спектральну щільність коливань переднього мосту трактора, працюючого у складі орно-подрібнювального МТА, знаходили із виразу:

$$S_{\text{пмт}}(\omega) = \frac{A_t^2(\omega) \cdot S_{\text{пр}}(\omega) \cdot \sigma_{\text{пр}}^2}{\sigma_{\text{пм}}^2},$$

де ω – частота коливань вхідного та вихідного параметрів.

Необхідний для цього квадрат теоретичної АЧХ [$A_t^2(\omega)$] розраховували, використовуючи передаточну функцію відпрацювання даним агрегатом профілю шляху під передніми колесами трактора.

Таку ж функцію використовували і для розрахунку відповідної АЧХ орного МТА за схемою «push-pull». Експериментальну амплітудно-частотну характеристику при цьому знаходили із виразу:

$$A(\omega) = (\sigma_{\text{пм}}/\sigma_{\text{пр}}) \cdot (S_{\text{пм}}/S_{\text{пр}})^{1/2}.$$

Аналіз експериментальних даних, отриманих під час дослідження орно-подрібнювального агрегату, показав, що вертикальні коливання усередненого поздовжнього профілю агротехнічного фону (шляху) мають, по-перше, аперіодичний, а по-друге – низькочастотний характер. На користь першого моменту вказує той факт, що нормована кореляційна функція даного процесу не містить принаймні явно вираженої прихованої періодичної складової (рис. 3.9).

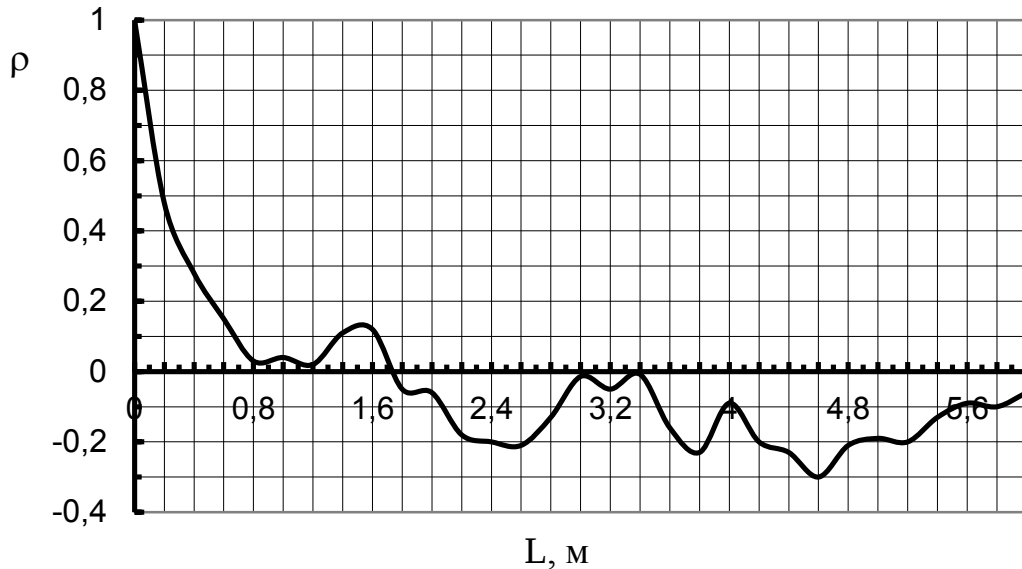


Рис. 3.9 – Нормована кореляційна функція коливань нерівностей поздовжнього профілю шляху

Що стосується другого моменту, то він підтверджується значною (як для даного процесу) довжиною кореляційного зв'язку ($\approx 1,75$ м, див. рис. 3.9), а також відносно вузьким ($0 \dots 7 \text{ с}^{-1}$ або $0 \dots 1,1 \text{ Гц}$) частотним діапазоном зосередження основної долі дисперсії коливань нерівностей поздовжнього профілю шляху (рис. 3.10).

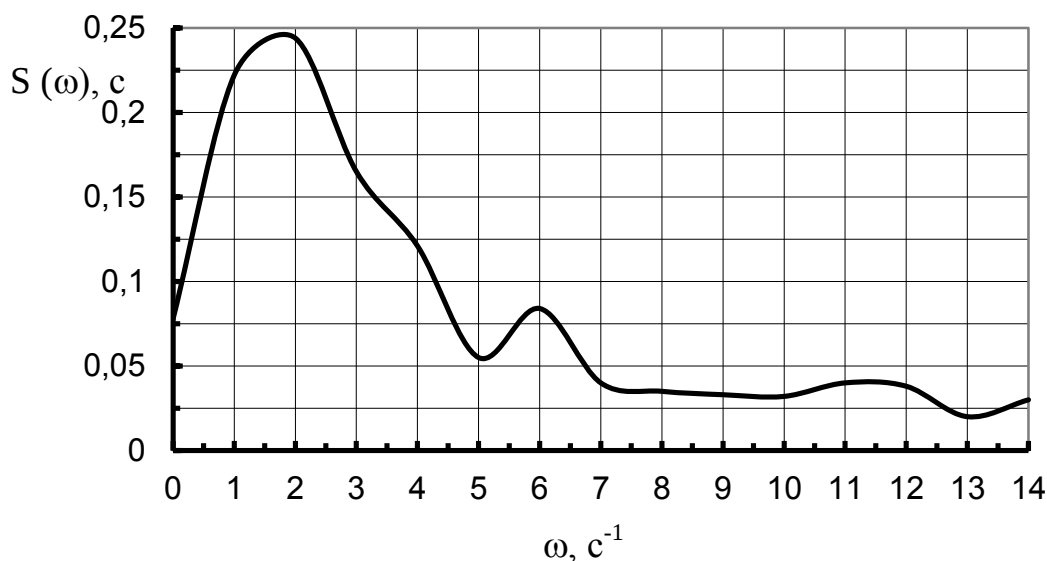


Рис. 3.10 – Нормована спектральна щільність коливань нерівностей поздовжнього профілю шляху

В діапазоні частот $0...1,5 \text{ с}^{-1}$ вертикальні коливання поздовжнього профілю шляху відтворюються переднім мостом трактора ХТЗ-160 з коефіцієнтом підсилення $0,95...1$, а в діапазоні частот $1,5...7,0 \text{ с}^{-1}$, - з коефіцієнтом $1,0...1,2$ (рис. 3.11).

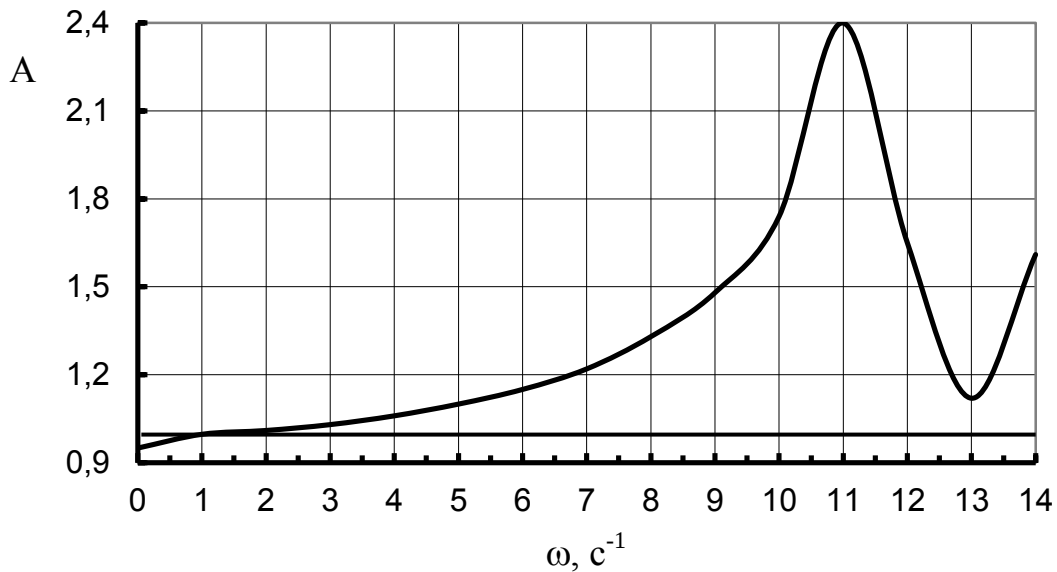


Рис. 3.11 – Амплітудно-частотна характеристика (А) вертикальних коливань переднього мосту трактора ХТЗ-160 відносно нерівностей поздовжнього профілю шляху

Резонансний пік АЧХ вертикальних коливань переднього мосту енергетичного засобу припадає на частоту 11 с^{-1} , якій відповідає дуже мала дисперсія коливань вхідного параметру (див. рис. 3.11).

Співставлення теоретичної ($S_{\text{пмт}}$) та експериментальної ($S_{\text{пм}}$) нормованих спектральних щільностей вертикальних коливань переднього мосту трактора ХТЗ-160 показує (рис. 3.12), що обидва процеси характеризуються приблизно однаковим характером зміни частотного діапазону.

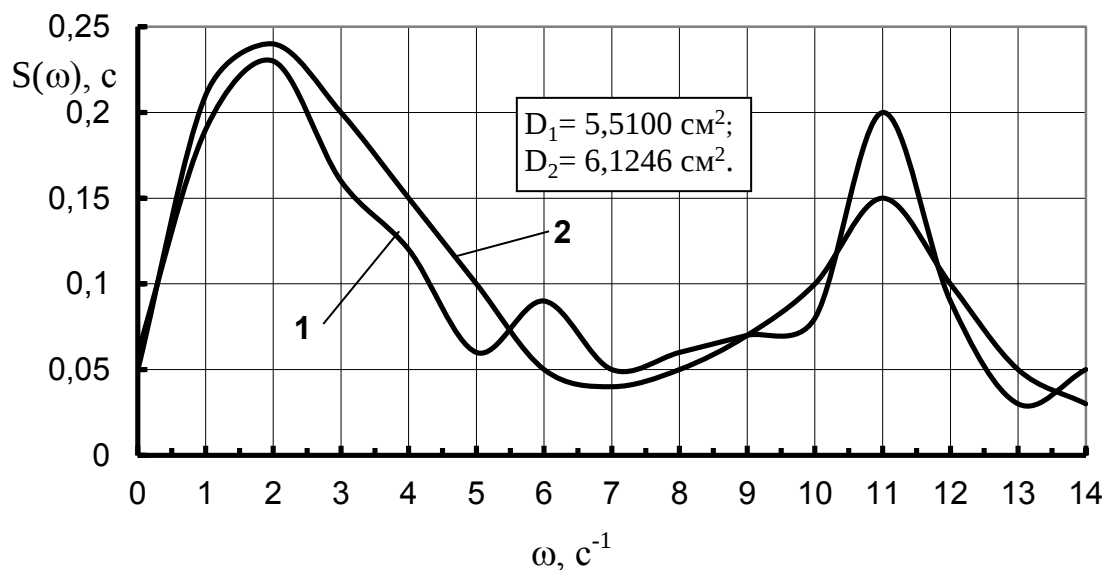


Рис. 3.12 – Теоретична (1) та експериментальна (2) нормовані спектральні щільності вертикальних коливань переднього мосту трактора ХТЗ-160

Максимуми дисперсій припадають на одні і ті ж частоти: 2 і 11 с^{-1} . Що стосується значин цих оцінок, то згідно F-критерію Фішера нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій ($5,5100$ і $6,1246 \text{ см}^2$) не відхиляється як на статистичному рівні значущості $0,05$, так і на рівні значущості $0,01$.

Задовільний збіг вищевикладених теоретичних та експериментальних результатів вказує на адекватність розробленої математичної моделі орного подрібнювального агрегату, що об'єктивно забезпечує можливість її подальшого використання для розв'язку поставлених задач досліджень.

Під час проведення досліджень орного МТА за схемою «push-pull» середня вологість ґрунту в шарі $0...30$ см становила $13,5\%$. Щільність його знаходилась в межах $1,21...1,23 \text{ г/см}^3$. Забур'яненість агрофону була високою. Середня її значина дорівнювала 406 г/м^2 . Фронтальний і задньонавісний плуги були налаштовані на глибину оранки 27 см. Агрегат рухався на ділянці зі швидкістю $1,6 \text{ м/с}$.

Коливання усередненого поздовжнього профілю оброблюваної ділянки поля хоча і були відносно високочастотними, проте характеризувалися невеликою енергією, оскільки їх середнє квадратичне відхилення було рівним лише $\pm 1,95$ см.

Із аналізу нормованої спектральної щільності (рис. 3.13) встановлено, що частота зрізу для цього процесу дорівнює приблизно 4 м^{-1} . При вказаній швидкості руху орного машинно-тракторного агрегату це становить $6,4 \text{ с}^{-1}$ або $1,02 \text{ Гц}$.

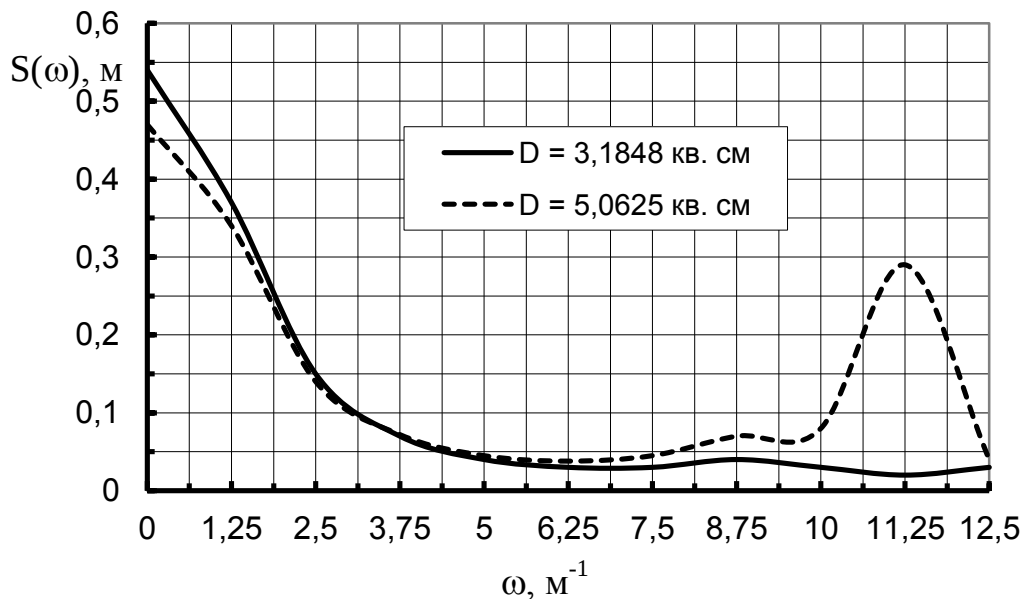


Рис. 3.13 – Нормовані спектральні щільності коливань поздовжнього профілю шляху (—) та переднього мосту трактора ХТЗ-160 (- - -)

Виходячи з вищевикладеного, можна впевнено сказати, що основна доля дисперсії коливань поздовжнього профілю шляху була зосереджена в діапазоні частот $0...6,4 \text{ с}^{-1}$.

Як показав аналіз експериментальних даних, основна доля дисперсії вертикальних коливань переднього мосту трактора ХТЗ-160 зосереджена у цьому ж діапазоні (див. рис. 3.13). За його межами при $\omega = 10,0...12,5 \text{ с}^{-1}$ має місце певне зростання розглядуваної статистичної оцінки.

Середнє квадратичне відхилення вертикальних коливань переднього мосту трактора становило $\pm 2,25$ см. Проте, згідно із загальновідомим F-критерієм Фішера, нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій на статистичному рівні значущості 0,05 не відхиляється. Іншими словами, з ймовірністю 95% можна стверджувати, що різниця між дисперсіями коливань поздовжнього профілю шляху і переднього мосту трактора ХТЗ-160 є статистично випадковою.

Визначивши потрібні середні квадратичні відхилення та нормовані спектральні щільності, розраховували шукану експериментальну амплітудно-частотну характеристику орного МТА (рис. 3.14).

Як бачимо із характеру її протікання в діапазоні $0 \dots 6,4 \text{ с}^{-1}$ вхідний сигнал у вигляді вертикальних коливань поздовжнього профілю шляху передній міст трактора ХТЗ-160 відтворював практично без підсилення.

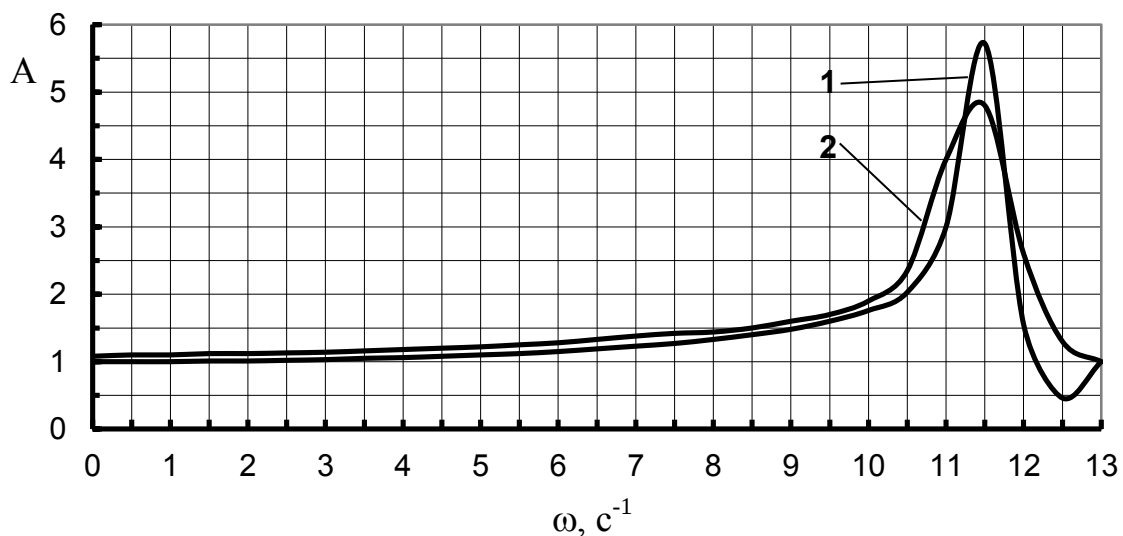


Рис. 3.14 – Теоретична (1) та експериментальна (2) амплітудно-частотні характеристики (А) орного МТА

В цілому цей процес близький до теоретичного (див. рис. 3.14). Навіть в значно ширшому діапазоні частот ($0 \dots 10,0 \text{ с}^{-1}$) розбіжність між теоретичною і експериментальною АЧХ становить не більше 12%. Це свідчить про придатність розробленої математичної моделі орного машинно-тракторного агрегату для подальшого теоретичного аналізу.

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.

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 одновірних 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:

$$\psi_D = \sum_{i=1}^n \rho_{yi}^2. \quad (3.30)$$

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 впливає із (3.30), 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.

Іншою зручною і ефективною оцінкою ідентичності моделей реальним сільськогосподарським агрегатам є метод з використанням функції **когерентності**¹ $K^2(\omega)$:

$$K^2(\omega) = |S_{yx}(\omega)|^2 / [S_y(\omega) \cdot S_x(\omega)],$$

де $S_y(\omega)$, $S_x(\omega)$ – спектральні щільності коливань вихідного і вхідного процесів (природа цих статистичних характеристик буде описана нижче);

$S_{yx}(\omega)$ – взаємна спектральна щільність процесів на вході і виході моделі.

Функція когерентності визначає кореляцію вхідного впливу та вихідної змінної лінійної динамічної системи на даній частоті ω . Причому, мала значина $K^2(\omega)$ означає слабку кореляцію, а значить і високий рівень перешкод. Якщо вихідний процес повністю обумовлений вхідним, то $K^2(\omega) = 1$. У випадку повної відсутності зв'язку між даними процесами $K^2(\omega) = 0$.

Для багатомірних лінійних моделей за відсутності тісної кореляції між входами функція когерентності системи дорівнює сумі частинних значин $K^2(\omega)$ від кожного вхідного впливу.

За умови застосування сучасних програмних середовищ (Mathematica, Statistica, MS Excel тощо) перевірка регресійних математичних моделей на адекватність є процедурою формалізованою. У вказаних пакетах прикладних програм вона здійснюється у декілька етапів.

1. Спочатку знаходять дисперсію адекватності $S_{ад}^2$ із виразу:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N-l} \cdot \sum_{i=1}^N m_i \cdot (\bar{y}_i - \tilde{y}_i)^2,$$

де N – загальне число дослідів; l – число значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії; m – число паралельних дослідів; $\bar{y}_i$ – середнє арифметичне функції відгуку із m числа паралельних дослідів; $\tilde{y}_i$ – значина функції відгуку, передбачена рівнянням у i -тому досліді.

2. Розраховують дійсну значину F-критерію Фішера – F_d .

3. Визначають числа ступенів вільності $f_1 = N - l$ і $f_2 = N \cdot (m - 1)$.

4. Задаються рівнем статистичної значущості q (зазвичай $q = 0,05$).

5. Із таблиці за заданими значинами f_1 , f_2 і q знаходять критичну значину критерію Фішера – $F_{кр}$.

¹ - узгоджене протікання у часі декількох коливальних процесів

Якщо $F_d \leq F_{кр}$, то розроблена регресійна математична модель є адекватною досліджуваному процесу.

У протилежному випадку слід перейти до більш складної форми рівняння регресії або зменшити інтервал варіювання факторів у експерименті.

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. Поясніть суть третьої теореми подібності природних явищ.
9. Опишіть алгоритм моделювання із застосуванням теорії і критеріїв подібності.
10. Яку інформацію і користь надає досліднику функціональна модель?
11. У чому полягає значущість статичних моделей фізичних явищ?
12. Викладіть алгоритм визначення амплітудних і фазових частотних характеристик функціонування тієї чи іншої динамічної системи.
13. Яка особливість ідеальних АЧХ і ФЧХ слідкуючих динамічних систем? Чому їх доцільно і ефективно використовувати при вивченні характеру руху динамічних систем?
14. Назвіть переваги і недоліки регресивних моделей функціонування динамічних систем.
15. Складіть загальну схему організації і планування експерименту.
16. Назвіть основні вимоги, які висуваються до факторів планування експерименту.
17. Поясніть, у якому випадку виникає потреба переходу від лінійного плану планування експерименту до нелінійного.
18. Яка роль поверхонь відгуку у процесі математичного дослідження із застосуванням регресійних моделей.
19. Охарактеризуйте особливості отримання і використання регресійних критеріальних рівнянь у математичному моделюванні.
20. Назвіть суть, переваги і недоліки лінійного моделювання.
21. Назвіть найбільш відомі і розповсюджені методи перевірки математичних моделей на адекватність. У чому полягає необхідність проведення такого етапу дослідницьких робіт?

Глава 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.

На рис. 4.1 представлена найпростіша схема ВРС, як достатньо ефективно може використовуватися для реєстрування як аналогових, так і дискретних сигналів.

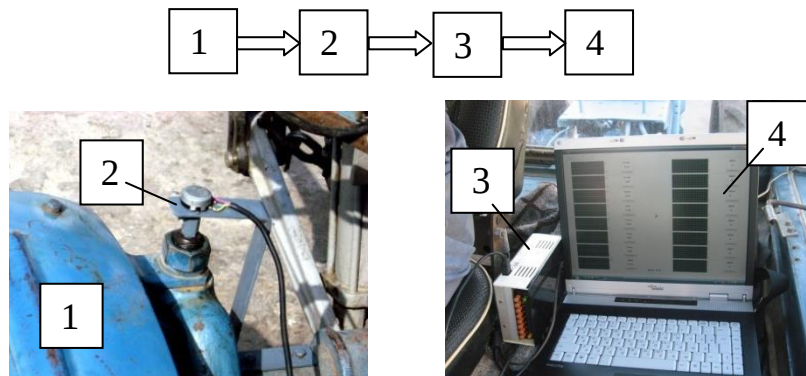


Рис. 4.1 – Структурна схема ВРС:

1– об'єкт вимірювань; 2 – чутливий датчик; 3 – функціональний аналогово-цифровий (АЦП) чи цифрово-аналоговий (ЦАП) перетворювач сигналу; 4 – пристрій накопичення та видачі інформації (ПЕОМ)

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.

Проведена 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 $\lambda = X_{\text{п}} - X_{\text{д}}$ – це абсолютна похибка вимірювального приладу.

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

$$\gamma = \lambda \cdot 100 / X_{\text{д}} (\%).$$

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 проведена 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 показчика, 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.

Тензометричні датчики опору. Такими називають первинні перетворювачі вимірюваної деформації пружного елемента в електричний сигнал. Останній виникає в результаті зміни наклеєного на пружний елемент чутливого до деформації активного електричного опору, який називають тензорезистором.

Тензометричні датчики використовують для вимірювання зусиль, крутних моментів, тиску і інших неелектричних величин, коли в результаті дії вимірюваної величини можна отримати пружну деформацію чутливого елемента (стержня, валу, мембрани тощо).

Найчастіше використовують два типи тензорезисторів: дротяні і фольгові.

Дротяний тензорезистор – це решітка із тонкого дроту з великим активним (омічним) опором, наклеєна на основу із тонкого паперу чи лакової плівки.

Фольговий тензорезистор має решітку, виготовлену травленням із металічної фольги та наклеєну на основу. Перевага таких тензорезисторів полягає у більш високому коефіцієнті тепловіддачі. Це дозволяє пропускати через датчик значно більший струм, підвищивши тим самим його чутливість, що дуже важливо при використанні безпідсилювальних вимірювальних схем.

Основними технічними характеристиками тензорезистора є його активний опір, база (довжина решітки) та коефіцієнт тензочутливості. Останній розраховують по формулі:

$$K = \frac{\Delta R \cdot L}{R \cdot \Delta L}.$$

В даній формулі ΔR – приріст опору датчика R при збільшенні його довжини L за рахунок деформації на величину ΔL .

Номинальний робочий струм для дротяних тензорезисторів – до 30 мА, а для фольгових – до 200 мА. Напруга живлення – 12 або 24 В.

Оскільки тензорезистор деформується одночасно з пружним стержнем, на який він наклеєний, а деформація стержня пропорційна прикладеному зусиллю, то зміна опору тензорезистора пропорційна зусиллю P :

$$\Delta R / R \cdot L = k \cdot P,$$

де k – коефіцієнт пропорційності (масштабний коефіцієнт).

Індуктивні датчики широко застосовують для вимірювання тиску під час випробувань гідросистем, вимірювання частоти обертання різних валів і іноді для вимірювання тягових зусиль і крутних моментів. Ці датчики мають низку суттєвих переваг:

- пропускають великий струм;

- мають високу чутливість;
- не бояться електричних наведень;
- виконуються знімними, а тому можуть неодноразово використовуватись для вимірювань у різних схемах;
- механічно міцні і надійні.

Недоліки:

- залежність чутливості від частоти напруги живлення;
- датчики для вимірювання тягових зусиль і крутних моментів мають відносно велику масу і не можуть використовуватися при великих швидкостях і прискореннях.

Індуктивний датчик – це електромагнітна система, яка складається із котушки, що насаджена на Ш-, або П-подібне осердя із трансформаторного заліза, та якоря. Останній з'єднаний із чутливим елементом – діафрагмою, пружним стержем, валом, що обертається тощо.

При переміщенні вимірювального елемента разом з ним переміщується якір, змінюючи зазор між собою і осердям. В результаті це приводить до зміни індуктивності котушки, а значить і величини струму (I) у вимірювальній ланці. Для практичних цілей підходить вираз:

$$I = 2 \cdot U \cdot \delta / (\omega \cdot w^2 \cdot \mu \cdot s),$$

де U – напруга живлення, В;

δ – величина зазору між осердям і якорем (враховується двічі), м;

ω – частота струму живлення, с⁻¹;

w – число витків обмотки котушки;

μ – магнітна постійна – $4\pi \cdot 10^{-7}$ Ом · с/м;

s – площа поперечного перерізу магнітопроводу, м².

Чутливість індуктивного датчика по струму знаходять із виразу:

$$S = 2 \cdot U / (\omega \cdot w^2 \cdot \mu \cdot s) /$$

Індукційні датчики. Їх робота побудована на використанні закону електромагнітної індукції, згідно яким ЕРС (В), наведена у провідникові, пропорційна швидкості зміни магнітного потоку:

$$EPC = - w \cdot \frac{d\Phi}{dt},$$

де $d\Phi/dt$ – швидкість зміни магнітного потоку, (Вебер/с = В).

Індукційні датчики знайшли широке застосування в тахометричних генераторах (тахометрах).

Способи включення датчиків у вимірювальну схему.

Найчастіше датчики включають у вимірювальний міст. Існують два способи вимірювання з допомогою мостових схем: нульовий і метод розбалансування.

При нульовому методі під час кожного порушення рівноваги моста здійснюють його зрівноважування (тобто показчик вимірювального приладу, включеного в діагональ моста, установлюють на нуль). Про зміни вимірюваної величини судять по значині додатково введенного зрівноважувального опору.

Під час вимірювання методом розбалансування при порушенні рівноваги моста про зміни вимірюваної величини судять по відхиленню покажчика вимірювального приладу в діагоналі моста.

В тензометруванні в основному використовують рівноплечий міст Уїтстона. Тензометричні мости розрізняють:

- по виду напруги живлення: мости постійного і змінного струму;
- по навантаженню у вимірювальній діагоналі: мости пасивні і навантажені;
- по способу включення датчиків у плечі моста.

Мости постійного струму включають тільки активні опори, що значно спрощує їх початкове зрівноваження. Схеми на постійному струмові малочутливі до промислових шумів – наведень змінного струму промислової частоти. Частіше за все використовуються при безпідсилювальному тензометруванні.

Мости змінного струму працюють на базовій частоті в декілька тисяч Гц. Її значина повинна не менше, ніж у 5 разів перевищувати частоту досліджуваного процесу. Мости змінного струму потребують екранування по всій довжини вимірювального тракту, оскільки вони досить чутливі до паразитних ємностей та наведень промислової частоти.

Вхідний опір електронного підсилювача постійного або змінного струму на два порядки більший опору плечей тензомоста. Тому мости, які працюють на електронний підсилювач, практично не навантажені, функціонують в режимі холостого ходу і називаються пасивними.

Мости, що працюють безпосередньо на гальванометр (тобто без підсилення) називаються **навантаженими**. Пасивний міст працює під малим струмом, його чутливість вибирають по напрузі. Для навантаженого моста чутливість розраховують по струму.

На чутливість тензорезистора дуже сильно впливає зміна температури деталі, на яку він наклеєний. Для компенсування додаткової температурної похибки робочого плеча моста іноді використовують тензорезистор сусіднього плеча, в якому температурна деформація має протилежний знак. Цей тензорезистор, як правило, наклеюють на ту ж деталь таким чином, щоб він не піддавався деформації. Якщо два або чотири суміжні плечі є робочими, то температурна компенсація здійснюється автоматично.

При вимірюванні крутного моменту тензорезистори розміщують на валу під кутом 45° до дотичної. Чотири робочих тензорезистори наклеюють по колу валу на відстані чверті кола один від одного так, щоб діаметрально протилежні тензорезистори відчували дію однойменної деформації.

Перед початком вимірювання повинно бути здійснене першочергове зрівноваження моста-балансування. У збалансованому мості струм у вимірювальній діагоналі дорівнює нулю.

Балансування моста, який працює на постійному струмі, здійснюють реохордом. При роботі на змінному струмі вимірювальна деформація змінює не тільки активний, а і реактивний опір датчиків. Тому при балансуванні моста змінного струму необхідно компенсувати як активну, так і реактивну складові опору датчика. При цьому вимірювальний міст зрівноважують по амплітуді і по фазі.

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. 4.2.

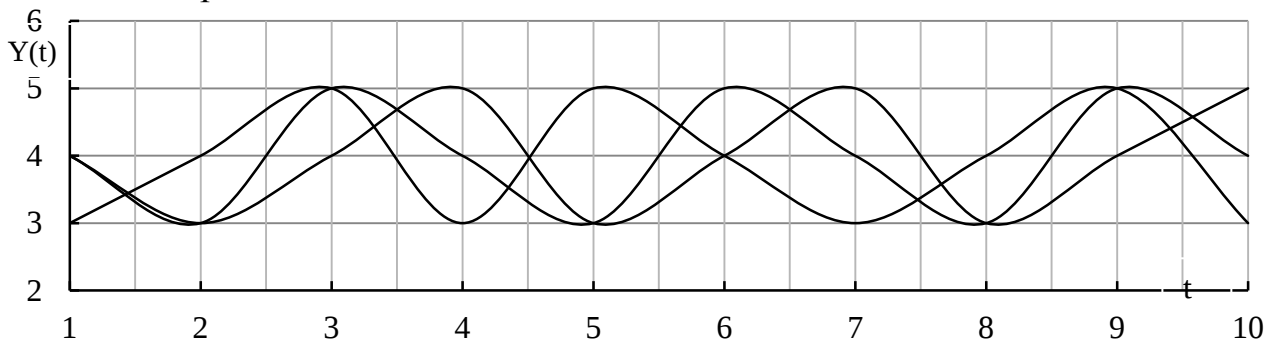


Рис. 4.2 – Реалізації стаціонарного ергодичного процесу

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

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

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

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 $T_p = 60$ 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 $V_p = 2$ 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} :

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

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 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 .

¹ жирним шрифтом позначені числа із найменшою кількістю значущих цифр.

Наприклад:

$D = 12,55$, звідки $\sigma = \pm 3,54$ – записуємо $\sigma = \pm 3,5$.

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

$D = 12,532$ (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 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.

Досить часто досліджувану величину не можна заміряти безпосередньо, оскільки вона є якоюсь функцією інших, потенційно безпосередньо вимірюваних фізичних чи фізико-хімічних величин.

Такі вимірювання називаються опосередкованими. Точність їх вимірювань можна оцінювати за допомогою середньої квадратичної похибки (σ_c):

$$\sigma_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)^2 \cdot \sigma_i^2}, \quad (4.2)$$

де $\partial F / \partial y$ – частинна похідна тієї функції, яка опосередковано описує процес розрахунку того чи іншого параметру;

σ_i – стандарт відхилення похибки вимірювання тієї величини, яка входить складовою до функції опосередкованого розрахунку оцінюваного параметру.

Застосування даної методики покажемо на прикладі опосередкованого розрахунку поздовжньої координати (a_T) центру мас трактора:

$$a_T = \frac{M_{\text{пм}}}{M_T} \cdot L,$$

де $M_{\text{пм}}$ – маса трактора, яка припадає на його передній міст, кг;
 L , M_T – база (мм) і експлуатаційна маса (кг) трактора.

Частинні похідні в даному випадку є такими:

$$\begin{aligned} \partial a_T / \partial M_{\text{пм}} &= L / M_T; \\ \partial a_T / \partial L &= M_{\text{пм}} / M_T; \\ \partial a_T / \partial M_T &= M_{\text{пм}} \cdot L / M_T^2. \end{aligned}$$

Нехай за результатами безпосередніх замірів було встановлено, що

$$\begin{aligned} M_T &= 8201 \text{ кг}; & \sigma &= \pm 2,5 \text{ кг}; \\ M_{\text{пм}} &= 4920 \text{ кг}; & \sigma &= \pm 1,87 \text{ кг}; \\ L &= 2856 \text{ мм}; & \sigma &= \pm 5 \text{ мм}. \end{aligned}$$

У кінцевому рахунку після підставлення отриманих частинних похідних середніх квадратичних відхилень (стандартів) у вираз (4.2), знаходимо, що середня розрахункова значина поздовжньої координати центру мас трактора $a_T = 1,713$ м при середній квадратичній значині похибки σ_c всього лише 0,003 м (тобто 3 мм).

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?

Глава 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 необгрунтоване 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 відповідним 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.

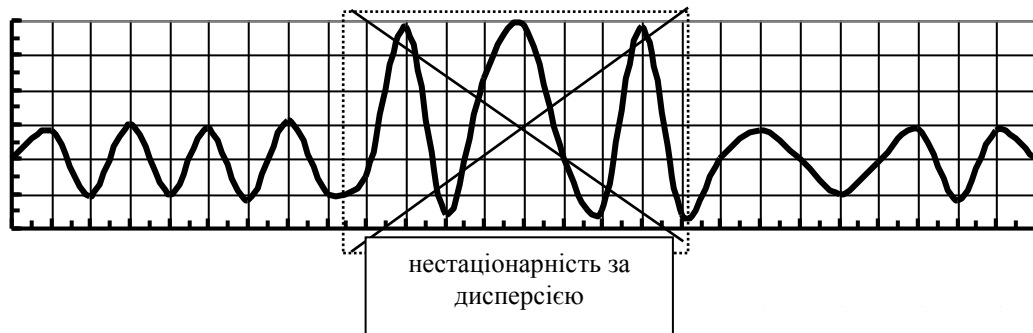


Рис. 5.1– Вид випадкового процесу з нестационарністю за дисперсією

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).

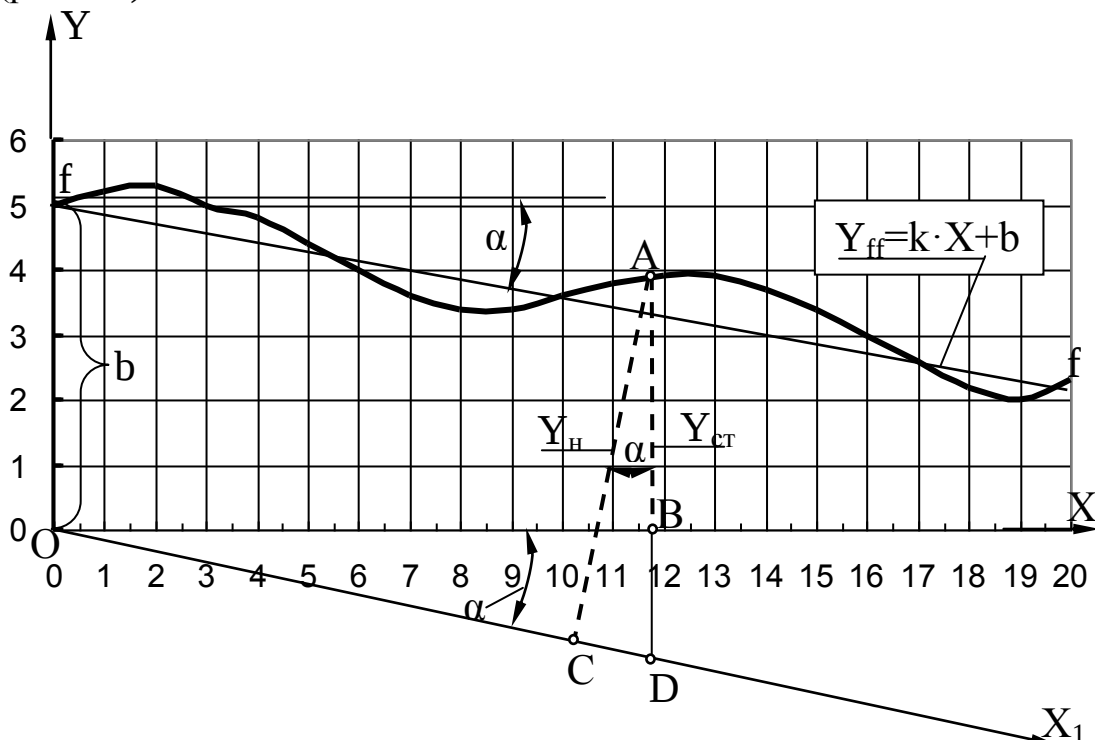


Рис. 5.2 – Схема обробки процесу, нестационарного за математичним очікуванням

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_{ct}), 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_{ct}) 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

$$Y_n = AD \cdot \cos \alpha.$$

В свою чергу

$$AD = Y_{ct} + BD.$$

Враховуючи, що

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

можемо записати:

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

З урахуванням вищевикладеного остаточно отримуємо:

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

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. Виявилось, 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).

Нестационарність того чи іншого випадкового коливного процесу як за математичним очікуванням, так, до речі, і за дисперсією відповідним чином відображається на характері його кореляційної функції (про що мова йтиме нижче).

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.

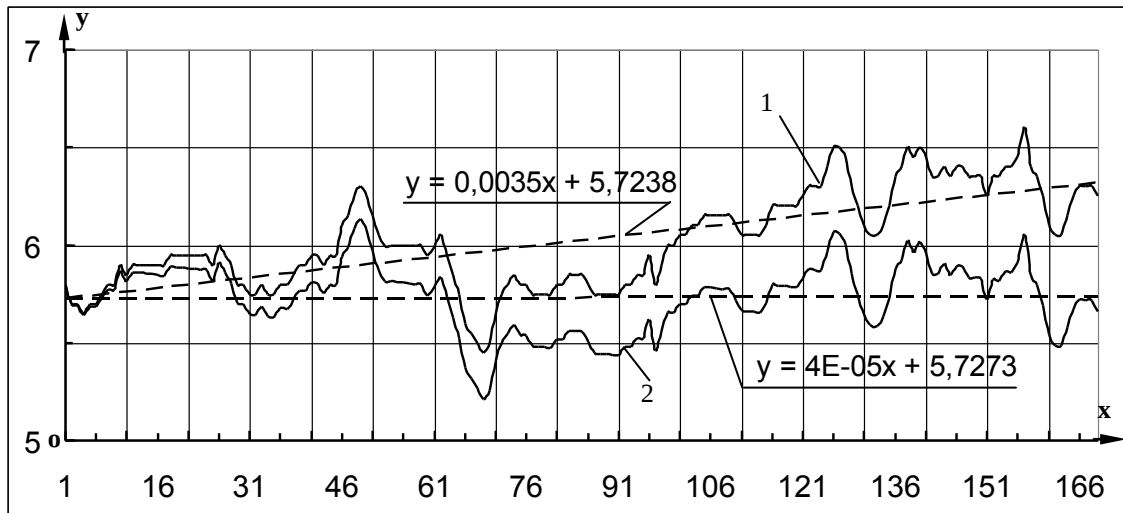


Рис. 5.3 – Нестационарний (1) та стаціонарний (2) за математичним очікуванням випадові процеси коливань траєкторії руху просапного МТА

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 різ-

¹ таблична величина

ниці 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.

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

$$X_1 = 26,5 \text{ см};$$

$$X_2 = 25,3 \text{ см};$$

$$\sigma_1 = \pm 1,3 \text{ см};$$

$$\sigma_2 = \pm 1,5 \text{ см}.$$

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:

$$\sigma_1 = \pm 3,5 \text{ см};$$

$$\sigma_2 = \pm 3,5 \text{ см},$$

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 ймовірністю 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

$$X_1 = 26,5 \text{ см};$$

$$X_2 = 25,3 \text{ см};$$

$$\sigma_1 = \pm 1,3 \text{ см};$$

$$\sigma_2 = \pm 1,5 \text{ см},$$

$$\text{але } N = 10,$$

отримуємо $t = 1,91$.

А це означає, що навіть на статистичному рівні 0,05 між середніми значеннями 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,

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

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

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 досліджу». При цьому вважають, що коли $S_{x\%}$ перевищує 5%, то слід удосконалювати методику досліджу, а якщо $S_{x\%} > 7 \dots 8\%$, 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 досліджу» 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) вивчаємого 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 квадратному 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: $D_1 = 25,46$ см²; $D_2 = 36,96$ см² і $D_3 = 15,16$ см². Усі вони отримані у 3-х експериментах ($k = 3$) із числом вимірювань у кожному $N = 10$. Максимальною із приведених дисперсій є друга, тобто $D_{\max} = 36,96$ см².

Із формули (5.4) отримуємо, що

$$G = D_{\max}/(D_1 + D_2 + D_3) = 36,96/(25,46 + 36,96 + 15,16) = 0,447.$$

Числа незалежних вимірювань при цьому є такими:

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

$$f_2 = N = 10.$$

Згідно із табличними даними для $f_1 = 3$ 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:

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

$$f_2 = N = 10;$$

$$G = D_{\max} \cdot (D_1 + D_2) = 25,46 \cdot (25,46 + 20,16) = 0,558.$$

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 (абсцисах).

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 (невідомо 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 культивуації 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 $P = 99,9 \%$.

5.2.5 Кореляційна функція

Дуже часто таких статистичних характеристик, як середнє арифметичне (X), дисперсія (D) і коефіцієнт варіації (V) недостатньо для повної оцінки тієї чи іншої випадкової функції. Два процеси з практично однаковими значинами X , D і V можуть протікати абсолютно по різному.

Приклад такої різниці приведено на рис. 5.4. За однакової амплітуди коливань A у обох процесів нуль-гіпотеза про рівність середнього арифметичного та дисперсії не відхилитиметься на будь-якому рівні статистичної значущості.

-----Рис. 5.4.-----Графічне відображення двох процесів
з однаковими амплітудами і різними частотами коливань

Проте сказати на основі цього, що обидва процеси представляють одну і ту ж генеральну сукупність – ніяк не можна. Причина полягає в тому, що вони мають різну внутрішню структуру, репрезентовану періодом h (а значить частотою) коливань. Процес 1 у порівнянні з процесом 2 є більш високочастотним.

Для оцінки внутрішньої структури випадкового процесу використовують таку статистичну характеристику, як кореляційна функція (R_x). Вона характеризує ступінь зв'язку (кореляції) між значинами випадково процесу в різні моменти часу. Для її практичного розрахунку використовують наступну формулу:

$$R_x = \frac{1}{N - m - 1} \sum_{i=1}^{N-m} \dot{X}_i \cdot \dot{X}_{i+m},$$

де $m = 0, 1, 2, 3 \dots$ – число, яке визначає зсув по осі абсцис

$\dot{X}_i, \dot{X}_{i+m}$ – нормовані ординати процесу в моменти часу i і $i + m$ відповідно.

Як бачимо із приведеного виразу, розмірністю кореляційної функції є квадрат досліджуваного параметру (H^2, m^2, c^2 тощо). В початковий момент часу при $m = 0$ кореляційна функція дорівнює дисперсії процесу, тобто $R_{x(0)} = D$.

Щоб абстрагуватися від розмірності, користуються нормованою кореляційною функцією ρ , яка є результатом ділення R_x на дисперсію процесу D :

$$\rho = R_x / D.$$

Звідси цілком зрозуміло, що у початковий момент часу ($m = 0$) нормована кореляційна функція дорівнює одиниці. Усі інші її значини є меншими за 1.

Якщо той чи інший випадковий процес містить приховану періодичну складову, то це обов'язково відобразиться у характері нормованої кореляційної функції (рис. 5.5). Середній півперіод її коливань (T_p) буде приблизно дорівнювати півперіоду коливань прихованої періодичної складової.

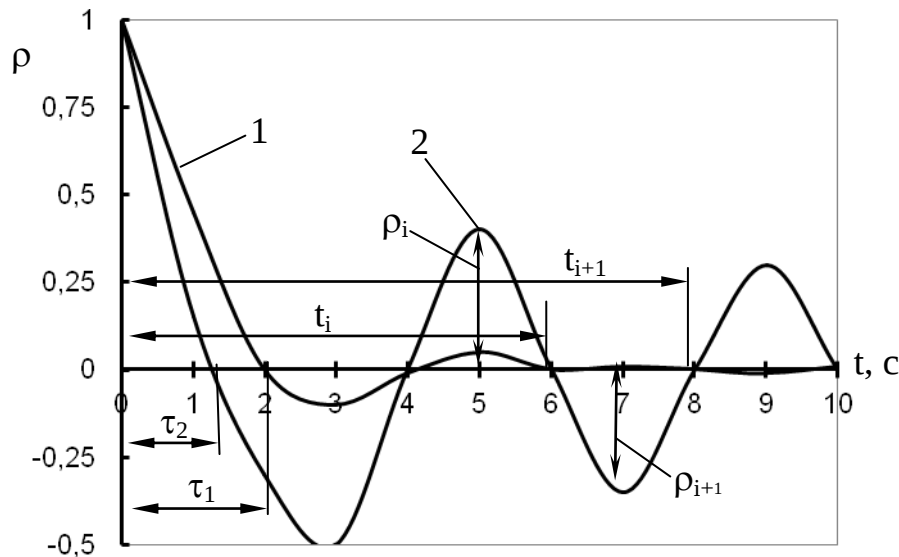


Рис. 5.5 – Нормовані кореляційні функції випадкових процесів за наявності слабо (1) та сильно (2) вираженої періодичної складової коливань

Величину T_p знаходять при цьому із виразу:

$$T_p = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n (t_{i+1} - t_i),$$

де n – кількість півперіодів нормованої кореляційної функції;

t_i – послідовні значини абсцис точок перетину кореляційної функції ρ з віссю t (див. рис. 5.5).

Виявлення півперіоду (а значить і періоду) коливань прихованої періодичної складової дає можливість встановити генератор її формування. В кінцевому рахунку це дозволяє розробити заходи щодо зменшення шкодочинності впливу періодичних коливань на досліджуваний об'єкт, процес тощо.

Нормовані кореляційні функції з різними параметрами прихованої періодичної складової можна порівняти між собою з допомогою декременту затухання δ .

Цей показник розраховують так:

$$\delta = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \ln \left| \frac{\rho_i}{\rho_{i+1}} \right|,$$

де m – число пар суміжних екстремумів ρ_i і ρ_{i+1} нормованої кореляційної функції (див. рис. 5.5).

Однією із найважливіших характеристик кореляційної функції є **інтервал кореляції**. Зазвичай під ним розуміють час, на протязі якого кореляційних зв'язок затухає або зникає взагалі.

Для випадкових процесів, зображених на рис. 5.5, за інтервал кореляції вважають відрізок часу (τ_1 , τ_2) від початку координат до першого перетину кореляційної функції з віссю абсцис.

Виходячи з цього, параметри τ_1 і τ_2 називають часом кореляційного зв'язку. В дійсності вони, відображаючи час спадання кореляційної функції, характеризують частотний склад випадкових процесів. Більш низькочастотним із них є той, у

якого час кореляційного зв'язку більший. Саме таким є процес 1 у порівнянні з процесом 2 (рис. 5.5), оскільки у першого час кореляційного зв'язку $\tau_1 = 2$ с, а другого – $\tau_2 = 1,2$ с.

Інколи в практиці роботи сільськогосподарських агрегатів зустрічаються «чисті» випадкові процеси без прихованих періодичних складових (рис. 5.6).

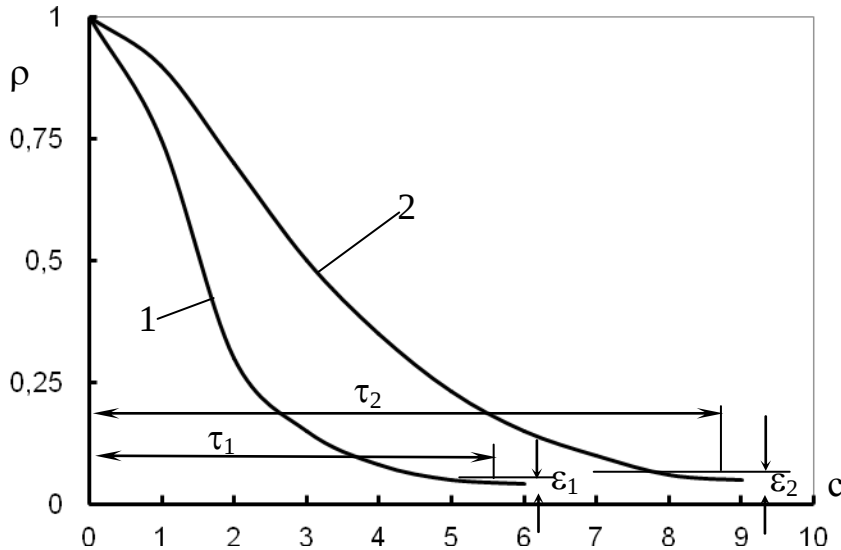


Рис. 5.6 – Нормовані кореляційні функції випадкових аперіодичних процесів більш широкого (1) та більш вузького (2) спектрів коливань

Для них під інтервалом кореляції вважають таку значину τ (τ_1 , τ_2), за якої величина функції ρ залишається меншою будь-якої заданої величини ε . Тобто

$$\rho(\tau_1) < \varepsilon_1;$$

$$\rho(\tau_2) < \varepsilon_2.$$

На практиці зазвичай приймають $\varepsilon = 0,05$.

Для стаціонарного аперіодичного процесу вона наближується до нульової значини і, не пересікаючи її, здійснює відносно неї затухаючі коливання. Для такого ж процесу з прихованою періодичною складовою кореляційна функція пересікає нульову позначку, а потім коливається відносно неї (або наближається до неї) з відповідним зменшення амплітуди коливань.

Якщо ж коливний процес є нестаціонарним, то його кореляційна функція поводить себе за іншими законами. Для її розрахунку потрібен зовсім інший алгоритм, ніж той, який застосовується при аналізі стаціонарних процесів.

Розглянемо нормовані (рис. 5.7) кореляційні функції (R) остаціонареного та нестаціонарного за математичним очікуванням процесів, зображених на рис. 5.3.

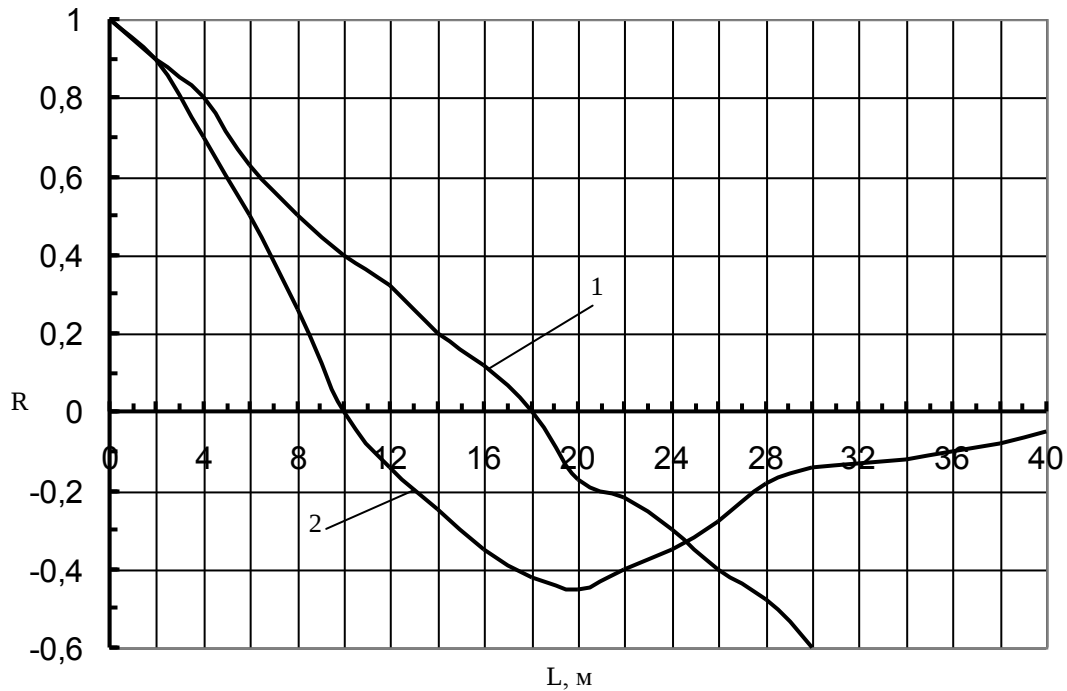


Рис. 5.7 – Нормовані кореляційні функції нестационарного (1) та оstationареного (2) коливних процесів

У першому випадку характер зміни кореляційної функції вказує, що коливання ординат розглядуваного процесу містять приховану періодичну складову, а довжина кореляційного зв'язку цих координат становить 10 м. Тобто $R = 0$ при $L = 10$ м (крива 2, рис. 5.7).

При $L > 20$ м ця кореляційна функція поступово наближається до нульової значини, що є доказом нормального характеру її протікання.

У другому випадку вказана функція поводить себе інакше: при збільшенні аргументу вона постійно монотонно зменшується, переходячи із зони позитивних в зону від'ємних значин (крива 1, рис. 5.7).

Для будь-якого подальшого аналізу така нормована кореляційна функція непридатна. І принаймні одна причина цього явища відома. Вона полягає в тому, що досліджуваний випадковий коливний процес є нестационарним за математичним очікуванням.

5.2.6 Спектральна щільність

Крім кореляційної функції внутрішні властивості і структуру процесу відображає спектральна щільність. І якщо перша здійснює це у часовому вимірюванні, то друга – у частотному.

Додаткової інформації про випадковий процес спектральна щільність не дає. Водночас, для реальних випадкових процесів, які мають місце при роботі сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів та функціонуванні інших динамічних систем, найбільш фізично відчутною характеристикою є саме спектральна щільність.

З кореляційною функцією ця характеристика зв'язана загальновідомим косинусперетворенням Фур'є. Позначається ця характеристика як $S(\omega)$, а її розмірністю є добуток дисперсії процесу на час ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$, $\text{см}^2 \cdot \text{с}$, $\text{Н}^2 \cdot \text{с}$ тощо).

Для будь-якої частоти ω добуток $S(\omega) \cdot d\omega$ (рис. 5.8) є площа елементарного прямокутника, тобто дисперсія, яка припадає на елементарний інтервал частот $d\omega$ біля частоти ω .

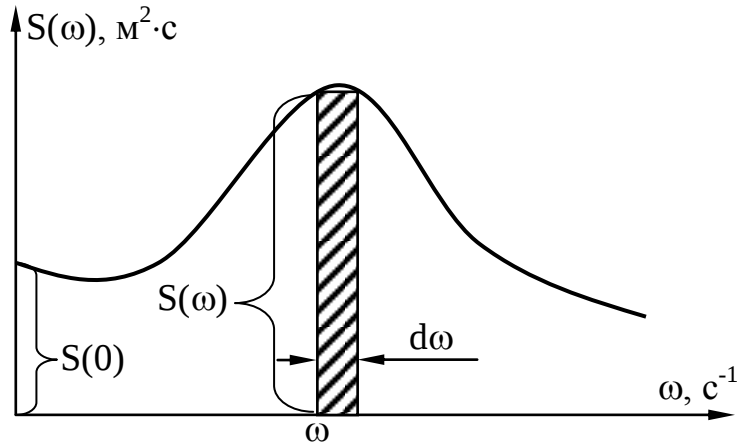


Рис. 5.8 – Графік спектральної щільності $S(\omega)$

Як бачимо, за природою спектральна щільність відображає енергію процесу – тобто характер розподілу його дисперсії по частотах (ω).

На практиці частіше за все використовують нормовану спектральну щільність $\sigma(\omega)$, розмірність якої – час:

$$\sigma(\omega) = S(\omega)/D.$$

Нормована спектральна щільність є завжди позитивною функцією частоти ω . Площа під її кривою дорівнює одиниці.

Основними параметрами, які використовуються при оцінюванні $\sigma(\omega)$, виступають (рис. 5.9):

- частота зрізу – ω_c ;
- ширина спектру $\Delta\omega$;
- частота ω_0 , за якої спектральна щільність досягає максимуму;
- значина спектральної щільності $\sigma(\omega_0)$ при частоті ω_0 ;
- спектральна щільність $\sigma(0)$ при частоті $\omega = 0$.

Частота зрізу ω_c – суттєва характеристика спектральної щільності. Вона визначає верхню межу спектру частот процесу. Оскільки для більшості процесів, які мають місце під час роботи сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів, спектральна щільність $\sigma(\omega)$ є безперервною функцією частоти ω , то величина ω_c визначає і ширину спектру їх (процесів) дисперсій $\Delta\omega$. Тобто

$$\Delta\omega = \omega_c.$$

На практиці частоту ω_c приймають такою, за якої значина $S(\omega)$ або $\sigma(\omega)$ стає досить малою. Низка дослідників пропонує таку залежність:

$$\sigma(\omega_c) = 0,05 \cdot \sigma(0).$$

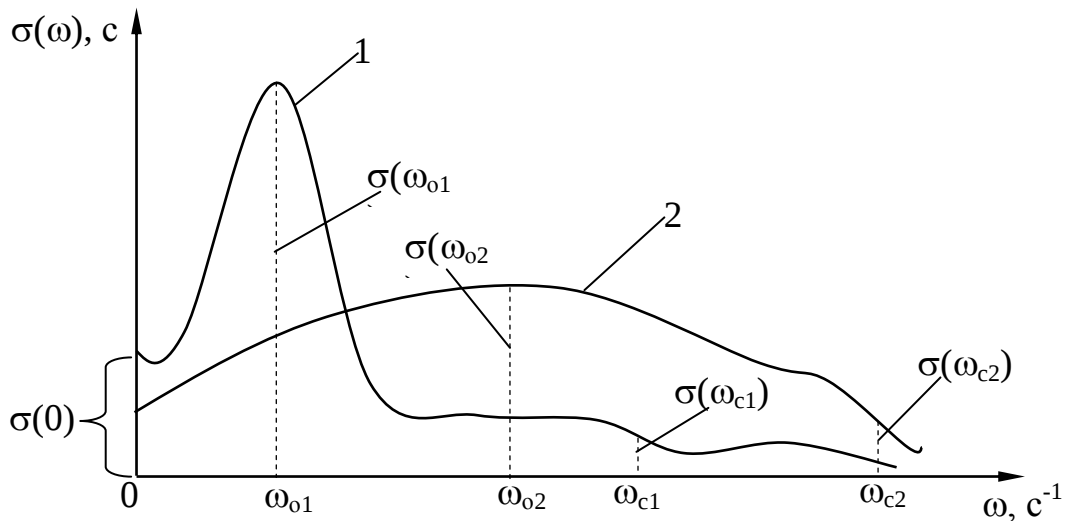


Рис. 5.9 – Основні параметри спектральних щільностей випадкових процесів

Не дивлячись на те, що спектральна щільність визначає спектральний розподіл кореляційної функції ρ , вона визначає ще й частотний склад випадкового процесу. Саме той із них є більш високочастотним, у якого частота зрізу ω_c (а значить і ширина спектру $\Delta\omega$) більша. Так, у наведеному прикладі на рис. 5.9 більш високочастотним є процес, нормована спектральна щільність якого представлена кривою 2. Частота зрізу цієї характеристики ω_{c2} значно більша за частоту зрізу ω_{c1} , яка репрезентує нормовану спектральну щільність 1.

Водночас, час кореляційного зв'язку нормованої кореляційної функції для процесу 1 буде значно більшим, ніж у кореляційної функції процесу 2.

При вивченні таких процесів, як коливання профілю шляху, прямолінійність сходів с.-г. культур, коливання траєкторії руху машинно-тракторного агрегату тощо їх аргументом виступає не час, а величина з розмірністю довжини.

При розрахунку кореляційних функцій і спектральних щільностей аргументами будуть відповідно зсув (як правило в м) і частота (в м^{-1}). Для переходу до таких аргументів, як час (с) і частота (с^{-1}), слід абсциси точок кореляційної функції розділити, а абсциси точок спектральної щільності – помножити на швидкість руху агрегату (м/с). Водночас, ординати точок кореляційної функції при цьому треба залишити без змін, а ординати точок спектральної щільності – поділити на вищезгадану швидкість руху МТА (чи іншої динамічної системи).

5.2.7 Взаємна кореляційна функція

Досить часто ту чи іншу динамічну системи представляють випадкові процеси, для яких треба встановити не тільки стохастичні характеристики, а й визначити їх взаємний вплив. Такою статистичною характеристикою є взаємна кореляційна функція $R_{xy}(t_1, t_2)$. Для двох випадкових процесів $X_1(t)$ і $Y_1(t)$ вона характеризує ступінь зв'язку між перерізом процесу $X_1(t)$ при $t = t_1$ і перерізом процесу $Y_1(t)$ при $t = t_2$. На практиці досить часто використовують нормовану взаємну кореляційну функцію $\rho_{xy}(t_1, t_2)$, яку знаходять із виразу:

$$\rho_{xy}(t_1, t_2) = R_{xy}(t_1, t_2) / [\sigma_x(t_1) \cdot \sigma_y(t_2)],$$

де $\sigma_x(t_1)$, $\sigma_y(t_2)$ – середні квадратичні відхилення процесів $X_1(t)$ і $Y_1(t)$.

Інколи застосовують спрощену форму запису цього виразу:

$$\rho_{xy} = R_{xy} / [\sigma_x \cdot \sigma_y].$$

У випадку дискретного фіксування ординат випадкових процесів оцінка нормованої взаємної кореляційної функції розраховується за формулою:

$$\rho_{xy} = \frac{1}{(N-m-1) \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \sum_{i=1}^{N-m} \dot{X}_i \cdot \dot{Y}_{i+m},$$

де $m = 0, 1, 2, 3 \dots$ – число, яке визначає зсув по осі абсцис;

$\dot{X}_i$, $\dot{Y}_{i+m}$ – нормовані ординати реалізації процесу X в момент часу i і процесу Y в момент часу $i + m$ відповідно;

Взаємна кореляційна функція може відображатися у 4-х квадрантах. Якщо її максимум знаходиться у першому чи другому квадрантах, то між статистично випадковими процесами X і Y існує позитивний кореляційний зв'язок (рис. 5.10). Тобто, збільшення значин (ординат) одного із них обумовлює відповідне збільшення значин другого.

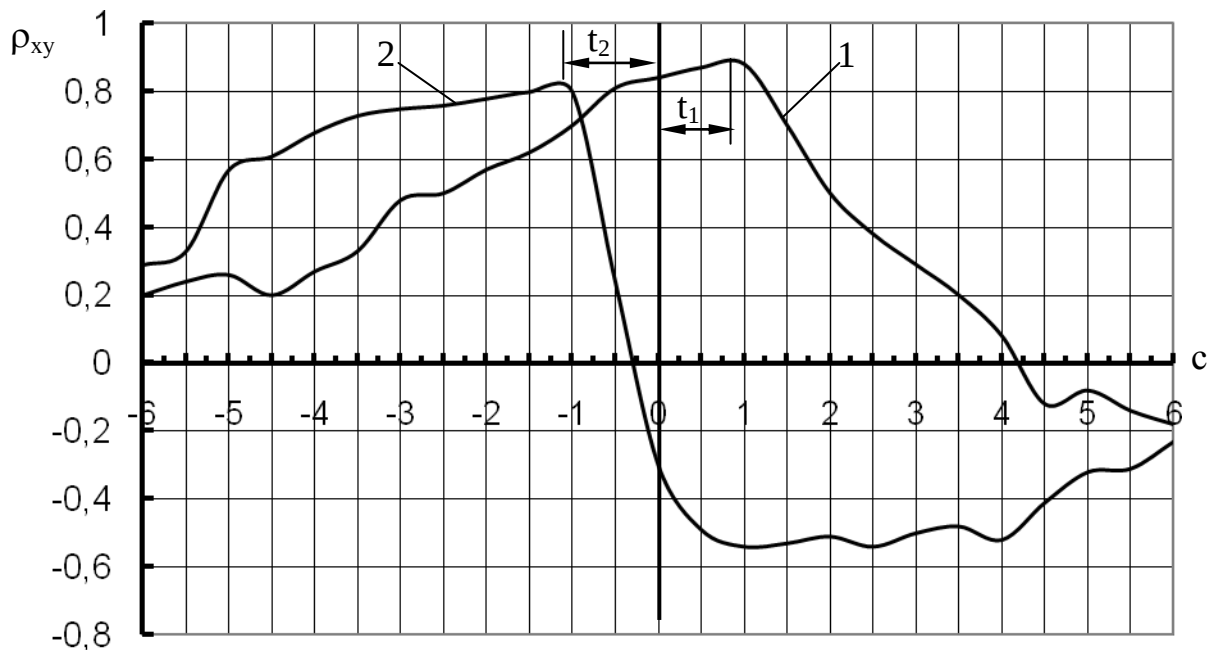


Рис. 5.10 – Взаємні нормовані кореляційні функції для позитивно корельованих випадкових процесів

Коли ж максимум функції розташований у третьому або четвертому квадрантах, то кореляційний зв'язок між двома процесами є від'ємним (рис. 5.11).

Тіснота кореляційного зв'язку оцінюється величиною максимуму взаємної кореляційної функції: чим вона більша – тим тісніший зв'язок. Так із рис. 5.10 бачимо, що максимальна значина взаємної кореляційної функції 1 становить 0,9, а функції 2 – тільки 0,82. Звідси випливає, що функція 1 репрезентує більш тісний кореляційний зв'язок між процесами X і Y , ніж функція 2.

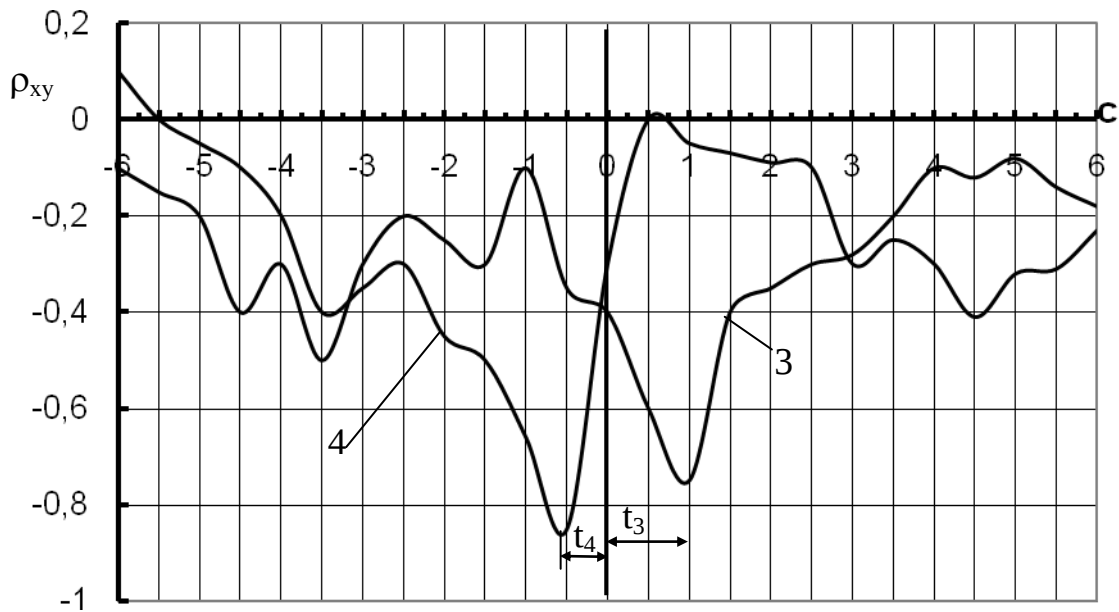


Рис. 5.11 – Нормовані взаємні кореляційні функції для від’ємнокорельованих випадкових процесів

Аналогічно, із рис. 5.11 маємо, що функція 4 відтворює більш тісний (хоча і від’ємний) кореляційний зв’язок двох випадкових процесів, оскільки максимальна її значина становить 0,88, а максимальна значина взаємної нормованої кореляційної функції 3 – тільки 0,76.

Проміжок часу між нульовою позначкою осі абсцис і максимальною значиною взаємної нормованої кореляційної функції характеризує фазовий зсув (або час запізнення реакції) між випадковими процесами X і Y . На рис. 5.10 і 5.11 ці зсуви показано позначками t_1 , t_2 і t_3 і t_4 відповідно.

Більше того, знак фазового зсуву (позитивний чи від’ємний) вказує на те, який із двох досліджуваних процесів є входом, а який виходом. А саме: якщо фазовий зсув позитивний (рис. 5.10, t_1 і рис. 5.11, t_3), то входним є той процес, який таким і розглядався. Інакше, тобто при від’ємній значині цього показника (рис. 5.10, t_2 і рис. 5.11, t_4) входним процесом є той, який передбачався вихідним.

Пояснимо це таким прикладом. Нехай розглядається керованість руху такої динамічної системи, як орний машинно-тракторний агрегат. Входним параметром у неї є керуючий вплив – кут повороту керованих коліс трактора α , а вихідним – його курсовий кут φ . Під час експерименту було зафіксовано масиви ординат цих параметрів і розрахована взаємна нормована кореляційна функція.

Якщо фазовий зсув цієї функції є позитивним (як на рис. 5.10, крива 1 або на рис. 5.11, крива 3), входним параметром динамічної системи є, як і передбачалося, кут α , а вихідним – кут φ . Величина фазового зсуву вказує при цьому час запізнення реакції МТА на керуючий вплив.

Якщо ж фазовий зсув взаємної нормованої кореляційної функції є від’ємним (як на рис. 5.10, крива 2 або на рис. 5.11, крива 4), то входом динамічної системи є курсовий кут трактора φ , а виходом – кут повороту його керованих коліс α . Тоб-

то, зміна керуючого впливу обумовлена не потребою відслідковування агрегатом траєкторії попереднього проходу, а зміною курсового кута трактора під впливом тих чи інших зовнішніх чинників – збурень.

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 (якщо має місце криволінійний зв'язок).

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 простого 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 обумовлені 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 y_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 y_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. Методика вибору табличної значини F -критерію досить ґрунтовно описана в [].

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 **двостонними**.

Прикладами таких двостонних 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. 5.12.

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 двостонними 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 двостонної кривої), яка поділяє двостонну криву на дві частини з суттєво різними властивостями та запропонувати метод визначення її положення.

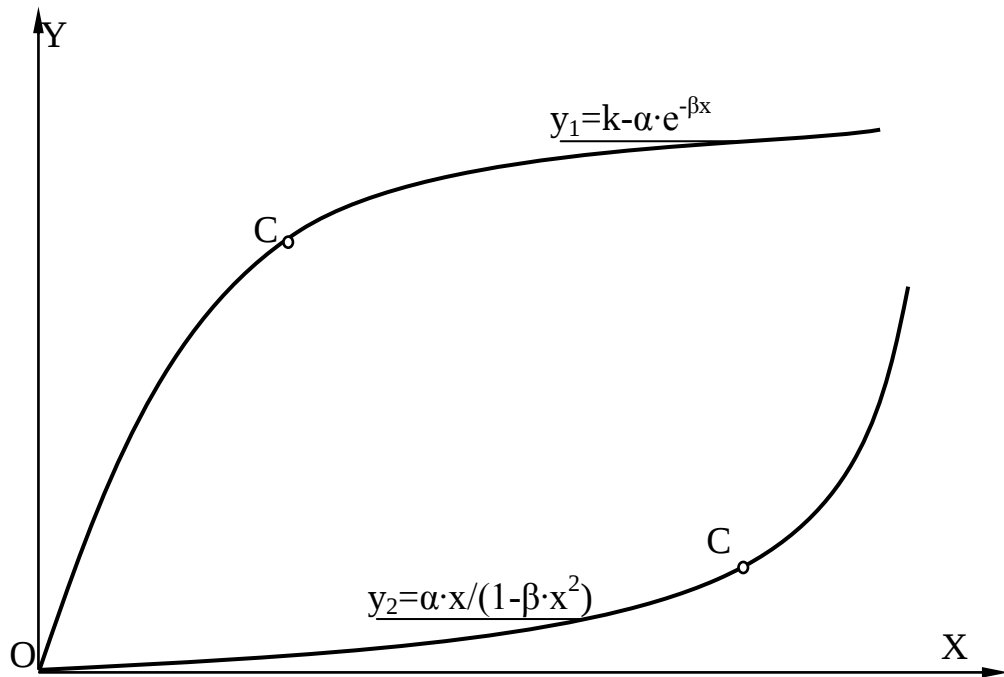


Рис. 5.12 – Типові графіки двозонних кривих

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. 5.13).

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.

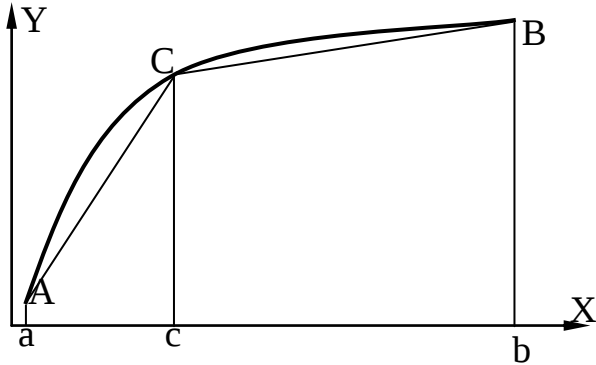


Рис. 5.13 – Ламана, вписана в криву

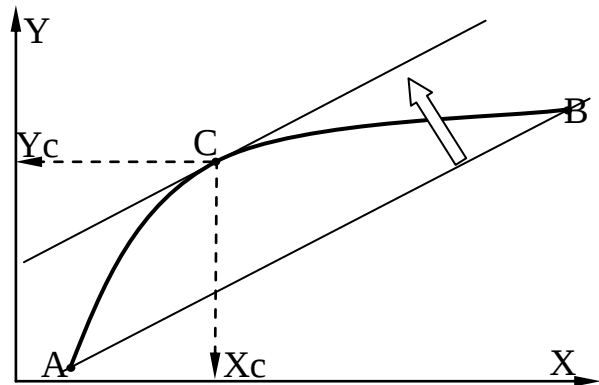


Рис. 5.14 – Графічний метод пошуку точки оптимуму

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. 5.14). 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. 5.14).

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

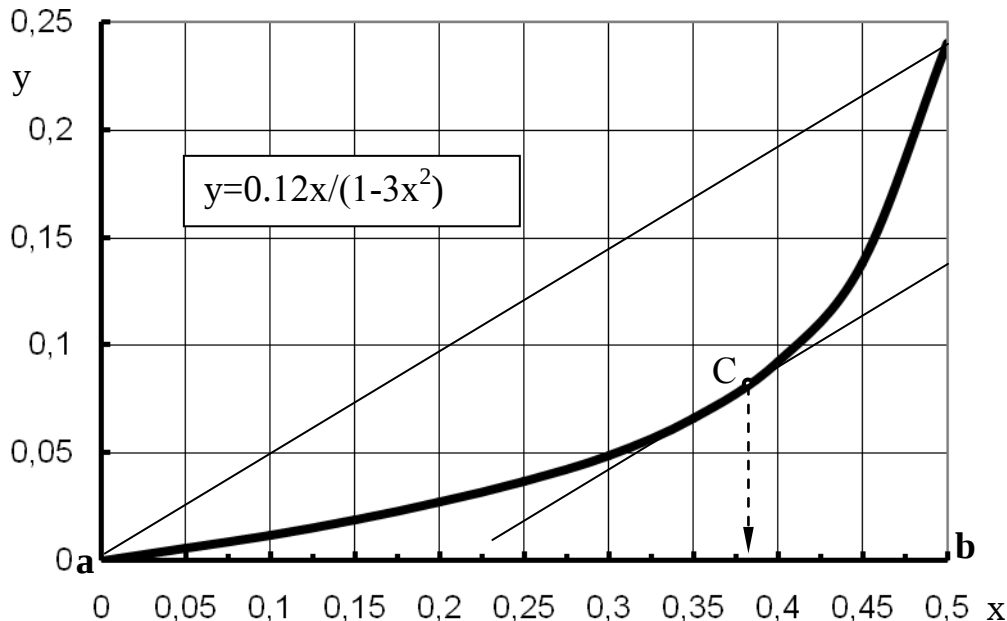


Рис. 5.15 – Практичне визначення координат т. C

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 бікватратне 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.

Насамкінець наведемо ще одну геометричну інтерпретацію умови для визначення X -координати точки оптимуму C . Якщо задану двозонну криву повернути та зсунути (не змінюючи її форми!) так, щоб її кінці мали однакові ординати (наприклад, лежали на осі OX), то точка C буде точкою екстремуму (максимуму або мінімуму) функції, графік якої отримано в результаті викладеного вище перетворення.

5.5. Особливості дисперсійного аналізу

При проведенні дисперсійного аналізу одночасно обробляють дані кількох варіантів, які у цілому складають єдиний статистичний комплекс, сформований у вигляді спеціальної робочої таблиці. Досить часто для цього використовують офіс Microsoft Excel, у якому підключають функції дисперсійного аналізу із пакету «Аналіз даних».

Суть дисперсійного аналізу полягає у оцінюванні дії і взаємодії досліджуваних факторів по F-критерію на основі розподілу загальної суми квадратів відхилень і загального числа ступенів вільності на компоненти.

Коли обробляють однофакторні статистичні комплекси, які складаються із кількох незалежних варіантів, то таких компонентів два: 1) варіювання між варіантами (C_v) і 2) варіювання усередині варіанту (C_z). Мінливість ознаки в цілому (C_y) складається при цьому із наступної суми:

$$C_y = C_v + C_z.$$

Загальне число ступенів вільності ($N - 1$) теж розділяється на дві частини:

$$N - 1 = (l - 1) + (N - l),$$

де N – загальна кількість дослідів;

l – кількість варіантів.

У цьому рівнянні доданок $(l - 1)$ – це число ступенів вільності варіювання між варіантами (C_v), а $(N - l)$ – число ступенів вільності варіювання усередині варіанту (C_z).

Суми квадратів C_v і C_z ділять на відповідні їм ступені вільності. У результаті отримують наступні два середніх квадрати (по суті справи – дисперсії):

$$S_v^2 = C_v / (l - 1);$$

$$S^2 = C_z / (N - l).$$

При обробленні однофакторних статистичних комплексів, варіанти яких зв'язані наявністю, наприклад, рендомізованих n повторень, з'являється компонента варіювання повторень C_p . У зв'язку з цим:

$$C_y = C_v + C_z + C_p;$$

$$N - 1 = (n - 1) + (l - 1) + (n - 1) \cdot (l - 1);$$

$$S_v^2 = C_v / (l - 1);$$

$$S^2 = C_z / [(n - 1) \cdot (l - 1)].$$

Використовуючи дисперсії S_v^2 і S^2 , визначають фактичну значину критерію Фішера – F_ϕ :

$$F_\phi = S_v^2 / S^2.$$

Теоретичну значину цього критерію (F_τ) для прийнятого статистичного рівня значущості знаходять із таблиць з урахуванням чисел ступенів вільності дисперсій S_v^2 і S^2 . Якщо $F_\phi < F_\tau$, то нуль-гіпотеза про рівність середніх значин порівнюваних варіантів не відхиляється. Подальша оцінка закінчується, оскільки усі порівнювані середні значини є оцінками однієї і тієї ж генеральної сукупності.

Коли ж виявиться, що $F_\phi \geq F_\tau$, то нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних середніх відхиляється. У цьому випадку доцільно додатково встановити між якими порівнюваними середніми значинами є суттєва різниця.

Дисперсійний аналіз даних багатфакторного експерименту здійснюють у два етапи. На першому розкладають загальну варіацію результативної ознаки на варіювання варіантів і усередині них. Тобто знову ж таки

$$C_y = C_v + C_z.$$

На другому етапі суму квадратів відхилень для варіантів розкладають на компоненти, які відповідають джерелам варіювання, – головні ефекти досліджуваних факторів і їх взаємодія. Для двофакторного дослідження, наприклад, маємо:

$$C_v = C_A + C_B + C_{AB},$$

де C_A, C_B – дисперсії варіювання факторів А і В;

C_{AB} – дисперсія варіювання парного впливу факторів А і В.

Сучасна теорія планування експерименту і статистичний аналіз базуються на принципах рендомізації. Теорія вимагає, аби усі спостереження були незалежними. Тільки у цьому випадку дисперсійний аналіз дає правильну, незміщену оцінку похибки експерименту.

Дисперсійний аналіз для польових дослідів неможливий без повторень. За мінімальної їх кількості, яка дорівнює два, однофакторні дослідження слід проводити із 4 – 6 повтореннями. Інакше мають місце великі помилки, із-за чого навіть значні ефекти варіантів можуть не отримати необхідного статистичного доказу.

Проведення багатфакторного дисперсійного аналізу без повторень у принципі можливе. У цьому випадку загальна сума квадратів відхилень знаходиться із наступного виразу:

$$C_y = C_A + C_B + C_{AB+Z}.$$

При цьому важливо запам'ятати наступну закономірність: ефекти взаємодії факторів зі збільшенням їх порядку зменшуються. Тобто

$$\text{ефект АВ} > \text{ефект АВС} > \text{ефект АВCD} \dots$$

При цьому, парні взаємодії, які називають взаємодіями першого порядку, зазвичай дають значні, а взаємодії більш високих порядків між трьома і більше факторами, – як правило незначні і статистично невідчутні ефекти. Тому, без урахування парних взаємодій експериментатор втрачає досить цінну інформацію. Не менші втрати інформації мають місце і із-за жертвування взаємодією факторів більш високих порядків.

Ще одна небезпека проведення багатфакторних дослідів без повторень полягає у тому, що випадкова втрата із обліку навіть однієї ділянки лишає дослідника можливості статистично обробити отримані експериментальні дані.

З урахуванням вищевикладеного, багатфакторні експерименти без повторень можуть бути рекомендовані лише для проведення тимчасових, пошукових дослідів.

Вище уже підкреслювалося, що при відхиленні нуль-гіпотези про рівність середніх значин порівнюваних факторів постає питання визначення між якими саме із цих характеристик існує суттєва різниця. На практиці для цього застосовують два методи, досить повно описані у спеціальній літературі. Нагадаємо, що перший із них передбачає проведення оцінки значущості між середніми за значною найменшою істотною різницею (тобто НІР).

Згідно з другим методом оцінка значущості різниці між вибірковими середніми здійснюється з допомогою величини потроєної похибки середньої величини (по В.Н. Перегудову).

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. Яку інформація про випадковий процес дає кореляційна функція? У яких одиницях вона вимірюється?
11. Чим нормована кореляційна функція відрізняється від ненормованої?
12. На що вказує точка перетину кореляційної функції із віссю абсцис?
13. Як за виглядом кореляційної функції визначити наявність прихованої складової у випадковому процесі?
14. Яку інформацію несе декремент затухання кореляційної функції?
15. Як з допомогою кореляційної функції порівняти частотний склад двох випадкових процесів?
16. Як з допомогою кореляційної функції перевірити випадковий процес на стаціонарність?
17. Яку додаткову інформацію щодо внутрішньої природи випадкового процесу дає спектральна щільність? У яких одиницях вона вимірюється?
18. Назвіть основні характеристики спектральної щільності?
19. Чому спектральна щільність не може бути від'ємною?
20. Яку інформацію досліднику дає взаємна кореляційна функція?
21. Як з допомогою взаємної кореляційної функції визначити фазу між двома випадковими процесами?
22. На що вказує коефіцієнт детермінації?
23. У чому полягає суть методики визначення характеру зв'язку між функцією і аргументом: лінійна чи нелінійна?
24. Що таке індекс детермінації?
25. Суть методики аналізу кривих за відсутності у них оптимуму.
26. Для чого у дослідженнях використовується дисперсійний аналіз? Розкажіть методику його застосування.

Глава 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

$$K_n = P/P_b;$$

$$K_m = P/P_z;$$

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

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

P_z – значина аналогічного параметра для кращих закордонних зразків.

У протилежному випадку

$$K_n = P_b/P;$$

$$K_z = P_z/P.$$

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 проведеним 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 якомось іншому рішенню 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).

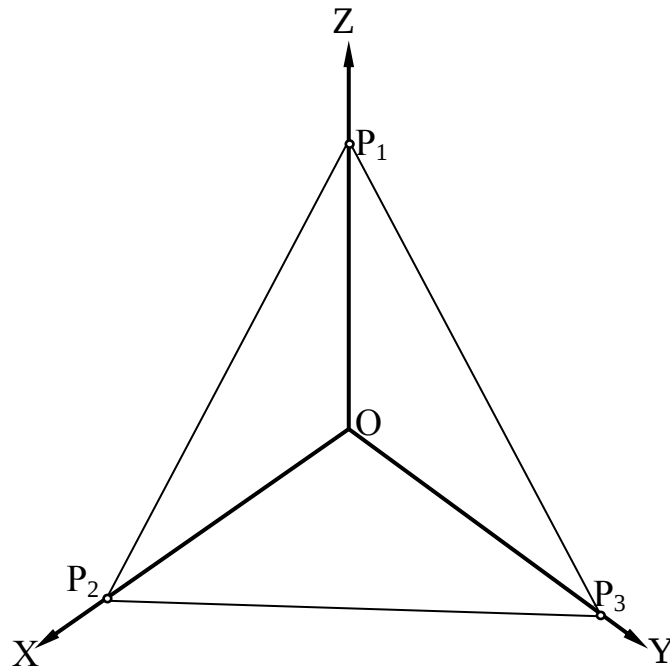


Рис. 6.1 – Графічна інтерпретація методу «прямокутної піраміди»

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:

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i}{W_{зм}} + \frac{Б \cdot a}{W_{зм} \cdot T_з} + \frac{Б \cdot (r_T + r_K)}{W_{ек} \cdot T_H} +$$

$$+ \sum_{i=1}^K q_i \cdot \Pi_i + \frac{\sum_{i=1}^n З_{пi} \cdot r_i + \Pi_d + S_з}{W_{ек} \cdot T_з} + \frac{C_K \cdot Б}{100 \cdot W_{ек} \cdot T_з}$$

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;
- a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини. Визначають за допомогою прямолінійного методу нарахування амортизації, тобто $a = 1 / T$, де T – термін служби машини в роках;
- $T_з$, T_H – 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);
- Π_i – ціна одного кілограма пального (однієї кіловат-години електроенергії), грн/кг (грн/ кВт·год);
- $З_{пi}$ – затрати праці і-ої категорії працівників на доскладання та монтування машини, люд.-год;
- Π_d – вартість матеріалів, які використані на доскладанні та монтуванні машини, грн;
- $S_з$ – 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:

$$E_p = (\Pi_6 - \Pi_H) + E_{як},$$

де $\Pi_{\text{б}}$, $\Pi_{\text{н}}$ – сукупні витрати на виконання річного обсягу робіт у господарстві відповідно базовою та новою машиною, грн;
 $E_{\text{як}}$ – річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції в результаті експлуатації нової машини, грн.

Як показує практика, у багатьох випадках величину $E_{\text{як}}$ 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 $E_{\text{як}}$, не виправдано зменшуючи при цьому рівень ефективності нового технічного рішення.

Другим важливим показником ефективності використання тієї чи іншої машини є питомі витрати праці ($З_{\text{п}}$). Для їх визначення використовують формулу:

$$З_{\text{п}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{W_{\text{ек}}}.$$

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).

Глава 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.

Багато, щоб у вступній частині автор привів короткий аналіз результатів наукових досліджень попередників, які розглядали подібну проблему. Особли-

ву 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 ґрунтовного, 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 (кегель 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 з боку аудиторії.

Для кращої побудови доповіді 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 (через два інтервали).

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 уміння 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).

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.

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 віднестися 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?

Глава 8

МЕТОДИКА НАПИСАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

8.1. Загальна характеристика дисертаційної роботи

Згідно із правилами Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань *дисертація* на здобуття наукового ступеня є завершеною *кваліфікаційною науковою працею*, виконаною *особисто* у вигляді спеціально підготовленого рукопису або опублікованої наукової монографії. Вона містить висунуті автором для прилюдного захисту науково обґрунтовані теоретичні або експериментальні результати, наукові положення, а також характеризується єдністю змісту і свідчить про особистий внесок здобувача в науку.

У рукопису дисертаційної роботи її загальна характеристика викладається у вступі, а у авторефераті – з першої його сторінки (додаток Р). Структура цієї частини роботи нині певним чином формалізована і складається із наступних рубрик:

- актуальність теми;
- зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами;
- мета і задачі дослідження;
- об'єкт дослідження;
- предмет дослідження;
- методи дослідження;
- наукова новизна одержаних результатів;
- практичне значення одержаних результатів;
- особистий внесок здобувача;
- апробація результатів дисертації;
- публікації;
- структура та обсяг дисертації.

При висвітленні актуальності теми здобувач в першу чергу повинен чітко окреслити *народногосподарську проблему*, вказати причини її виникнення і ті можливі наслідки, які можуть мати (або мають) місце за умови її не вирішення.

Водночас, народногосподарська проблема може бути вирішена тільки тоді, коли чітко визначена *проблема (або задача) науково-технічна*. Тобто та, розв'язання якої неможливе без відповідного наукового супроводу. Актуальність наукового дослідження здобувача полягає саме у тому, щоб чітко визначити та розробити наукові основи цього супроводу.

Тема дисертації має бути тісно пов'язана з напрямками основних досліджень наукової установи або організації, де вона виконується (інститут, факультет, кафедра), а також з галузевими та (або) державними науковими планами чи програмами. Фактичним офіційним підтвердженням такого зв'язку є наявність належним чином підготовлених і затверджених річних звітів про виконання науково-дослідних робіт, співвиконавцем яких є здобувач.

При формулюванні *мети, об'єкту, предмету і методів дослідження* доцільно скористатися тими методичними порадами, які викладені у параграфах 2.4 і 2.5.

Наукова новизна дисертаційного дослідження має подаватися не у вигляді констатації виконання того чи іншого пункту задач дослідження, а певної мірою декларувати і частково розкривати суть тих нових залежностей і закономірностей, які отримані здобувачем особисто. З конкретним прикладом формулювання новизни дисертаційної роботи, представленої на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук, можна ознайомитися у додатку К.

Наповнення рубрики *«Практичне значення одержаних результаті»* залежить від напрямку дисертації – теоретичний чи практичний. У дисертації, що має теоретичне значення, треба подати відомості про наукове використання результатів дослідження, значущість для розвитку науки, рекомендації щодо використання висновків і результатів дисертації, можливість використання її як теоретичної основи для нових досліджень.

У дисертації, що має практичне значення, необхідно подати відомості про практичне застосування одержаних результатів або рекомендації щодо їх використання, про ступінь готовності до широкомасштабного впровадження.

Слід пам'ятати, що кінцева мета будь-якої дисертації – не лише у використанні її результатів для вирішення наукових завдань, а й у впровадженні їх у суспільну практику. Тому в авторефераті поряд з поданням теоретичної значущості результатів важливо виділити ті з них, які мають безпосередню практичну цінність. Сюди можна віднести нові методи, моделі, прийоми, засоби, технологічні процеси та ін.

Рівень дисертації, як і будь-якої науково-дослідницької роботи, оцінюється по тому, як, де і коли реалізовані її результати. Тому необхідно дати короткі відомості щодо впровадження результатів дослідження із зазначенням конкретних назв організацій чи підприємств.

Особистий внесок здобувача – це ті результати, які отримані здобувачем особисто. Як правило, їх перераховують за пунктами, виділяючи найсуттєвіші рішення провідної ідеї, що становлять основу наукових положень, висновків і результатів, які подаються для захисту.

Якщо у дисертації використано ідеї або розробки співавторів, здобувач повинен зазначити це у дисертації та в авторефераті, вказати на свій особистий внесок у праці чи розробці.

Апробація результатів дисертації є безпосереднім свідченням про те, що основні її положення, висновки та результати були оприлюднені і дістали схвалення, тобто були апробовані. Ці відомості включають виклад того, де, коли здобувач виступав зі своїми ідеями (на наукових з'їздах, конференціях, симпозіумах, нарадах, при проведенні спеціальних семінарів, авторських курсів та ін.).

Рубрика щодо *публікацій* тісно пов'язана з попередньою і включає кількісні дані про публікації з теми дисертації. Тут указують у скількох монографіях, брошурах, статтях (зокрема фахових), матеріалах і тезах конференцій, авторських свідоцтвах опубліковані матеріали дисертації.

Структурою та обсягом дисертації завершується загальна характеристика роботи. В ній указують на наявність певної кількості розділів, наводять обсяг дисертації в сторінках, а також обсяг ілюстрацій, таблиць, додатків і списку використаних джерел.

8.2. Вимоги до дисертаційної роботи та автореферату

Основний зміст дисертаційної роботи складається із кількох розділів. Перший із них містить огляд літератури за темою, аналіз наукових концепцій, думок за проблемою. Стисло, але саме головне – критично – аналізуються роботи попередників, визначається місце здобувача у розв'язанні проблеми. Закінчується розділ коротким резюме про доцільність проведення досліджень у даній галузі і формулюванням мети та задач дослідження.

Другий розділ більшість дослідників присвячують розробці того теоретичного апарату, який потрібен для вирішення сформульованих раніше відповідних задач. Тут же приводять і аналіз результатів теоретичних досліджень.

Практика останніх років чітко окреслила такі **типові помилки**, які мають місце при написанні цього дуже важливого розділу у рефераті. Так, замість формулювання постановки задачі та приведення кінцевого теоретичного результату, здобувачі викладають проміжні перетворення, які досить часто є тривіальними, а тому не інформативними.

Має місце відсутність логічної послідовності при висвітленні теоретичної частини роботи. Досить часто представлений матеріал відірваний від задач дослідження. В результаті читачеві не зрозуміло з якою метою він приведений у дисертації і авторефераті.

У більшості дослідників опущено підтвердження адекватності розроблених аналітичних моделей і залежностей. Без цього важко судити про достовірність отриманих результатів теоретичних досліджень.

Не приводиться методика теоретичних досліджень. Причому, не тільки в авторефераті, але й у дисертації, що в принципі недопустимо. Читач повинен мати уяву про те, що приймав здобувач в якості вхідних (змінних параметрів) і які параметри були оціночними.

Отримані результати теоретичного моделювання викладаються без належної інтерпретації. Проста ж констатація факту ще не розкриває ті теоретичні закономірності, які лежать в його основі.

Висновки в кінці розділу (дисертацій) носять форму простих анотацій, а не розкривають суті отриманих теоретичних закономірностей.

У третьому розділі приводиться програма і методика експериментальних досліджень. Програма лабораторних або/і лабораторно-польових робіт повинна повністю кореспондуватися з сформульованими раніше відповідними задачами дослідження.

Крім програми, слід стисло викласти суть оригінальних методик досліджень (якщо такі методики є), дати перелік основних вимірних параметрів, привести короткі технічні характеристики використаних оригінальних приладів та обладнання, привести методику оброблення експериментальних даних та оцінки погрішності вимірювань.

Багато дослідників застосовують планування експерименту. Нині вже стало правилом ні в дисертації, ні, тим більше, у авторефераті не приводити матрицю планування, а також ті формули, використання яких є формалізованою процеду-

рою у відповідних математичних пакетах, призначених для оброблення регресійних моделей. Досить обмежитися викладенням методики вибору параметрів, діапазонів їх варіювання та функції мети.

При розв'язанні задач оптимізації у методичному розділі слід чітко вказати за якими критеріями це здійснюється.

Четвертий і інші розділи присвячують аналізу результатів експериментальних досліджень. При викладенні дослідного матеріалу не слід обмежуватися лише констатацією того чи іншого факту. Фаховий рівень науковця визначається саме можливістю проводити ґрунтовний аналіз отриманих даних. Наприклад, більшість здобувачів після отримання регресійних моделей того чи іншого процесу приводять лише відповідні поверхні відгуків із зазначенням оптимальних значин досліджуваних параметрів.

Натомість, для наукової спільноти більш важливими є не стільки оптимальні значини параметрів, скільки закономірності, які впливають із графічної інтерпретації досліджуваного процесу. Адже коли конкретні значини параметрів найбільш прийнятні лише для тих умов, які мали місце під час проведення експерименту, то виявлені закономірності можуть бути корисними і прийнятними в умовах, відмінних від дослідних.

Для робіт технічного напрямку при розв'язанні прикладної наукової задачі у цьому розділі має бути приведена експлуатаційно-технологічна оцінка розробленого технічного рішення.

У *останньому розділі* приводиться техніко-економічне обґрунтування отриманого результату. Найчастіше це здійснюють шляхом порівняння сукупних витрат, розрахованих для базового та нового варіантів рішення прикладної задачі.

Висновки. У них подається стисла інформація щодо підсумків виконаної роботи. При цьому обов'язково зазначають, чи досягнуто основної мети дисертаційного дослідження.

Висновки – це наукові положення, що належать особисто автору, які він виносить на прилюдний захист. Тому до їх формулювання слід підійти особливо відповідально. Їх зміст має відповідати меті і задачам дослідження і вони аж ніяк не можуть носити форму анотації. Для прикладу наведемо порівняння наступних двох висновків дисертаційної роботи.

1. *Розроблено математичну модель вертикальних коливань трактора ХТЗ-160 у агрегаті із задньонавісним та фронтальним плугами.*

2. *На основі аналізу математичної моделі вертикальних коливань трактора ХТЗ-160 у агрегаті із задньонавісним та фронтальним плугами встановлено, що, у порівнянні з поздовжнім профілем шляху, коливання тягового опору плугів здійснюють значно менший вплив на вертикальні переміщення енергетичного за собу. Що стосується запізнення реакції його переднього мосту на коливання тягового опору фронтального і задньонавісного знарядь, то в діапазоні частот $0,5 \dots 8,5 \text{ с}^{-1}$ для обох способів руху ХТЗ-160 (прямого та реверсивного) воно однакове і становить 360° . На більш високих частотах фазовий зсув у агрегаті з реверсивним рухом трактора зменшується, що небажано при відпрацюванні подібними динамічними системами таких та інших збурювальних впливів.*

Якщо перший висновок лише інформує читача про розробку математичної моделі орного агрегату, то другий, поряд з цією ж інформацією, додатково висвітлює ті певні наукові закономірності, які отримані в результаті роботи з моделлю і в подальшому можуть бути враховані при складанні подібних машинно-тракторних агрегатів як самим здобувачем, так і іншими дослідниками.

На жаль, практика показує, що останнім часом висновки першого роду все частіше зустрічаються у авторефератах здобувачів. В кращому випадку приводяться оптимальні чи раціональні значини досліджуваних параметрів. Здобувачам не слід забувати, що інформація анотаційного порядку приводиться у призначених для цього частинах автореферату (загальна характеристика роботи і анотація).

Питання для самоперевірки

1. Якою має бути структура загальної характеристики дисертаційної роботи?
2. Чому при висвітленні актуальності теми дисертаційного дослідження здобувач має чітко окреслити народногосподарську проблему?
3. Що дає здобувачеві визначення суті тієї науково-технічної проблеми, на вирішення якої направлені його дослідження?
4. Назвіть типові помилки, які мають місце при написанні здобувачами розділу дисертації, присвяченому теоретичним дослідженням.
5. Яким вимогам мають відповідати висновки дисертаційного дослідження?

ЛІТЕРАТУРА

1. Шейко В.М. Організація та методика науково – дослідницької діяльності / В.М. Шейко, Н.М. Кушнарєнко. – К.: Знання-Прес, 2003. – 295 с.
2. Основы научных исследований: Учебное пособие / А.А. Лудченко, Я.А. Лудченко, Т.А. Примаков. – К.: О-во «Знання», КОО, 2000. – 114 с.
3. Інженерна діяльність у сільськогосподарському виробництві / М.Л. Крижачківський, О.В. Дацишин, В.В. Овечко та ін. – К.: Урожай, 1996. – 176 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. Лурье и др. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1979. – 312 с.
6. Веников В.А. Теория подобия и моделирования / В.А. Веников. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
7. Зайченко Ю.П. Исследование операций / Ю.П. Зайченко. – К.: «Вища школа», 1975. – 320 с.
8. Барабашук В.И. и др. Планирование эксперимента в технике. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.
9. Дж.Франс. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж.Х.М. Торнли. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
10. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики / Ю.М. Коршунов. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
11. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 206 с.
12. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. – Л.: Колос, 1975. – 280 с.
13. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання (2-е видання доповнене і перероблене): Підручник / За ред. І.С. Сірого. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 353 с.

Приклад структура бази даних літературних джерел

База даних: КНИГА

Номер:	749
ФИО:	С.Лич
Название:	Вірусні хвороби зернобобових
Источник:	The Ukrainian Farmer, 2013, №3
Код:	Агрономия

Запись: 749 из 773

Приклад структура бази даних патентів на винаходи

База даних: ПАТЕНТ

Номер:	276566
Класс:	A 01 B 69/04
Дата:	19.05.1969
Бюллетень:	23
Страна:	СССР
ФИО:	Балькин В.А.
Название:	Система для автоматического направления движения агрегатов
Код:	Курс
Примечание:	Групповое вождение агрегатов

Запись: 213

Приклад бази даних авторефератів дисертацій

Microsoft Access

Файл Правка Вид Вставка Формат Записи Сервис Окно Справка

Times New Roman 14 Ж К Ч

Форма_Реферат : форма

Авторефераты диссертаций

№ п/п 42 **ФИО:** Скляр Александр Григорьевич

Тема: Повышение работоспособности гидропривода коробки передач трактора с переключением без разрыва потока мощности

Специальность: 05.20.03 **Научная степень:** К

Объект исследований: Гидропривод коробки передач трактора Т- 150 К с переключением без разрыва потока мощности.

Предмет исследований: Повышение работоспособности гидропривода коробки передач трактора с переключением без разрыва потока мощности.

Ключевые слова: Гидропривод, рабочая жидкость, динамика гидропривода, давление, загрязнение.

Запись: 42 из 295

Режим формы

пуск Підручник Підручник_МНД.doc... Зміст.doc - Microsoft ... Базы даних

Приклад програми і методики
теоретичних та експериментальних досліджень

Лабораторія машиновикористання Південного філіалу ІМЕСГ УААН

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заст. директора ІМЕСГ
з наукової роботи, д.т.н.
В. Євтенко
_____ 8 січня 2000 р.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА
досліджень на 2000 рік

Тема 12 Розробити нові енергозберігаючі технологічні процеси і технічні засоби для виробництва зернових колосових, просапних та олійних культур для умов півдня України

Проект Р.12.3 РОЗРОБИТИ ТА ПЕРЕВІРИТИ В УМОВАХ ПІВДНЯ
УКРАЇНИ КОМПЛЕКСИ МАШИН НА ОСНОВІ НОВИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Керівник теми: директор, к.т.н. _____ Є. Гриднєв

Керівник проекту: зав. лабораторії, к.т.н. _____ В. Надикто

Якимівка, 2000 р.

Розділ Р.12.3.2П РОЗРОБИТИ ТА ЗДІЙСНИТИ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ НОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ТА КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДО НИХ

Замовник: ІМЕСГ УААН

Строки виконання розділу: початок – 2000 р., закінчення – 2000 р.

Відповідальний виконавець: В. Надикто, завідувач лабораторії, к.т.н., с.н.с.

Співвиконавці: лабораторії ПФ ІМЕСГ, ВАТ ХТЗ (м. Харків)

Мета дослідження

Підвищення ефективності використання орно-просапного трактора типу ХТЗ-120 шляхом покращення його тягово-енергетичних показників та розширення функціональних властивостей

1 Програма досліджень по розділу на 2000 рік.

1. Прогнозна оцінка ефективності застосування орно-про-сапного трактора типу ХТЗ-120.
2. Визначення потрібної кількості та річного завантаження тракторів типу ХТЗ-120 при впровадженні сівозмін з короткою ротацією с.-г. культур в умовах півдня України.
3. Теоретичні дослідження стійкості руху просапного МТА на основі трактора ХТЗ-120.
4. Лабораторно-польові дослідження траєкторних параметрів посівного та культиваторного агрегатів на базі ХТЗ-120.

Очікувані результати на кінець 2000 року:

- короткостроковий прогноз ефективності впровадження у сільськогосподарське виробництво України нового орно-просапного трактора типу ХТЗ-120;
- потрібна кількість, річне завантаження та зведені витрати при використанні орно-просапного трактора на вирощуванні с.-г. культур в сівозміні з їх короткою ротацією;
- оцінка впливу асиметричного агрегування просапних знарядь (сівалки та культиватора) з трактором ХТЗ-120 на керованість і стійкість його руху.

2 Об'єкт досліджень

ВАТ ХТЗ розроблено сімейство нових орно-просапних тракторів, базовим із яких є ХТЗ-120. Останній виконаний за інтегральною схемою з однаковими ведучими колесами, передні із яких керовані. Передній міст має балансирний підвіс, що суттєво зменшує навантаження на раму при рухові по нерівностях шляху. Високі тягово-зчіпні властивості ХТЗ-120 забезпечуються за рахунок використання

ведучих мостів з автоматичним блокуванням диференціалу. За своїми тягово-енергетичними показниками цей трактор відповідає енергетичному засобу класу 3 (Т-150К) [1].

Рядний 4-х циліндровий двигун СМД-19Т.02 має два режими потужності: 120 та 145 к.с. Ця дуже цінна якість дає можливість більш ефективно завантажувати двигун в умовах практичного експлуатування трактора. Перемикання режимів потужності – швидко і може легко здійснюватися механізатором в польових умовах.

У відповідності з вимогами сьогодення трактор ХТЗ-120 оснащений передньою та задньою навісними системами, переднім і заднім валами відбору потужності, гідравлічним її відбором та реверсивним постом керування. На ньому можуть установлюватися як одинарні та здвоєні шини для роботи в міжряддях просяпаних культур, так і більш широкі одинарні та здвоєні шини для виконання операцій по основному обробітку ґрунту.

3 Методика досліджень

3.1. Від моменту завершення проектно-конструкторських робіт до початку їх впровадження на практиці проходить деякий час, порівняний з періодом короткострокового прогнозування. Для проведення такого прогнозу стосовно нового орно-просапного трактора типу ХТЗ-120 в повній мірі підходить метод числових параметрів [2], в основу якого покладено визначення двох узагальнених критеріїв. Перший із них (критерій технічного рівня K_1) характеризує прогнозуємий об'єкт по відношенню до аналогічних існуючих вітчизняних зразків, а другий (критерій технічної конкурентноспроможності K_2) - характеризує нове технічне рішення по відношенню до кращих аналогічних об'єктів зарубіжного виробництва. Зазначені критерії знаходяться із виразів [2]:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^{i=s} K_n \cdot \varphi(i)}{\sum_{i=1}^{i=s} \varphi(i)}, \quad K_2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=s} K_m \cdot \varphi(i)}{\sum_{i=1}^{i=s} \varphi(i)},$$

У приведених вище формулах $\varphi(i)$ – функція, яка нормує вагу відносних параметрів K_n та K_m . Загальне їх число (s) визначається методом експертної оцінки. Якщо запропоноване нове технічне рішення по відношенню до існуючих супроводжується зростанням порівнюваних числових параметрів, то

$$K_n = P/P_v, \text{ а } K_m = P/P_z,$$

де P – вимірний параметр для прогнозованого об'єкту (продуктивність, металоємкість, енергонасиченість, трудоємкість тощо);

P_v, P_z – значини аналогічних параметрів для кращих серійних зразків вітчизняного та зарубіжного виробництв.

У протилежному випадку

$$K_n = P_v/P, \text{ а } K_m = P_z/P.$$

Нормуючу функцію $\varphi(i)$ розраховують по формулі [2]:

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

3.2. Розрахунок річного завантаження та визначення потрібної кількості тракторів типу ХТЗ-120 для умов півдня України проводиться шляхом його «накладання» на технології вирощування с.-г. культур у сівозміні з короткою ротацією (4-5 полів). На операціях, де застосування ХТЗ-120 з точки зору завантаження його двигуна недоцільне, передбачають використання трактора класу 1,4 (ЮМЗ-80).

Оскільки за своїми тягово-зчіпними властивостями ХТЗ-120 відноситься до енергетичних засобів тягового класу 3, то при складанні МТА на його основі орієнтуються на знаряддя, призначені для роботи з трактором Т-150К. Змінну продуктивність праці та витрати палива новими агрегатами приймають рівними нормативним [3] для аналогічних МТА на базі енергозасобів класу 3.

Для порівняння аналогічний розрахунок виконують при реалізації прийнятих технологій вирощування с.-г. культур у сівозміні з короткою ротацією агрегатами на основі серійних тракторів універсально-просапного (ЮМЗ-80) та загального (Т-150К) призначень.

3.3. На вирощуванні просапних з міжряддями 70 см колія енергетичного засобу, як відомо, повинна бути або 1400, або 2800 мм. Оскільки колія ХТЗ-120 дорівнює 2100 мм, то завод розробив проставки, які дозволяють збільшити вказаний параметр трактора до 2800 мм і завдяки цьому агрегувати його з серійними просапними сівалками та культиваторами.

Південним філіалом ІМЕСГ запропонований простий зчіпний пристрій [4], який дозволяє на вирощуванні просапних культур із міжряддями 70 см використовувати ХТЗ-120 без переналагодження з колії 2100 на колію 2800 мм.

При використанні цього пристрою агрегатована машина зміщується відносно поздовжньої вісі симетрії енергетичного засобу на 35 см. В результаті виключається розміщення висівних секцій просапної сівалки по колії трактора і рух останнього по рядках культурних рослин під час міжрядного обробітку. Маса зчіпного пристрою майже в 15 разів менша маси чотирьох проставок, призначених для переобладнання колії трактора. Приблизно в стільки ж разів менші витрати часу на його установку.

Асиметричне приєднання агрегатованого знаряддя спричинює появу розворотного моменту, який, діючи на енергетичний засіб, може визивати погіршення стійкості руху всього МТА. Особлива це стосується посівного агрегату, у якого розворотний момент збільшується із-за використання маркерів.

Теоретична оцінка впливу асиметричного агрегування просапної сівалки з трактором ХТЗ-120 здійснюється на основі аналізу математичної моделі руху такого МТА в горизонтальній площині. Для складання відповідних диференціальних рівнянь та передавальних функцій, а також розрахунку амплітудних (АЧХ) та фазових (ФЧХ) частотних характеристик, використовують методичні положення, викладені у [5, 6].

Математичну модель функціонування МТА на основі ХТЗ-120 як динамічної системи розглядають у вигляді реакції на збурювальний вплив. У якості останнього приймають розворотний момент M_p , який є таким:

$$M_p = R_{кр} \cdot \Delta + R_m \cdot S,$$

де $R_{кр}$ – тяговий опір просапної сівалки, агрегатованої з ХТЗ-120;

Δ – поперечне зміщення сівалки;

R_m, S – тяговий опір та виліт маркера сівалки відповідно.

3.4. На посіві просапної культури ХТЗ-120 агрегатують з 12-и рядною просапною сівалкою. У першому варіанті її приєднують до трактора симетрично, а у другому – асиметрично за допомогою розробленого зчіпного пристрою [4].

Поле розбивають на ділянки, довжиною 250-300 м. На кожній із них посівний агрегат рухається із максимальною (технологічно прийнятною) швидкістю у прямому та зворотному напрямках.

Під час міжрядного обробітку посівів ХТЗ-120 агрегатують з просапним культиватором КРН-8,4, який приєднують до трактора з поперечним зміщенням 0,35 м з допомогою вказаного вище зчіпного пристрою.

Перед проведенням досліджень посівний та просапний агрегати на основі ХТЗ-120 підготовлюють у відповідності із агротехнічними вимогами [7].

4 Вимірювані параметри, прилади та обладнання

4.1. Кількість оцінюваних числових параметрів s залежить від точності прогнозування Δp . Для $\Delta p = 5 \dots 10\%$ згідно даних [2] $s = 7$.

До числа вказаних параметрів експерти відносять ті, які (на їх думку) в найбільшій мірі підкреслюють ефективність потенційних можливостей нового енергетичного засобу.

4.2. Згідно прийнятих технологічних карт на вирощування с.-г. культур за нормативними даними [8] для кожного агрегату (як базового, так і нового) визначають показники, необхідні для розрахунку зведених витрат [9]. Змінним параметром під час проведення розрахунків є площа полів сівозміни. Мінімальна її значина – 200, а максимальна – 5000 га.

4.3. У процесі математичного моделювання руху просапного МТА на основі ХТЗ-120 в горизонтальній площині змінними параметрами виступають:

- ширина захвату (B_p) і зв'язані з нею тяговий опір просапної сівалки ($R_{кр}$) та тяговий опір (R_m) и винос (Δ) маркера;
- величина поперечного зміщення просапної сівалки (Δ).

Оскільки тягово-зчіпні властивості ХТЗ-120 дозволяють реалізувати на його основі як 12-и, так і 18-и рядні системи вирощування просапних культур із міжряддями 70 см, то в процесі моделювання розглядають дві значини B_p : 8,4 та 12,6 м. Величина Δ має також дві фіксовані значини: 0 і 0,35 м.

4.4. Під час проведення лабораторно-польових досліджень посівного МТА на основі ХТЗ-120 у двохкратній повторності заміряють:

- вологість та твердість ґрунту агрофону;
- час проходження агрегатом залікової ділянки – секундоміром;
- відхилення маркерної лінії або сліду крайньої посівної секції від прямої лінії – лінійкою;
- значину стикового міжряддя - лінійкою.

У процесі проведення міжрядного обробітку реєструють:

- вологість та твердість ґрунту агрофону;
- час проходження агрегатом залікової ділянки;
- ширину односторонньої захисної зони;
- кількість пошкоджених культурних рослин.

Характеристики ґрунту агрофонів беруть у 5-и кратній повторності. Кількість лінійних замірів – не менше 200. Крок замірів – 1 м.

5 Оброблення експериментальних даних

5.1. Після вибору оцінюваних числових параметрів на ПЕОМ з допомогою розробленого в лабораторії програмного забезпечення розраховують значини коефіцієнтів K_1 та K_2 .

Якщо $K_1 > 1$, то прийнято вважати, що прогнозуєме технічне рішення (в даному випадку – трактор типу ХТЗ-120) 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 прогнозуємий об'єкт розроблений нижче рівня кращих вітчизняних зразків, а тому практична реалізація його у виробництво небажана (при відсутності, звичайно, яких-небудь особливих тлумачень).

Аналогічним чином визначають і технічну конкурентноспроможність орнопросапного трактора типу ХТЗ-120.

5.2. Підготовлені вихідні дані формують у три бази і оброблюють на ПЕОМ з допомогою розробленої в лабораторії програми, написаної в середовищі СУБД FoxPro 2.0.

На основі розрахункових даних будують графіки машиновикористання для агрегатів на основі ХТЗ-120, визначають їх річне завантаження та потрібну кількість, витрати праці, експлуатаційні та зведені витрати в залежності від площі полів прийнятої сівозміни. Отримані показники порівнюють із аналогічними для серійного трактора Т-150К.

5.3. Амплітудні і фазові частотні характеристики дослідного агрегату розраховують на ПЕОМ з допомогою розробленої в лабораторії програми, написаної в середовищі Graphic Vision. На основі порівняння отриманих в процесі моделювання АЧХ і ФЧХ оцінюють вплив асиметричного приєднання сівалки до ХТЗ-120 на стійкість руху даного просапного МТА.

5.4. На основі отриманих експериментальних даних з допомогою ПЕОМ та статистичного математичного пакету програм розраховують і у порівнянні з агротехнічними вимогами [7] оцінюють вплив асиметричного агрегування просапних знарядь із ХТЗ-120 на:

- відхилення сліду посівної секції від прямої лінії;
- спектр коливань маркерної лінії або сліду посівної секції (за допомогою кореляційної функції та спектральної щільності);
- амплітуду та спектр відхилення дійсної ширини стикових міжрядь від встановленої;
- амплітуду та спектр відхилення дійсної ширини односторонньої захисної зони від встановленої;
- пошкодження культурних рослин.

Перелік посилань

1. Гмошинский В.Г., Флиорент Г.И. Теоретические основы инженерного прогнозирования. – М.: Наука, 1973. – 304 с.
2. Надикто В.Т. и др. Перспективы использования трактора ХТЗ-120 // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1995, №10.
3. Типові норми виробітку і витрачання палива на механізовані польові роботи. – К.: Урожай, 1991. – 472 с.
4. Абдула С.Л., Санін Г.А., Надикто В.Т. і ін. Зчіпний пристрій енергетичного засобу. – Патент по заявці №98010345.– Заявлено 21.01.1998р.
5. Квач В.Г., Надикто В.Т. К определению условия продольной устойчивости агрегата на базе трехосного энергетического средства // Механизация и электрификация с.-х. – К.: Урожай, 1986. – Вып.64.
6. Кутьков Г.М. и др. Исследование МЭС в составе широкозахватных МТА на возделывании пропашных культур// Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1992, №10-12.
7. Правила производства механизированных работ под пропашные культуры / Сост. К.С. Орманджи. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 303 с.
8. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка. –М.: Колос, 1978. –256 с.
9. ГОСТ 23729-79. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.

Календарний план робіт по розділу на 2000 рік

№	Найменування робіт	Строк виконання	Виконавці
1.	Розробка програми і методики досліджень	1 квартал	Надикто В.Т.
2.	Патентно-ліцензійний пошук	1-3 квартали	Надикто В.Т. Євдокімов Д.В.
2.	Підготовка приладів та обладнання, необхідних для проведення лабораторно-польових робіт	1 квартал	Склад лабораторії
3.	Збір даних та проведення прогнозової оцінки ефективності впровадження трактора типу ХТЗ-120	1 квартал	Надикто В.Т. Черепухін В.Д. Савенко В.В.
4.	Підготовка даних та проведення розрахунків по визначенню потрібної кількості і річного завантаження трактора типу ХТЗ-120	1-2 квартали	Надикто В.Т. Черепухін В.Д. Левчук П.Л. Санін Г.А.
5.	Розробка та аналіз математичної моделі просапного МТА на основі трактора ХТЗ-120	1-2 квартали	Надикто В.Т. Санін Г.А.
6.	Проведення експериментальних досліджень просапних (посівного та культиваторного) МТА на основі трактора ХТЗ-120	2-3 квартали	Склад лабораторії
7.	Оброблення і аналіз даних та написання звіту	4 квартал	Надикто В.Т.

Керівник проекту _____ В. Надикто

**Перелік приладів та обладнання,
необхідних для виконання робіт по розділу**

Найменування машин, приладів та обладнання	Відмітка про наявність (+) або відсутність (-)
Трактор ХТЗ-120	-
12-и рядна просапна сівалка (СПЧ-12)	+
12- рядний просапний культиватор КРН-8,4	+
Пристрій для приєднання просапних знарядь до трактора ХТЗ-120	-
Секундомір, лінійка, бюкси, твердомір	+
ПЕОМ та програмне забезпечення	+

Виконавці:

Завідувач лабораторії, к.т.н., с.н.с. _____ В. Надикто
 Ст. науковий співробітник, к.т.н. _____ В. Черепухін
 Інженер II категорії _____ Д. Євдокімов
 Інженер II категорії _____ В. Савенко
 Технік I категорії _____ В. Новіков

Співвиконавці:

Від ПФ ІМЕСГ:

Завідувач лабораторії _____ П. Левчук
 Завідувач лабораторії _____ Г. Санін
 Старший агроном _____ О. Романова

Від ВАТ ХТЗ:

Перший заступник головного конструктора **Ю.К. Шаповалов,**
 заступник головного конструктора **М.Г. Амелін –**
 надання допомоги в технічному забезпеченні трактора ХТЗ-120

КЕРІВНИЙ ДОКУМЕНТ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА

Розробники: докт. техн. наук **Адамчук В.В.**, канд. техн. наук **Грицишин М.І.** –
Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України,
докт. техн. наук **Надикто В.Т.**, канд. техн. наук **Карасв О.Г.** –
Таврійський державний агротехнологічний університет

1 Сфера застосування

1.1 Цей керівний документ поширюється на сільськогосподарську техніку (трактори, самохідні шасі, комбайни, сільськогосподарські машини/знаряддя, далі – техніка) і встановлює єдині критерії її оцінки, номенклатуру експлуатаційно-технологічних показників і методи їх визначення: прогнозовані на етапі створення, і фактичні – за результатами випробувань та виробничої експлуатації за призначенням.

1.2 Дані випробувань використовуються для техніко-економічної оцінки техніки, у тому числі і на її відповідність технічному завданню (ТЗ) чи технічним умовам (ТУ), а також для нормування продуктивності роботи техніки та витрат пального.

1.3 Вимоги цього керівного документу поширюються на наукові (проблемні) лабораторії, дослідні станції, господарства тощо.

2 Терміни і визначення

2.1 **Експлуатаційно-технологічна оцінка** – оцінка 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.

2.2 **Технологічна операція** – цілеспрямований вплив на ґрунт, рослини, сільськогосподарську продукцію та інший технологічний матеріал для досягнення заздалегідь визначеної зміни їх властивостей, стану або форми.

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

2.4 **Комбінований МТА** – машинно-тракторний агрегат, призначений для виконання за один робочий прохід кількох технологічних операцій.

2.5 **Технологічний переїзд** – переїзд агрегату для наступного завантаження / вивантаження його технологічним матеріалом (зерном, водою, добривами тощо).

2.6 **Технологічний час** – час, необхідний для виконання технологічного процесу з урахуванням циклічно повторюваних операцій (поворотів, технологічного обслуговування) та операцій усунення технологічних відмов.

2.7 **Робоча зміна** – час роботи, на протязі якого робітник (механізатор) на сільськогосподарському чи машинно-тракторному агрегаті виконує операції технологічного процесу, які обумовлюють продуктивність його використання.

2.8 **Контрольна зміна** – період роботи техніки в одну повну робочу зміну на одному фоні за чіткої організації праці, визначенні і контролю режиму та якості роботи за умови ведення хронографії робочого часу.

2.9 **Хронографія** – реєстрація переліку та тривалості усіх операцій роботи техніки у хронологічному порядку.

2.10 **Вид роботи** – технологічна операція, яка виконується визначеним складом агрегату у відповідності з призначенням випробовуваної техніки і заданими технологічними параметрами, які передбачають їх регулювання.

2.11 **Агротехнічний фон** – певне поєднання показників для одного і того ж виду робіт, які характеризують умови роботи техніки під час її випробувань (попередник, висота стерні, вологість і щільність ґрунту, забур'яненість, урожайність, ширина міжрядь тощо).

2.12 **Типовий фон** – стан фону, передбаченого ТЗ /ТУ на техніку, що випробовується.

3 Загальні положення

3.1 Експлуатаційно-технологічну оцінку техніки проводять у тих зонах і на тих видах робіт, для яких вона призначена.

3.2 На кожному виді робіт випробування техніки проводять на типовому агротехнічному фоні.

3.3 Експлуатаційно-технологічну оцінку нової техніки проводять шляхом порівняння отриманих експлуатаційно-технологічних показників з аналогічними показниками базового варіанту або ТЗ чи ТУ.

3.4 У якості базового варіанту приймають результати випробувань серійної техніки аналогічного призначення, отримані у співставних умовах, тобто на одному і тому ж фоні, у один і той же час.

3.5 У випадку відсутності базового варіанту експлуатаційно-технологічну оцінку нової техніки проводять шляхом порівняння отриманих експлуатаційно-технологічних показників з ТЗ або ТУ.

3.6 При підготовці нової техніки до експлуатаційно-технологічних випробувань мають бути дотримані наступні вимоги:

- технічний стан техніки, представленої на випробування, має відповідати вимогам ТЗ або ТУ;
- перед початком випробувань техніка має бути відрегульована і підготовлена у відповідності до вимог технологічної операції чи технологічного процесу, який буде нею виконуватися;
- техніка повинна агрегатуватися з відповідними їй енергетичними засобами і відповідати вимогам безпеки та гігієни праці;
- енергетичні засоби (трактори, самохідні шасі, комбайни тощо) і електроприводи сільськогосподарських агрегатів повинні відповідати нормативам, установленим їхньою технічною документацією;
- технічне і технологічне обслуговування техніки під час її випробувань має здійснюватися персоналом і технічними засобами, передбаченими інструкцією з її експлуатування.

3.7 Експлуатаційні випробування техніки здійснюються протягом не менше 3-х контрольних змін, загальною тривалістю не менше 18 годин змінного часу.

3.8 Похибка вимірювань контрольованих параметрів не повинна перевищувати значень, вказаних у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Похибка вимірювань

Назва показника	Похибка вимірювання, %
Час: до 5 хв	±1
> 5 хв	±0,5
Лінійні розміри	±1
Маса	±0,5
Витрати палива	±2
Витрати рідини	±3
Витрати електроенергії	±1

4 Перелік первинної інформації та методи її отримання

4.1. Під час проведення експлуатаційно-технологічної оцінки випробовуваної техніки фіксують наступні дані:

- склад МТА або технологічної лінії і кількість обслуговуючого її персоналу, вид роботи, дату і місце проведення випробувань;
- умови роботи;
- режим роботи;
- тривалість елементів часу зміни;
- витрати пального та технологічних матеріалів;
- об'єм виконаної роботи.

4.2. Обслуговуючим персоналом вважають лише тих осіб, які приймають безпосередню участь у процесі випробувань техніки (механізатори, оператори, сівальники, майстри-наладчики тощо).

4.3. Умови і режим роботи визначають згідно вимог нормативних документів на випробування відповідного типу техніки.

4.4. Хронографію робочого періоду випробування техніки здійснюють шляхом реєстрування тривалості усіх елементів часу зміни. При реєструванні витрат часу на усунення технологічних і/або технічних відмов випробовуваної техніки вказують причини їх прояву.

4.4.1. Реєстровану інформацію заносять у форму листа спостереження (додаток А).

4.4.2. Після завершення спостереження здійснюють первинну обробку отриманих даних. Для цього:

- у відповідності з додатком В проводять шифрування елементів часу зміни, за наявності видаляють результати помилкових вимірювань;
- визначають сумарну тривалість кожного елементу часу зміни;
- у відповідності з додатком А розраховують зведені показники роботи техніки, що проходила випробування;
- у листі спостереження оформляють зауваження щодо процесу випробування техніки.

5.5. Витрати пального за зміну визначають одним із наступних методів:

- використання приладу, який реєструє витрати палива;
- контрольованої дозправки паливом енергетичного засобу, з яким проводили випробування техніки, після завершення зміни.

4.6. Кількість використаного технологічного матеріалу визначають шляхом обліку його фактичних витрат за зміну.

4.7. Обсяг виконаної роботи визначають наступним чином:

- розмір обробленої (зібраної) ділянки – безпосереднім вимірюванням;
- кількість зібраної (внесеної, перевезеної, переробленої) основної і побічної продукції – зважуванням.

4.8. Після завершення робочого дня спостерігач разом з провідним інженером оформляють лист спостереження, підписують його і передають для розрахунку і оформлення експлуатаційно-технологічних показників роботи техніки, що проходила випробування (додаток С).

5 Критерії експлуатаційно-технологічних показників та методи їх визначення

- 5.1. Час основної роботи техніки – T_1 , год (шифр групи 1).
 5.2. Витрати часу на повороти – T_2 , год (шифр групи 2).
 5.3. Витрати часу на технологічне обслуговування – T_3 , год (шифр групи 3).
 5.4. Витрати часу на технологічні відмови – T_4 , год (шифр групи 4).
 5.5. Витрати часу на технічне обслуговування – T_5 , год (шифр групи 5).
 5.6. Витрати часу на усунення технічних відмов – T_6 , год (шифр групи 6).
 5.7. Витрати часу на щоденне технічне обслуговування машин, агрегатованих з випробовуваною – T_7 , год (шифр групи 7).
 5.8. Витрати часу на відпочинок обслуговуючого персоналу – T_8 , год (шифр групи 8).
 5.9. Витрати часу на холості переїзди – T_9 , год (шифр групи 9).

- 5.10. Технологічний час зміни – $T_{\text{техн}}$, год:

$$T_{\text{техн}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4.$$

- 5.11. Час зміни – $T_{\text{зм}}$, год:

$$T_{\text{зм}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_7 + T_8 + T_{9.1}.$$

- 5.12. Експлуатаційний час – $T_{\text{ек}}$, год:

$$T_{\text{ек}} = T_{\text{зм}} + T_6 + T_{9.2}.$$

- 5.13. Коефіцієнт робочих ходів – φ :

$$\varphi = \frac{T_1}{T_1 + T_2}.$$

- 5.14. Середній час одного повороту – $t_{\text{п}}$, с:

$$t_{\text{п}} = \frac{T_2 \cdot 60}{N_{\text{п}}},$$

де $N_{\text{п}}$ – кількість поворотів за час зміни.

- 5.15. Коефіцієнт технологічного обслуговування – $K_{\text{то}}$:

$$K_{\text{то}} = \frac{T_1}{T_1 + T_3}.$$

- 5.16. Коефіцієнт надійності технологічного процесу – $K_{\text{нп}}$:

$$K_{\text{нп}} = \frac{T_1}{T_1 + T_4}.$$

- 5.17. Коефіцієнт використання технологічного часу – $\tau_{\text{т}}$:

$$\tau_{\text{т}} = \frac{T_1}{T_{\text{техн}}}.$$

- 5.18. Коефіцієнт використання змінного часу – $\tau_{\text{зм}}$:

$$\tau_{\text{зм}} = \frac{T_1}{T_{\text{зм}}}.$$

- 5.19. Коефіцієнт використання експлуатаційного часу – $\tau_{\text{ек}}$:

$$\tau_{\text{ек}} = \frac{T_1}{T_{\text{ек}}}.$$

5.19. Продуктивність роботи за 1 годину, га(т)/год:

а) основного часу – W_o :

$$W_o = \frac{B}{T_1};$$

б) технологічного часу – $W_{\text{техн}}$:

$$W_{\text{техн}} = \frac{B}{T_{\text{техн}}};$$

в) змінного часу – $W_{\text{зм}}$:

$$W_{\text{зм}} = \frac{B}{T_{\text{зм}}};$$

г) експлуатаційного часу – $W_{\text{ек}}$:

$$W_{\text{ек}} = \frac{B}{T_{\text{ек}}},$$

де B – наробіток техніки (га, т).

5.20. Питомі витрати пального – q , л/га(т):

$$q = \frac{G}{B},$$

де G – витрати пального на весь обсяг виконаної роботи, л.

5.21. Наробіток техніки у мото-годинах ($n_{\text{мг}}$, мото-год) за період випробувань визначають за показником мотолічильника енергетичного засобу або за формулою:

$$n_{\text{мг}} = \frac{G}{g_o},$$

де g_o – погодинні витрати пального двигуном енергетичного засобу (л/год) при максимальному його завантаженні (згідно із паспортними даними).

5.22. Наробіток випробовуваною машиною мото-годин:

а) на 1 технологічну відмову – $n_{\text{техн}}$:

$$n_{\text{техн}} = \frac{n_{\text{мг}}}{N_{\text{техн}}};$$

б) на 1 технічну відмову – $n_{\text{тех}}$:

$$n_{\text{тех}} = \frac{n_{\text{мг}}}{N_{\text{тех}}},$$

де $N_{\text{техн}}$, $N_{\text{тех}}$ – кількість технологічних і технічних відмов випробовуваної техніки відповідно.

5.23. Затрати праці на одиницю виконаної роботи – $З_p$, люд.·год/га(т):

$$З_p = \frac{L_{\text{оп}}}{W_{\text{зм}}},$$

де $L_{\text{оп}}$ – кількість обслуговуючого персоналу, люд.

Додаток А
(обов'язковий)

Оформлення результатів спостереження

Форма А.1 \ Лист спостереження

Склад МТА: _____ + _____ + _____
(енергетичний засіб) (зчеп) (кількість і марка с.-г. машин)

Механізатор _____

Допоміжний обслуговуючий персонал, люд. _____

Область і район _____
Господарство _____
Вид роботи _____
Культура і сорт _____

Умови роботи:

Рельєф¹ - *рівний, схил, хвилястий*
Мікрорельєф¹ - *гладкий, гребенистий*
Грунт¹ - *легкий, середній, важкий*
Вологість ґрунту¹ - *сухий, вологий*
Погода¹ - *хмарно, ясно, вітер*
Забур'яненість¹ - *слабка, середня, сильна*
Попередник _____
Попередній обробіток _____
Ширина міжрядь, см _____
Висота культурних рослин, см _____

Режим роботи:

Дійсна ширина захвату, м _____
Швидкість робочого руху, км/год _____
Глибина обробітку ґрунту, см _____
Висота стерні, см _____
Норма висіву (внесення), кг/га _____

¹⁾ Потрібне підкреслити

Дата _____ Зміна _____

Час спостереження:

початок _____ кінець _____
тривалість _____

Витрати пального (л):

Було _____
Долило _____
Залишилось _____
Витрачено за зміну _____
Питомі витрати пального, л/га (т) _____

**Схема ділянки
і спосіб руху МТА**

Змінний виробіток МТА, га (т) _____

Продовження форми А.1

c.

[illegible]

Закінчення форми А.1

c.

Зведені показники роботи техніки, що проходила випробування

Шифр	Кількість випадків	Сумарний час шифру, год	Шифр	Кількість випадків	Сумарний час шифру, год
Кількість гонів: _____					

Транспортна швидкість руху МТА, км/год _____

Кількість витраченого технологічного матеріалу, т (л) _____

Час простоювання із-за організаційних причин, год (шифр Т₁₀) _____

Зауваження щодо випробування техніки

[illegible]

Спостерігач _____ (ПІБ) _____ (підпис)

Провідний інженер _____ (ПІБ) _____ (підпис)

“ ” 20 p.

Додаток В
(обов'язковий)

Характеристика елементів часу зміни

Таблиця В.1 – Характеристика елементів часу зміни

Назва елементу часу зміни	Шифр	Характеристика
1	2	3
Час основної роботи	T_1	Час, на протязі якого випробовувана техніка безпосередньо здійснює технологічний процес (обробіток ґрунту, збирання врожаю, внесення добрив чи інших технологічних матеріалів тощо).
Витрати часу на повороти	T_2	Час, на протязі якого здійснюється маневрування техніки в кінці робочого гону з метою її повороту (заїзду) для продовження виконання технологічного процесу на наступному гоні.
Витрати часу на технологічне обслуговування	T_3	Тривалість зупинок, обумовлених необхідністю заправлення випробовуваної техніки технологічним матеріалом, розвантаженням зібраного врожаю, переведенням техніки/знаряддя чи її окремих агрегатів із робочого положення у транспортне і навпаки (підймання і опускання маркерів, вигублення робочих органів машин/знарядь, заміна транспортних засобів, контроль якості роботи тощо). Витрати часу на технологічні регулювання, обумовлені зміною умов роботи (регулювання глибини обробітку ґрунту, норми внесення технологічних матеріалів, частоти обертання робочих органів тощо).
Витрати часу на технологічні відмови	T_4	Витрати часу на усунення забивання (залипання) робочих органів машин/ знарядь
Витрати часу на технічне обслуговування	T_5	Витрати часу на щоденне технічне обслуговування випробовуваної техніки, її очищення, змазування, заправлення, підтягування кріплень, переведення із транспортного положення в робоче і навпаки, переобладнання з однієї технологічної схеми на іншу, приєднання/від'єднання с.-г. машин/знарядь

Продовження таблиці В.1

1	2	3
Витрати часу на усунення технічних відмов	T_6	Витрати часу на усунення несправностей техніки (розбирання несправного і збирання відремонтованого вузла, ремонт/заміна вузла/деталі, регулювання вузлів, очікування доставки відремонтованої/нової деталі/вузла тощо).
Витрати часу на щоденне технічне обслуговування машин, агрегатованих з випробовуваною	T_7	Витрати часу на операції технічного обслуговування машин, передбачених їх технічними інструкціями
Витрати часу на відпочинок обслуговуючого персоналу	T_8	Витрати часу на відпочинок і особисті потреби обслуговуючого персоналу
Витрати часу на холості переїзди	$T_{9.1}$	Витрати часу на переїзди з однієї ділянки поля на іншу, холості переміщення по полю
	$T_{9.2}$	Витрати часу на холості переїзди із поля на поле, а також із бригади на поле і назад
Витрати часу із-за причин, не залежних від випробовуваної техніки	T_{10}	Витрати часу, обумовлені очікуванням транспорту для підвезення технологічного матеріалу, відвезення врожаю, підготовкою поля до роботи, усуненням технічних відмов техніки, яка використовується із випробовуваною машиною, обіднею перервою, простоюванням із-за кліматичних умов, коригуванням організаційних рішень тощо.

Додаток С
(обов'язковий)

Оформлення результатів експлуатаційно-технологічної оцінки

Таблиця С.1 – Експлуатаційно-технологічні показники

№ п/п	Показник	Значення	Згідно із ТЗ/ТУ
1.	Місце проведення випробувань		
2.	Склад агрегату		
3.	Вид роботи, культура, сорт		
4.	Умови і режим роботи:		
	- вологість ґрунту, %		
	- щільність ґрунту, г/см ³		
	- забур'яненість, шт.(г)/м ²		
	- робоча швидкість руху, км/год		
	- ширина захвату, м		
	- глибина обробітку ґрунту, см		
	- висота стерні, см		
	- ширина міжрядь, см		
	- норма висіву (внесення), кг(л)/га		
	- (інше)		
5.	Час основної роботи, год		
6.	Технологічний час, год		
7.	Час зміни, год		
8.	Експлуатаційний час, год		
9.	Обсяг виконаної роботи, га (т)		
10.	Продуктивність роботи, га(т) за 1 год:		
	- основного часу		
	- технологічного часу		
	- змінного часу		
	- експлуатаційного часу		
11.	Питомі витрати палива, л/га(т)		
12.	Затрати праці, люд.·год/га (т)		
13.	Експлуатаційно-технологічні показники:		
	- коефіцієнт робочих ходів		
	- коефіцієнт технологічного обслуговування		
	- коефіцієнт надійності технологічного процесу		
	- коефіцієнт використання технологічного часу		
	- коефіцієнт використання змінного часу		
	- коефіцієнт використання експлуатаційного часу		
	- наробіток у мото-год на 1 технологічну відмову		
	- наробіток у мото-год на 1 технічну відмову		

Приклад наукової статті

УДК 631.7

**ПРОГНОЗ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОНАСИЧЕНОСТІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ****В.Т.Надикто**, д. т. н, E-mail:imesh@zp.ukrtel.net**О.В.Величко**, к. ф.-м. наук*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Мета. Прогноз динаміки зростання енергонасиченості сільськогосподарських тракторів тягово-енергетичної концепції до 2030 р. **Методи.** Теоретичною основою прогнозу є закономірність, що описується функцією логарифмічного тангенса. **Результати.** Розрахунками встановлено, що в 2030 р. енергонасиченість тракторів може знаходитися на рівні 25 кВт/т. Порівняно з тією, що існує в даний час (в середньому 15 кВт/т), – це майже на 67% більше. Запропонована в ГОСТ 27021-86 (СТ СЕВ 628-85) система розподілу тракторів 10 тягових класів на 4 групи за потужністю двигуна є помилковою. Тому, знаючи тільки потужність двигуна трактора, оптимальний склад машинно-тракторного агрегату визначити не можна. При енергонасиченості трактора більше за 15 кВт/т фірма-виробник повинна запропонувати потенційному експлуатаційникові систему його ефективної реалізації на практиці.

Висновки. При придбанні енергетичного засобу нині обов'язково слід орієнтуватися не тільки на потужність його двигуна, але і на енергонасиченість. Знання цих параметрів сучасного трактора дасть можливість досить просто визначити його експлуатаційну масу, а значить і інформативні для нас параметри – тяговий клас і номінальне тягове зусилля. У результаті це дозволить сформувати ефективну систему його практичної експлуатації, особливо при енергонасиченості, що перевищує 15 кВт/т.

Ключові слова: прогноз, трактор, тяговий клас, потужність, двигун, енергонасиченість.

Суть проблеми

Нині в багатьох офіційних інформаційних джерелах можна прочитати, що українському сільськогосподарському виробництву потрібні трактори тієї чи іншої потужності [1, 2]. Саме потужності, а не тягового класу чи відповідного призначення (загального, універсально-просапного, спеціального тощо).

У відносно недалекому минулому Україна уже мала сумний клопіт, купивши закордонні трактори, керуючись лише таким показником, як потужність двигуна трактора. Тоді знайти більш-менш ефективне застосування придбаним енергетичним засобам виявилось непростією проблемою. Тому, аби більше не повторювати такі помилки, слід зрозуміти наступне.

В минулому тракторобудівники випускали енергетичні засоби тягової концепції, у яких відношення потужності двигуна (кВт) до маси трактора (у тоннах) було майже постійним і, як правило, не перевищувало 15 кВт/т [3, 4]. Тому потужність двигуна трактора типу МТЗ-80/82 масою до 4 т практично була близькою до 60 кВт (тобто 82 к.с.). Енергетичний засіб масою 8 т (типу Т-150К) мав двигун потужністю 165 к.с. (121,3 кВт), що відповідало енергонасиченості трактора на рівні 15,1 кВт/т.

Більше того, усі енергетичні засоби були поділені на тягові класи і мали закріплену за ними і адаптовану до них Систему машин [5-7]. Все це дозволяло вченим створювати на основі вітчизняних тракторів потрібні сільгоспвиробникам досить ефективні машинно-тракторні агрегати.

Нині усе змінилося. На європейському і світовому ринках все більше з'являється тракторів тягово-енергетичної концепції. Згідно з її вимогами відношення потужності двигуна до маси трактора не залишається постійним [8, 9]. Навпаки, воно має тенденцію до постійного зростання.

На думку багатьох учених у найближчому майбутньому номінальна енергонасиченість тракторів повинна становити приблизно 32...34 кВт/т [10]. Взявши максимальну значину цього діапазону за вихідну ($E_{нopt}=34$ кВт/т), спробуємо спрогнозувати тенденцію розвитку енергонасиченості (E_n) тракторів, скажімо до 2030 р.

Методика

Дослідженнями попередників встановлено [11, 12], що характер подібного прогнозу задовільно описується логістичною кривою. Найкраще для цього підходить функція логарифмічного тангенса [13]:

$$E_n = E_{нopt} \cdot (1 + th(a + b \cdot t)),$$

де a, b – константи апроксимації;
 t – час (роки).

Для зручності запишемо цю функцію у наступному вигляді:

$$y = A \cdot (1 + th(a + b \cdot x)),$$

де $y = E_n$; $A = E_{нopt}$; $t = x$.

Оскільки зоною визначення виразу $1 + th(a + bx)$ є інтервал $(0, 2)$ [14], то звідси випливає, що всі y_i є одного знака і він співпадає із знаком числа A . Крім того, для всіх $i \leq n$ має місце нерівність

$$|y_i| < 2|A|.$$

Далі вираз $y = A(1 + th(a + bx))$ запишемо так:

$$th(a + bx) = \frac{y}{A} - 1. \quad (1)$$

Враховуючи те, що зворотною до функції $th(x)$ є функція $\frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x}$, переписуємо (1) у такому еквівалентному вигляді:

$$a + bx = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \frac{y}{A} - 1}{1 - \frac{y}{A} + 1} = \frac{1}{2} \ln \frac{y}{2A - y}.$$

Далі помножимо обидві частини цього рівняння на 2 і введемо наступні позначення:

$$\begin{aligned}\alpha &= 2a, \\ \beta &= 2b, \\ r &= 2A.\end{aligned}\tag{2}$$

Тепер, з урахуванням (2), формулу (1) можна представити у вигляді

$$\alpha + \beta x = p(y, r),$$

$$\text{де } p(y, r) = \ln \frac{y}{r - y}.$$

У тому випадку, коли нам відома величина $r = 2A$, можна розрахувати значення $p_i = p(y_i, r)$. Для цього, згідно з вимогами методу найменших квадратів (МНК), складемо наступну функцію незв'язності:

$$F = \frac{1}{2} \sum (\alpha + \beta x_i - p_i)^2.$$

Потім частинні похідні цієї функції по α і β прирівняємо до нуля:

$$\left. \begin{aligned}\frac{\partial F}{\partial \alpha} &= \sum (\alpha + \beta x_i - p_i) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \beta} &= \sum (\alpha + \beta x_i - p_i) x_i = 0.\end{aligned}\right\}\tag{3}$$

Введемо позначення

$$\left. \begin{aligned}X &= \sum x_i, \\ X_2 &= \sum x_i^2, \\ P &= \sum p_i, \\ P_x &= \sum p_i x_i\end{aligned}\right\}.\tag{4}$$

Всі величини системи (4) можуть бути обчислені з урахуванням експериментальних даних. З урахуванням цього система (3) матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \alpha n + \beta X = P, \\ \alpha X + \beta X_2 = P_x. \end{cases}$$

А її рішення таке:

$$\alpha = \frac{\Delta_\alpha}{\Delta}, \quad \beta = \frac{\Delta_\beta}{\Delta}$$

$$\text{де } \Delta = nX_2 - X^2; \quad \Delta_\alpha = PX_2 - P_x X; \quad \Delta_\beta = nP_x - PX.$$

Результати і обговорення

З використанням викладеної вище методики нами здійснено прогноз динаміки енергонасиченості колісних українських, російських, білоруських і європейських тракторів до 2030 р. Встановлено, що цей процес описується такою логістичною кривою:

$$E_n = 35 \cdot [1 + \text{th}(0,011t - 0,727)].$$

Графічна її інтерпретація показує (рис. 1), що у 2030 р. показник енергонасиченості енергетичних засобів може знаходитися на рівні 25 кВт/т.

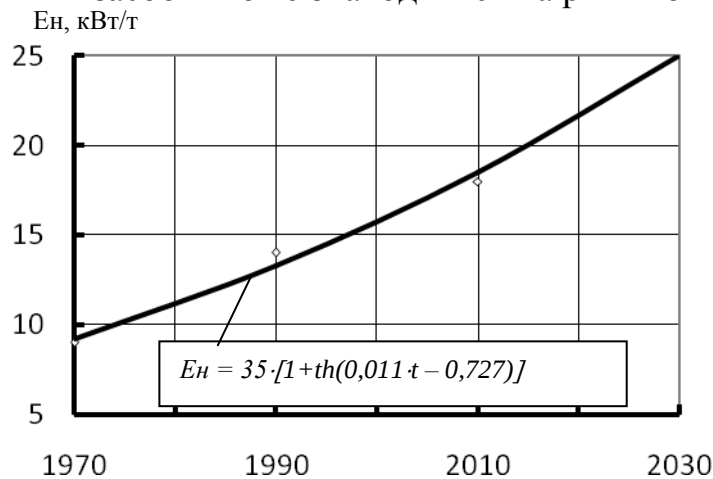


Рис. Прогноз динаміки енергонасиченості тракторів до 2030 р.

Практично це означатиме, що енергетичний засіб масою 8 т (на кшталт українського Т-150К) буде обладнаний двигуном з потужністю уже не 120, як нині, а 200 кВт (тобто 272 к.с.). Зазначимо, що раніше таку потужність мав двигун трактора типу К-701. Але ж його експлуатаційна маса була на рівні 12 т і агрегувався він, як відомо, зовсім з іншими (більш широкозахватними) машинами/знаряддями, ніж той же трактор типу Т-150К.

У зв'язку з цим виникає логічне питання: як і з чим мають експлуатувати сільгоспвиробники енергетичний засіб, енергонасиченість якого становить 25 кВт/т і більше? Теоретично підготовленому експлуатаційнику не зрозуміло, що робити з трактором типу Т-150К, потужність двигуна якого дорівнює щонайменше 270 к.с.

Щоб сформулювати об'єктивну відповідь на це питання, слід згадати про перевитрати пального двигуном, ступінь завантаження якого менший за 90% [15-17]. А за потужності двигуна трактора типу Т-150К на рівні 270 к.с. цей показник на практиці досить проблематично довести і до 75%.

Задля поінформованості наукового загалу зазначимо, що і згаданий вище австрійський трактор «Steyr 8300» із-за своєї надмірної енергонасиченості повністю втратив функції тягача [18]. В результаті фірма-виробник змушена була розробити для нього свою систему машин і знарядь. Причому, більшість із них мали не пасивний, а активний привод робочих органів.

З викладеного вище випливає однозначний висновок, що при придбанні енергетичного засобу орієнтуватися лише на потужність двигуна – надто ризикована річ. Нині обов'язково слід знати його енергонасиченість. І якщо вона більша за 15 кВт/т, то фірма-виробник має запропонувати потенційному експлуатаційнику систему ефективної реалізації на практиці підвищеної потужності двигуна трактора. В першу чергу, слід врахувати, що енергетичні засоби тягово-енергетичної концепції повинні мати розгалужену систему відбору і передачі потужності на привод технологічної частини машинно-тракторного агрегату. Інакше споживач

матиме проблеми, зумовлені ефективністю (в першу чергу – економічністю) агрегування енергонасиченого трактора.

Знання потужності двигуна і енергонасиченості сучасного енергетичного засобу дасть можливість досить просто визначити його експлуатаційну масу, а значить і інформативні для нас параметри – тяговий клас та номінальне тягове зусилля. Саме ці конструктивні показники, а не потужність двигуна дозволяють отримати інформацію щодо тих машин, які слід агрегувати з даним трактором.

Розглянемо наступний приклад. Нехай маємо трактор, потужність двигуна якого становить 130 кВт/т, а енергонасиченість – 16 кВт/т. Це означає, що експлуатаційна маса даного енергетичного засобу дорівнює $130/16 = 8,125$ т, а експлуатаційна вага – близько 80 кН.

Кожен випускник агротехнічного університету знає, що у сучасних тракторів у середньому 45% експлуатаційної ваги припадає на розвинуте ним тягове зусилля. В даному випадку воно становить $80 \cdot 0,45 = 36$ кН. А згідно з ГОСТ 27021-86 (бо власного стандарту в Україні ще немає) – це відповідає трактору тягового класу 3. Якщо цю цифру (тобто 3) помножимо на 10, то отримаємо приблизне середнє значення номінального тягового зусилля даного енергетичного засобу. В даному випадку – це 30 кН. Далі, знаючи тяговий опір того чи іншого знаряддя, будь-який фахівець з технічною освітою визначить потрібний склад відповідного машинно-тракторного агрегату.

А от здійснити аналогічні міркування, виходячи лише із потужності двигуна трактора, – практично неможливо. І саме тому, що нині тягова концепція розвитку мобільних енергетичних засобів невпинно замінюється прогресивною новою – тягово-енергетичною.

Саме із-за цього, починаючи з 60-их років, у нас існував типаж тракторів за номінальним тяговим зусиллям (тяговим класом), а не за потужністю двигуна [19]. Запропоновані в ГОСТ 27021-86 співвідношення між тяговими класами вітчизняних тракторів і категоріями груп потужності двигунів закордонних енергетичних засобів є надуманими, тому що принаймні в жодній країні Європи офіційного типажу тракторів за потужністю двигуна просто не існує.

З цим твердженням погодилися ті російські вчені [20], які свого часу були причетні до розробки ГОСТ 27021-86. Справа в тому, що вказані в цьому документі стандарти класифікують на самі закордонні трактори (причому чомусь тільки колісні), а регламентують розміри і вимоги до їх триточкових задніх навісних пристроїв або за величиною реалізованої потужності через вал її відбору (ISO 730-1:1977, ISO 730-2:1979, ISO 730-3:1982, ISO/DIS 730), або за величиною максимальної тягової потужності (PAES 118:2001).

Тому, запропонована в ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85) система розподілу тракторів 10 тягових класів на аналогічні 4 групи за потужністю двигуна є хибною, а її використання може призводити до принципових помилок у системі агрегування енергетичних засобів. І чим скоріше ми це зрозуміємо, тим швидше розробимо вітчизняний типаж сільськогосподарських тракторів, класифікаційними параметрами якого будуть номінальне тягове зусилля трактора (тяговий клас) та його енергонасиченість.

Висновки

Згідно з проведеним прогнозом у 2030 р. енергонасиченість тракторів сільськогосподарського призначення становитиме 25 кВт/т. У порівнянні з існуючою нині (у середньому 15 кВт/т) – це майже на 67% більше.

При прийнятті рішення відносно вибору того чи іншого трактора нині слід враховувати не тільки потужність його двигуна, а й експлуатаційну масу. Це дозволить правильно визначитися з тяговим класом, рівнем енергонасиченості трактора, а отже і з системою його ефективного агрегування.

Бібліографія

1. Новиков Г.В. О некоторых проблемах в отечественной теории и практике проектирования тракторов // Тракторы и сельхозмашины.– 2011.– №4.– С.7–8.
2. Метьолкін В. Ринок колісних тракторів //The Ukrainian Farmer.– 2012.– №12.– С.12.
3. Надикто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств. – Мелитополь: КП «ММД», 2003. – 240 с.
4. Кутьков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов/ Тракторы и сельхозмашины.– 2009.– №5.– С.28–32.
5. Надикто В.Т. Роль модульных энергетических средств в формировании типажа тракторов на Украине // Тракторы и сельхозмашины.– 2010.– № 6.– С.34–38.
6. Безуглий М.Д., Булгаков В.М., Надикто В.Т., Кюрчев В.М. Україна повинна мати власний типаж тракторів // Вісник аграрної науки.– 2010.– №11.–С.8–11.
7. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Кюрчев В.М., Надикто В.Т. Україні потрібен власний типаж тракторів //Аграрний тиждень. – 2014.– №14.–С. 15-17.
8. Надикто В.Т., Крижачківський М.Л., Кюрчев В.М., Абдула С.Л. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД», 2006.– 337 с.
9. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства.– М.: КолосС, 2004. – 504 с.
10. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства. – Минск: Наука и техника, 1982.– 272 с.
11. Погорелый Л.В. Сельскохозяйственная техника и технологии будущего. – К.: Урожай, 1988. – 176 с.
12. Ксенович И.П., Кутьков Г.М. Технологические основы и техническая концепция трактора второго поколения // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 1982.– №12.–С.26–29.
13. Чуев Ю.В., Спехова Г.П. Технические задачи исследования операций.– М.: «Советское Радио», 1971.– 244 с.
14. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов.– М.: Наука, 1981.– 720 с.
15. Шалягин В.Н. Комплексное повышение эффективности МТА с энергонасыщенными тракторами // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 1988.– №5.–С.23–25.
16. Юшин О. Проблема просапного трактора// Техніка АПК.– 1996.– №1.–С.9-10.
17. Борисов Е.В., Петров Е.В. Эксплуатационно-технологические исследования трактора Т-142 с ТТМ // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 1993.– №1.–С.31–33.
18. Кутьков Г.М. Технологические основы и тяговая динамика мобильных энергетических средств.– М.: МИИСП, 1993.– 151 с.
19. Трепененков И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов.– М.: Машгиз, 1963. – 272 с.
20. Мининзон В.И., Парфенов А.П. О перспективной системе классификации с.-х. тракторов //Тракторы и сельхозмашины.– 2012.– №4.–С.17–20.

Приклад інформативного реферату

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 40 с. основного тексту, 17 рис., 6 табл., 7 джерел.

Об'єкти досліджень: процеси функціонування машинно-тракторних агрегатів на основі тракторів ХТЗ-16132 і ХТЗ-17022.

Мета роботи: Розширення функціональних можливостей і ефективності використання тракторів сімейства ХТЗ-160 і ХТЗ-170 у складі машинно-тракторних агрегатів.

Методи досліджень: Лабораторно-польові роботи здійснювали з використанням оригінальних та стандартних методик. Обробку експериментальних даних проводили на ЕОМ із застосуванням основ математичної статистики, кореляційного та спектрального аналізів.

В результаті проведених досліджень:

- модернізовано просапний культиватор КРН-8,4 для здійснення ним суцільного обробітку ґрунту, проведено агрегування та лабораторно-польові дослідження вказаного знаряддя з трактором ХТЗ-17022, визначено основні експлуатаційно-технологічні показники роботи нового машинно-тракторного агрегату;
- проведено теоретичні дослідження процесу поперечних відхилень робочих органів просапних знарядь із тракторами загального (типу ХТЗ-170) та орно-просапного (типу ХТЗ-160) призначень, встановлено закономірності впливу компоновальної схеми колісного енергетичного засобу на амплітуду поперечних відхилень просапних знарядь у горизонтальній площині;
- проведено лабораторно-польові випробування трактора загального призначення ХТЗ-17022 з 12-и рядною просапною німецькою сівалкою «Optima», встановлено основні експлуатаційно-технологічні показники роботи нового агрегату;
- модернізовано плуг-чизель для здійснення глибокого смугового обробітку ґрунту для реалізації вирощування просапних (і інших) сільськогосподарських культур за новою «strip»-технологією. Здійснено агрегування та польові випробування трактора ХТЗ-17022 з модернізованим плугом-чизелем, експериментально оцінено траєкторні показники руху нового МТА, а також визначено основні експлуатаційно-технологічні показники його роботи;
- на прикладі трактора ХТЗ-16132 оцінено технологічну універсальність його застосування в технології вирощування с.-г. культури.

Ключові слова: ТРАКТОР, АГРЕГАТУВАННЯ, ЗНАРЯДДЯ, ҐРУНТ, МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, ТЕХНОЛОГІЧНА УНІВЕРСАЛЬНІСТЬ

Приклад тез
на науково-технічну конференцію

УДК 631.37

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ОРНОГО МТА
ІЗ ФРОНТАЛЬНИМ ТА ЗАДНЬОНАВІСНИМ ПЛУГАМИ

Кістечок О.Д., аспірант,
Таврійський державний агротехнологічний університет,
Тел. (0619) 42-06-94

Однією із найбільш важливих задач сільськогосподарського виробництва було і залишається зменшення енергетичних витрат на оранці. Першим кроком в напрямку розв'язання цієї проблеми є підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора. В складі орного МТА це можна здійснити шляхом використання крім заднього, ще й фронтального плугів.

За такого конструктивного рішення вертикальна складова тягового опору передньонавісного знаряддя разом з його експлуатаційною масою довантажує керовані колеса трактора. В результаті це обумовлює зменшення буксування рушіїв енергетичного засобу, підвищення стійкості і керованості руху орного МТА і, в кінцевому рахунку, зменшення питомих витрат палива.

Застосування орних агрегатів із передньо- та задньонавісними плугами є актуальним і перспективним. Закордонна і вітчизняна практика випробувань та експлуатації таких МТА дозволила виявити наступні їх переваги:

- збільшення конструктивної ширини захвату, а значить і продуктивності праці. Досягається це за рахунок зростання тягового зусилля енергетичного засобу, зчіпна маса якого збільшується внаслідок взаємодії з фронтальним знаряддям;
- економія витрат палива за рахунок зменшення буксування рушіїв трактора завдяки зростанню його зчіпної маси при агрегуванні з фронтальним плугом;
- зменшення металоємкості у порівнянні з орним машинно-тракторним агрегатом, зчіпна маса якого збільшується шляхом баластування енергетичного засобу.

До недоліків орних агрегатів за схемою «push-pull» слід віднести:

- збільшення кінематичної довжини агрегату, що потенційно може привести до відповідного зростання ширини поворотної смуги та невиробничих витрат часу, пов'язаних із поворотами орного МТА;
- можливе погіршення стійкості робочого руху, обумовлене наявністю фронтального плуга;
- більш напружений режим роботи механізатора, викликаний необхідністю слідкування за роботою як заднього, так і переднього плугів;
- складність конструкції та регулювань фронтальних плугів.

Наявність потенційних переваг орних МТА за схемою «push-pull» створює передумови для проведення досліджень, метою яких є зменшення питомих витрат палива та підвищення техніко-економічних показників роботи орного МТА з переднім і заднім навісними плугами шляхом обґрунтування його схеми та конструктивних параметрів.

В основу досягнення поставленої мети покладено перевірку сформульованої нами робочої гіпотези, суть якої полягає в наступному: *збільшення зчипної маси трактора за рахунок використання фронтального плуга може забезпечити збільшення ширини захвату орного агрегату за схемою «push-pull» принаймні на ширину захвату одного корпусу у порівнянні з машинно-тракторним агрегатом з одним лише задньою навісним плугом.*

При цьому слід враховувати, що переваги орних агрегатів за схемою «push-pull» можуть бути практично реалізовані лише за умови правильного вибору їх схеми, конструктивних параметрів та режимів роботи. Для успішного вирішення цієї задачі необхідно:

- визначити вплив конструктивних параметрів переднього навісного механізму трактора та фронтального плуга на стійкість руху орного знаряддя після заглиблення у ґрунт;
- розробити математичну модель руху орного машинно-тракторного агрегату за схемою «push-pull» у горизонтальній площині і на її основі оцінити схеми приєднання фронтального плуга до трактора та параметрів агрегату на стійкість його руху;
- оцінити вплив схеми і параметрів орного агрегату за схемою «push-pull» на його тягово-енергетичні показники;
- провести експлуатаційно-технологічну оцінку орного агрегату із фронтальним плугом;
- розробити науково-обґрунтовані рекомендації з вибору схеми та параметрів орного МТА за схемою «push-pull».

В процесі розв'язку поставлених задач слід мати на увазі наступні попередньо проаналізовані і сформульовані вимоги до орного агрегату за схемою «push-pull» на базі трактора серії ХТЗ-160:

- при роботі в агрегаті з переднім та заднім навісними плугами трактор ХТЗ-160 повинен рухатися колесами правого борту в борозні;
- опорне колесо фронтального плуга в процесі роботи агрегату переміщується поза борозною.

УДК 631.37

№ держреєстрації: 0107U008957

Інв.№: 2010_01

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т. Б.Хмельницького,18
тел. (0619) 42-06-94

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор НДІ МЗПУ,

д.т.н. _____ В.Т.Надикто

«___» _____ 2011 р.

ЗВІТ**про науково-дослідну роботу
(заключний)**

Програма «Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних
засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного
регіону України»

Підпрограма 1 «Розробити та перевірити в умовах півдня України
комплекси машин на основі нових енергетичних засобів»

Завідувач відділу: _____ д.т.н. Надикто В.Т.

Завідувач лабораторії: _____ д.т.н. Надикто В.Т.

2010

Результати роботи розглянуто НТР,
протокол № ____ від «___» _____ 2011 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Відповідальний виконавець -
завідувач лабораторії,
доктор технічних наук,
професор

В.Надикто
(реферат, вступ, розділи
1, 2, 3, висновки)

Канд. технічних наук, професор

В. Кюрчев
(2, участь у 3.1...3.3)

Канд. технічних наук, доцент

М. Шабала
(участь у 3.1...3.3)

Канд. технічних наук, доцент

А. Аюбов
(участь у 3.1...3.3)

Канд. технічних наук, доцент

В. Овечко
(участь у 3.1...3.3)

Аспірант

О. Парахін
(2, параграф 3.4...3.5,
висновки)

Здобувач

А. Назін
(2, параграф 3.1...3.3,
висновки)

Технік

О. Котов
(участь у 3.1...3.3)

Лаборант

В. Рубанський
(участь у 3.1...3.3)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 39 с., 24 рис., 3 табл., 5 посилань.

Об'єкти досліджень:

- жниварко-луцильний агрегат, який за один прохід здійснює скошування зернових колосових культур у валки і подрібнює ґрунт у міжвалковому просторі;
- математична модель навісного агрегату на основі модульного енергетичного засобу (МЕЗ), який виконує транспортний хід;

Мета роботи: підвищення продуктивності праці, зменшення енергетичних витрат та підвищення якості виконання технологічних процесів агрегатами на базі нових енергетичних засобів.

Методи досліджень.

Теоретичні дослідження проводили шляхом аналізу амплітудних і фазових частотних характеристик, отриманих з математичної моделі жниварко-луцильного агрегату. Польові дослідження здійснювали із використанням вимірювально-реєстраційного комплексу на основі аналогово-цифрового перетворювача та ПЕОМ.

В результаті проведених досліджень:

- розроблено схему з'єднання енергетичного модуля з технологічним у складі транспортного боково-модульного МТА, яка, при спрощенні конструкції, дозволяє забезпечити прийнятну стійкість та керованість його руху у горизонтальній площині;
- досліджено вплив луцення міжвалкового простору на динаміку зміни вологості ґрунту;
- встановлено закономірності схеми, конструктивних параметрів та режимів роботи жниварко-луцильного агрегату на експлуатаційно-технологічні та якісні показники його роботи.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОДУЛЬ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МОДУЛЬ, МОДУЛЬНИЙ ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ЗАСІБ, БЛОКОВО-МОДУЛЬНИЙ МТА, АЧХ, ФЧХ, ЖНИВАРКА, ЛУЦЕННЯ, ВАЛОК, ВОЛОГІСТЬ,

ЗМІСТ

ВСТУП.	5
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ.	6
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.	6
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.	18
3.1. Вплив лушення міжвалкового простору та режиму руху збирального агрегату на динаміку зміни вологості ґрунту.	18
3.2. Вплив схеми і режиму руху жниварко-луцильного агрегату на якісні показники його роботи.	19
3.3. Експлуатаційно-технологічна оцінка роботи жниварко-луцильного агрегату.	25
3.4. Вплив параметрів з'єднання модулів МЕЗ на стійкість транспортного переміщення блоково-модульного МТА.	26
3.5. Оцінка керованості блоково-модульного агрегату в режимі транспортного руху.	30
ВИСНОВКИ.	33
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.	35
ДОДАТКИ.	36

ВСТУП

Як показує узагальнення практичного досвіду, в природно - кліматичних умовах нашої країни чільне місце в найближчому майбутньому займатиме роздільний спосіб збирання зернових колосових культур, здійснюваний за допомогою валкових жниварок.

З метою суттєвого зменшення втрат вологи агротехнічним фоном, одночасно зі скошуванням рослин у валки слід здійснювати принаймні мілке розпушення ґрунту у міжвалковому просторі. Основним технічним засобом, призначеним для практичної реалізації таких технологічних операцій, слід розглядати комбінований агрегат у складі трактора, навісної валкової жниварки і навісного ґрунтообробного знаряддя.

Енергетичний засіб при цьому повинен мати високі технологічні властивості, що обумовлюється наявністю у нього переднього і заднього навісних механізмів, переднього і заднього валів відбору потужності, а також реверсивного керування та/або реверсивної трансмісії. Повністю таким вимогам відповідають орно-просапні трактори серії ХТЗ-121/160. Використання їх технологічних властивостей для розв'язання задачі скошування зернових у валки з одночасним лушченням міжвалкового простору і є **провідною ідеєю** даної роботи.

Перспективи підвищення продуктивності праці, зменшення питомих витрат палива тощо машинно-тракторними агрегатами на основі тракторів тягової концепції практично вичерпані. Розв'язати цю проблему можна лише шляхом реалізації тягово-енергетичної концепції розвитку енергетичних засобів на основі блоково - модульної їх побудови. Теоретичні та практичні аспекти використання МЕЗ в технологічних варіантах розроблені. За результатами досліджень обґрунтовано конструктивно-технологічні схеми блоково-модульних МТА.

Встановлено, що для забезпечення задовільної керованості і стійкості руху, а також поворотності блоково-модульних машинно-тракторних агрегатів у горизонтальній площині технологічний модуль МЕЗ на гоні повинен бути нерухомим, а поворотній смузі - рухомим відносно енергетичного. Відносна нерухомість ЕМ і ТМ на робочому гоні забезпечується автоматичним блокуванням вертикального шарніру останнього. Проте, таке конструктивне рішення з одного боку - забезпечує стійкість і керованість руху блоково-модульних МТА, а з другого – породжує низку недоліків.

Наявність нерозв'язаних питань створює передумови для проведення досліджень, метою яких є розробка рекомендацій з підвищення стійкості та керованості транспортного руху блоково-модульного МТА шляхом обґрунтування схеми і параметрів з'єднання технологічного модуля МЕЗ з енергетичним у горизонтальній площині.

В основу досягнення поставленої мети покладено перевірку сформульованої нами **робочої гіпотези**, суть якої полягає в наступному: правильний вибір ступеню демпфірування системи з'єднання технологічного модуля МЕЗ з енергетичним у горизонтальній площині дозволить забезпечити задовільну стійкість і керованість руху блоково-модульного МТА.

1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

- 1.1. Дослідження впливу схеми та режимів роботи жниварко-лущильного агрегату на експлуатаційно-технологічні і якісні показники його роботи.
- 1.2. Теоретичний аналіз стійкості та керованості транспортного руху навісного МТА на основі модульного енергетичного засобу

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма експериментальних досліджень жниварко-лущильного МТА включала лабораторно-польові та експлуатаційні його випробування.

Під час проведення експериментів передбачалось:

- дослідження впливу подрібнення стерні с.-г. культури та швидкості руху жниварно - лущильного МТА на динаміку зміни вологості ґрунту;
- визначення впливу конструктивної схеми та режиму роботи жниварно - лущильного агрегату на керованість його руху та якісні показники роботи;
- проведення експлуатаційно-технологічної оцінки роботи агрегату.

Дослідження впливу подрібнення стерні сільськогосподарської культури у міжвалковому просторі та швидкості руху жниварко-лущильного агрегату на динаміку зміни вологості ґрунту здійснювали шляхом вимірювання цього показника в шарі 0...15 см кожного третього дня. Спостереження вели на двох ділянках: злуцній і не злуцній з чотирикратною повторністю.

На тій ділянці, де здійснювалося подрібнення (лущення) стерні с.-г. культури, дослідний агрегат рухався на двох передачах, одна із яких дозволяла реалізувати максимально можливий швидкісний режим. Саме варіацією швидкості руху передбачалося змінювати глибину обробки ґрунту дисковою бороною аби в подальшому визначити вплив цього параметру на динаміку вологості ґрунтового середовища. На порівняльній ділянці подрібнення ґрунту у між валковому просторі не здійснювалося.

Для визначення впливу конструктивної схеми та режиму роботи жниварно - лущильного агрегату на керованість його руху та якісні показники роботи поле розбивали на дослідні ділянки, довжиною не менше 250 м кожна. МТА здійснював робочий хід (туди й назад) з максимально-можливою швидкістю. Ґрунтообробне знаряддя приєднувалося до трактора при цьому за схемами, описаними на початку даного параграфу.

Експлуатаційно-технологічні випробування жниварко-лущильного агрегату здійснювали у відповідності з методикою ГОСТ 24055 – 88. За агрегатом впродовж трьох контрольних змін вели хронометражні спостереження. МТА рухався на одній і тій же передачі.

Під час проведення лабораторно-польових досліджень жниварно - лущильного агрегату на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) синхронно реєструвались:

- кут повороту керованих коліс трактора (α);
- курсовий кут трактора (φ);
- оберти колеса переднього мосту (n_k).

Крім того, без запису на аналогово-цифровий перетворювач визначали:

- вологість ґрунту в шарі 0...15 см;
- щільність ґрунту в шарі 0...15 см;
- час проходження агрегатом залікової ділянки;
- погодинні витрати палива;
- робочу ширину захвату жниварко-луцильного агрегату;
- ширину валка;
- прямолінійність валка;
- висоту стерні;
- глибину обробітку ґрунту у міжвалковому просторі;
- ширину задискованої смуги ґрунту у міжвалковому просторі;
- ширину не задискованої смуги, на якій розташований валок;
- засміченість бункерного зернового вороху часточками ґрунту;

При проведенні експлуатаційно-технологічної оцінки жнивварно-луцильного агрегату реєстрували наступні показники:

- вологість і щільність ґрунту;
- характеристику агрофону (урожайність збираємої с.-г. культури, природні втрати зерном, забур'яненість посівів тощо);
- поелементні витрати часу агрегатом під час його роботи;
- розмір обробленої площі;
- кількість витраченого палива;
- робочу ширину захвату збирального МТА;
- швидкість робочого руху агрегату.

Реєстрацію кута повороту керованих коліс трактора ХТЗ-121 здійснювали з допомогою одного змінного опору типу СП-3А, який має номінал 470 Ом і характеризується лінійною характеристикою. Резистор встановлювали на шворні лівого переднього колеса вказаного енергетичного засобу (рис. 2.1).



Рис. 2.1 – Установка датчика СП-3А

Тарировку змінного опору СП-3А здійснювали за допомогою спеціально розробленої кутової шкали – показчика (рис. 2.2), ціна кожної поділки якої становила $1,7 \cdot 10^{-2}$ рад. (1°). Діапазон зміни кута α становив $0 \pm 0,1$ рад. (6°).

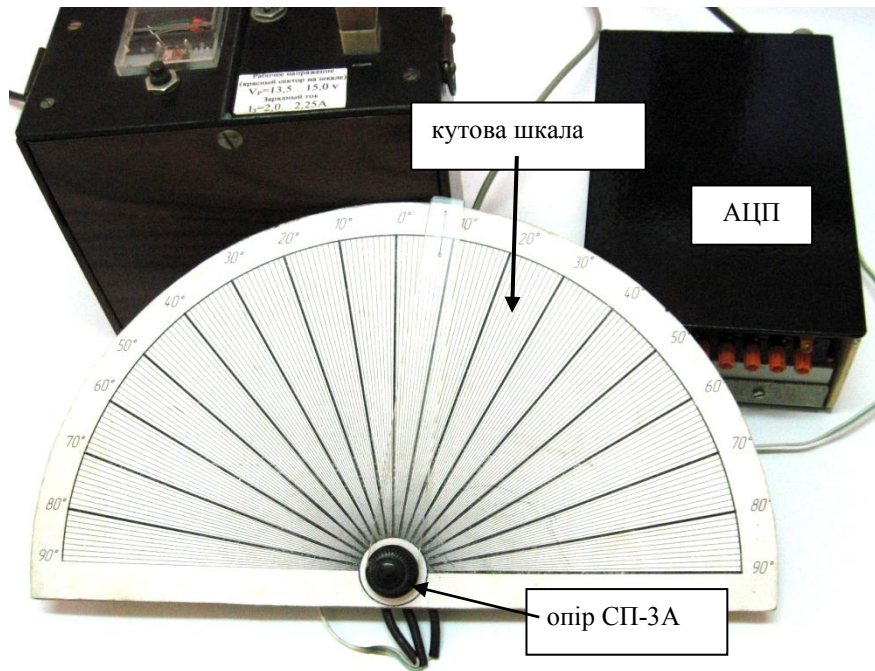


Рис. 2.2 – Тарировка змінного опору СП-3А

Для реєстрації курсового кута жниварко-лущильного агрегату застосовували гіроскопічний півкомпас ГПК-52, який розташовували в зоні поздовжньої координати центру мас трактора ХТЗ-121 (рис. 2.3).

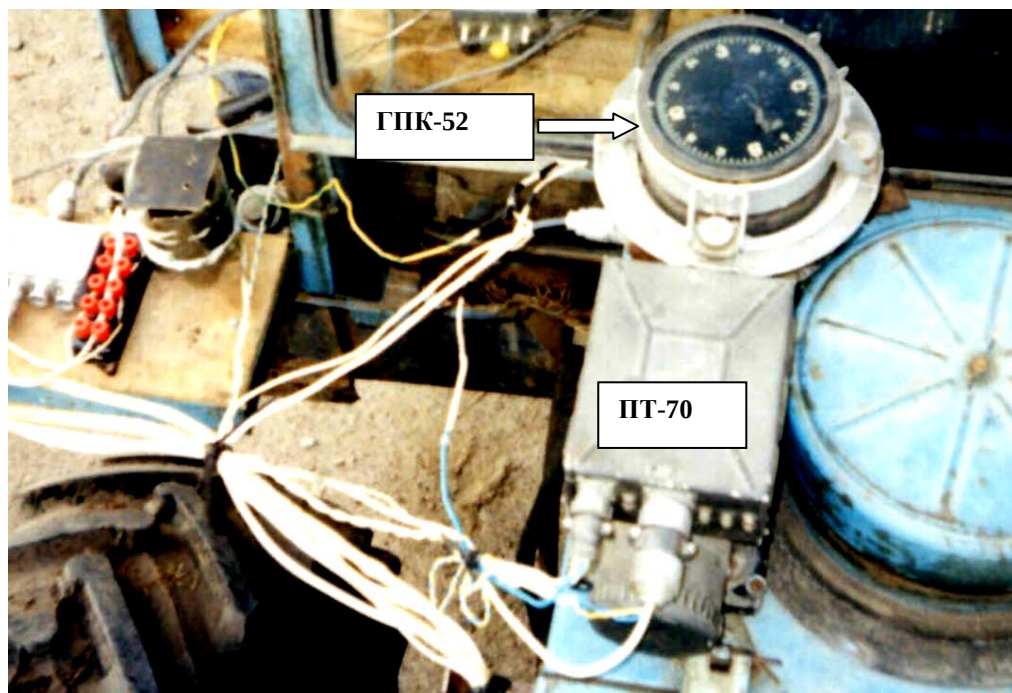


Рис. 2.3 – Установка гіропівкомпасу ГПК-52 на тракторі ХТЗ-121

Змінний струм напругою 36В і частотою 400 Гц, необхідний для роботи ГПК-52, вироблявся спеціальним перетворювачем ПТ-70 (рис.2.4). Гіропівкомпас ГПК-52 має власний пульт розвороту шкали. Тому, орієнтуючи рухому його частину у заданому кутовому напрямку, здійснювали тарировку всього навігаційного обладнання. Діапазон тарировки: $0 \pm 0,1$ рад. ($0-6^0$).

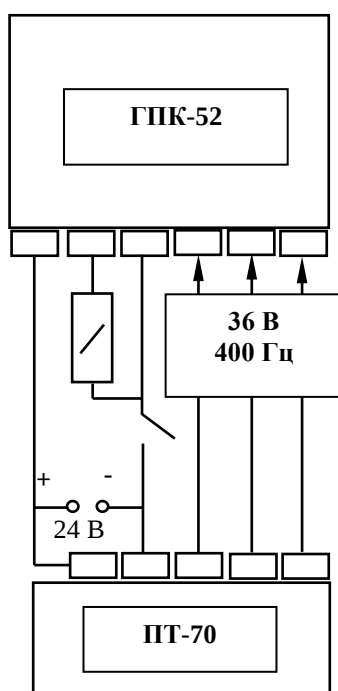


Рис. 2.4 – Схема з'єднання гіропівкомпасу ГПК-52 з перетворювачем ПТ-70

Процеси тарировки кутів α і φ реалізовували наступним чином. За допомогою спеціально розробленої програми через АЦП на комп'ютері фіксували дві точки. Перша – це максимально позитивна значина ($\pm 6^\circ$), а друга – максимально від'ємна (-6°) (рис. 2.5).

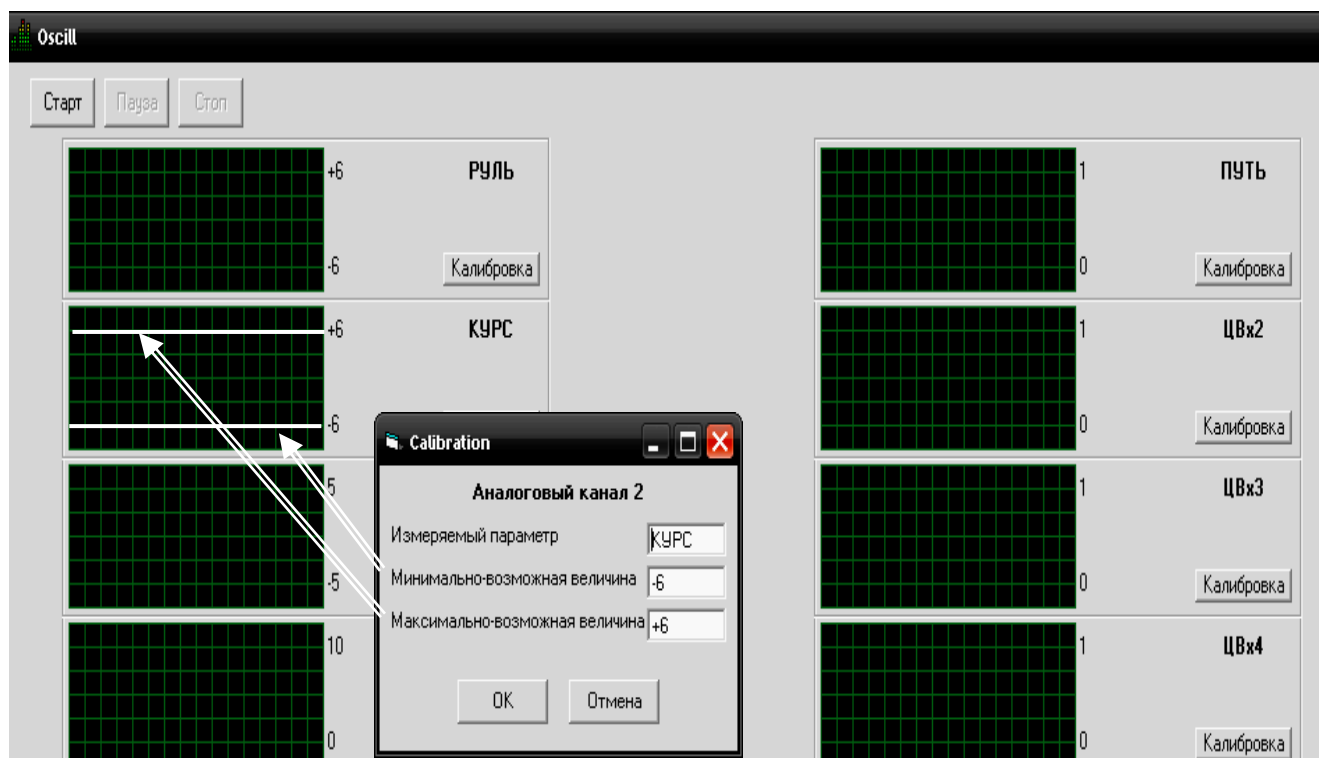


Рис. 2.5 – Вигляд екрану комп'ютера під час проведення тарировки гіропівкомпасу ГПК-52 (курсовий кут φ)

Під час проведення експериментальних досліджень ці вимірювані кутові величини (α і φ) відображались на екрані і одночасно оцифровувались та фіксувались в пам'яті ЕОМ в межах прийнятого діапазону, тобто $\pm 6^\circ$.

Оберти колеса переданого мосту трактора ХТЗ-121 реєстрували з допомогою кінцевого ртутного амальгамованого струмознімача ТРАК-4 з вмонтованим в ньому індукційним датчиком обертів.

Електричний сигнал від ТРАК-4 поступав на імпульсний канал аналогово-цифрового перетворювача. Програмою фіксувався час між кожними двома суміжними імпульсами (t_{ic} , с). При цьому вважали, що кожним 3 суміжним імпульсам відповідає один оберт ведучого колеса трактора ХТЗ-121.

Для реєстрації кута повороту керованих коліс трактора (α), його курсового кута (φ) і числа обертів ведучих коліс (n_k) на ЕОМ використовували вимірювально-реєстраційний комплекс, основу якого складав АЦП (рис. 2.6).

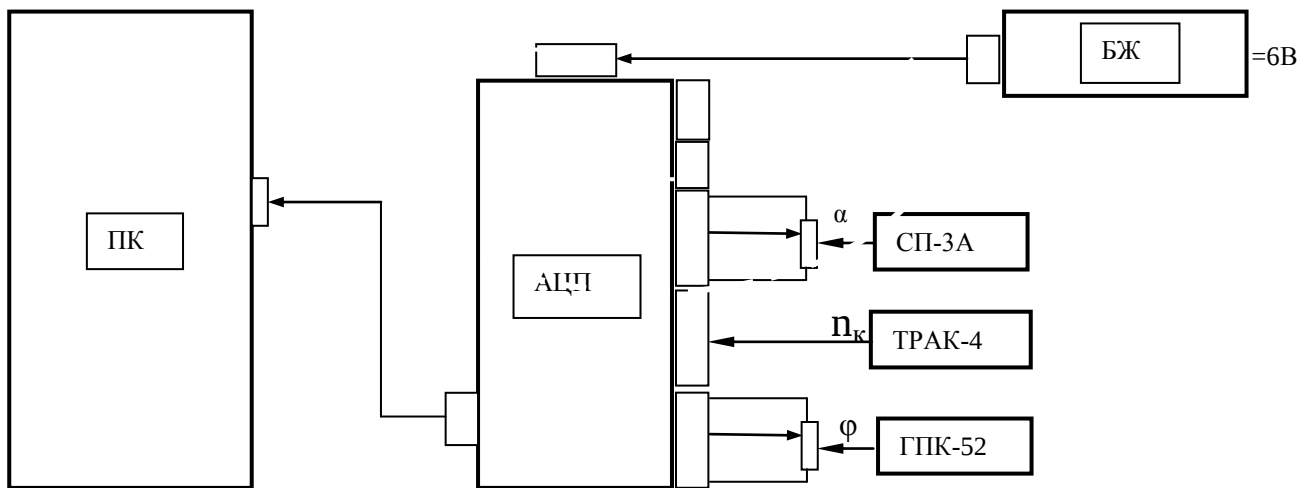


Рис. 2.6 – Блок - схема вимірювально-реєстраційного комплексу:

ПК – комп'ютер; АЦП- аналогово - цифровий перетворювач; БЖ- блок живлення; СП-3А – змінний опір 470 Ом; ГПК -52 – гіропівкомпас ГПК; ТРАК-4 – ртутно-амальгамований струмознімач; α – кут повороту керованих коліс трактора; φ – курсовий кут трактора; n_k – оберти ведучого колеса енергетичного засобу.

Через нього усі три вимірюваних параметри з допомогою спеціально розробленого програмного середовища одночасно реєструвались на ЕОМ у вигляді цифрового масиву.

Вологість ґрунту визначали методом гарячого висушування згідно з методикою, викладеною у ГОСТ 28268-89.

Для вимірювання щільності ґрунту використовували прилад, який побудований на основі принципу «різального циліндру».

Глибину обробітку ґрунту у між валковому просторі реєстрували спеціально виготовленим глибиноміром.

Погодинні витрати палива вимірювали з допомогою двох витратомірів ИП-151 (рис. 2.7). Один із них фіксував подачу палива до паливного насоса, а другий – кількість повернутого палива у паливний бак. Кожен із приладів ИП-151 був підключений до власного лічильника марки СБ-100М (рис.2.8).

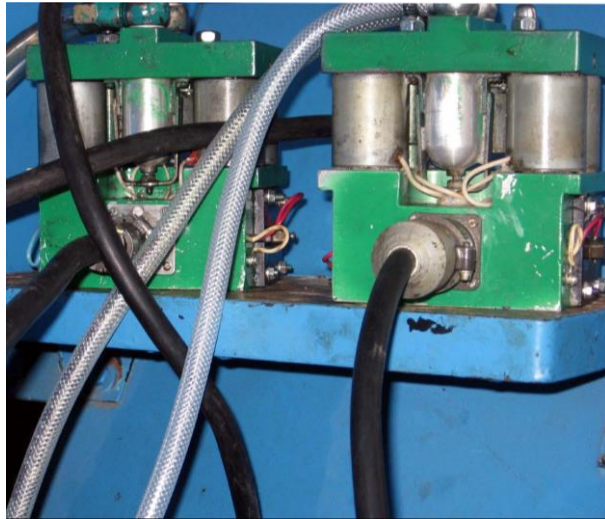


Рис.2.7 – Установка витратомірів палива на тракторі ХТЗ-121

Під час робочого руху оператор, одночасно з подачею на них живлення (постійний струм напругою 12 В), вмикав секундомір, яким фіксував тривалість кожного досліджу.



Рис.2.8 – Лічильники імпульсів СБ-100 М

Висоту стерні вимірювали лінійкою. Кількість вимірювань – 100, крок замірів – 0,2 м. Такої ж методики притримувались і при визначенні ширини задискованої та незадискованої смуг ґрунту у міжвалковому просторі, а також ширини валка. Для вимірювання цих параметрів використовували рулетку 5m-3FT.

Для визначення робочої ширини захвату жниварно-луцильного МТА перед його проходом від стінки стеблестою на певній заданій відстані Н (в процесі лабораторно – польових досліджень Н дорівнювало 1 м) з кроком 1 м встановлювали 30 кілочків. Після походу агрегату рулеткою вимірювали відстань (Сі) від кожного кілочка до нової стінки стеблестою (рис.2.9).

Робочу ширину захвату жниварно - луцильного МТА (V_p) розраховували за формулою:

$$V_p = C_i - H.$$

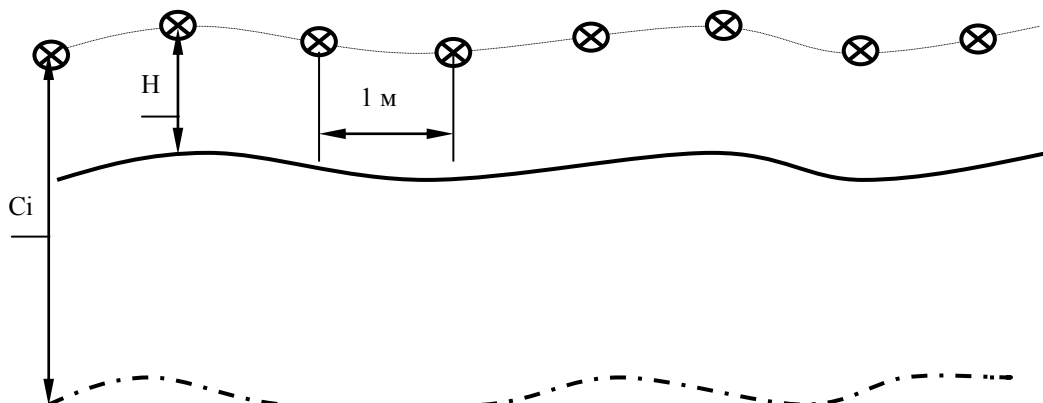


Рис.2.9 – Схема визначення робочої ширини захвату валкового МТА:

- - стінка стеблестою після попереднього проходу агрегату;
- - - - стінка стеблестою після останнього проходу агрегату;
- ⊗ - кілочка.

Реєстрацію параметрів, необхідних для визначення експлуатаційно – технологічних і агротехнічних показників збиральних агрегатів здійснювали з використанням обладнання, рекомендованого ГОСТ 24055 – 88.

Отримані в процесі лабораторно – польових досліджень реалізації кутів α і φ у вигляді оцифрованих даних переносили в програмне середовище Microsoft Excel. Потім для кожного із масивів з урахуванням заданого рівня довірчої ймовірності розраховували наступні статистичні характеристики:

- середню значину;
- середнє квадратичне відхилення (стандарт);
- дисперсію;
- коефіцієнт варіації;
- похибку вибіркової середньої;
- нормовану кореляційну функцію;
- нормовану спектральну щільність.

За окремою програмою розраховували нормовану взаємну кореляційну функцію між курсовим кутом МТА та кутом повороту керованих коліс трактора, із аналізу якої встановлювали рівень кореляційної зв'язку та фазового зсуву між параметрами α і φ .

Дійсну швидкість руху агрегату (V_p) знаходили із виразу:

$$V_p = \omega_k \cdot R_k,$$

де ω_k , R_k – кутова швидкість обертання (c^{-1}) та радіус кочення (м) ведучого колеса трактора відповідно;

Радіус кочення ведучого колеса трактора визначали так. На шину наносили кольорову позначку, яка залишала слід на поверхні шляху. Після проходу енергетичного засобу рулеткою заміряли відстань (S_k) між першим та N-м слідами позначки. Шуканий параметр розраховували за формулою:

$$R_k = \frac{S_k}{2 \cdot \pi \cdot (N - 1)}$$

Кутову швидкість обертання ведучого колеса знаходили із відомого виразу:

$$\omega_k = \pi \cdot n_k / 30$$

В свою чергу, параметр n_k визначали так:

$$n_k = \frac{N_{ic} - 1}{2 \cdot t_{ic}},$$

де N_{ic} – загальне прийняте до аналізу число імпульсів, отриманих від датчика обертів ведучого колеса трактора.

З урахуванням цього остаточно отримували вираз, який використовували для розрахунку дійсної (робочої) швидкості руху жнивально-луцильного МТА:

$$V_p = \frac{S_k \cdot N_{ic} - 1}{120 \cdot t_{ic} \cdot (N - 1)} \quad (2.1)$$

Дійсну швидкість робочого ходу жнивально-луцильного агрегату ($V_{рд}$), розраховану за формулою $V_{рд} = 100/t$, порівнювали з тією значиною цього параметра, яку встановлювали із залежності (2.1), і на основі цього оцінювали похибку при визначенні величини V_p .

Під час проведення лабораторно - польових досліджень за аналогічною методикою визначали швидкість руху (V_x) та оберти ведучого колеса (n_x) трактора при здійсненні агрегатом холостого проходу на тій же передачі, що й при виконанні ним технологічного процесу. Отримані дані використовували для розрахунку буксування рушіїв трактора під час його роботи у складі жнивально - луцильного агрегату:

$$\delta = 1 - \frac{n_x}{n_k} \cdot \frac{V_p}{V_x}.$$

Погодинні витрати палива жнивально-луцильним агрегатом (G_p , кг/год.) розраховували, використовуючи наступний вираз:

$$G_p = 3,6 \cdot \frac{(n_{вх} - n_{вих}) \cdot g_o \cdot \rho_p}{t},$$

де $n_{вх}$ – кількість імпульсів лічильника СБ-100М, який фіксував подачу палива до паливного насосу;

$n_{вих}$ – кількість імпульсів лічильника СБ-100М, який фіксував подачу палива до паливного бака;

g_o – об'єм одного імпульсу витратоміра палива ИП-151, см³;

ρ_p – щільність палива, г/см³;

t – тривалість досліду, с.

Для реалізацій таких параметрів, як ширина валка, висота стерні, глибина обробітку ґрунту у міжвалковому просторі, ширина задискованої смуги ґрунту у міжвалковому просторі, ширина не задискованої смуги, на якій розташований ва-

лок розраховували наступні статистичні характеристики:

- середню значину;
- середнє квадратичне відхилення (стандарт);
- дисперсію;
- коефіцієнт варіації;
- похибку вибіркової середньої;
- довірчий інтервал.

Для визначення прямолінійності валка паралельно його поздовжньої осі на заданій відстані від неї (2 м) відкладали пряму лінію, довжиною 100 м. Через кожен метр лінійкою заміряли відстань від прямої лінії до середини валка (рис.2.10).

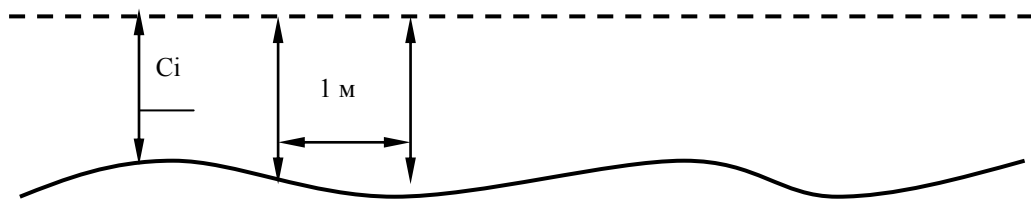


Рис.2.10 – Схема оцінювання прямолінійності валка:
 - - - - - базова пряма лінія; ———— - середина валка.

Отриманий масив даних обробляли на ЕОМ і розраховували перераховані вище статистичні характеристики, а також нормовані кореляційну функцію та спектральну щільність. З допомогою першої оцінювали довжину кореляційного шляху, а з допомогою другої - розподіл дисперсії (енергії) коливань траєкторії валка по частотах.

Засміченість зерна в бункері частинками ґрунту визначали згідно з методикою, викладеною у ГОСТ 28419-97 «Зерно. Метод определения сорной и зерновой примесей».

Для визначення поелементних витрат часу зміни роботи жнивально-лушпильного агрегату використовували формули, викладені в ГОСТ 24055 – 88.

2.2. Теоретичні дослідження функціонування такої динамічної системи, як блоково-модульний агрегат, здійснюватимемо з допомогою амплітудних (АЧХ) і фазових (ФЧХ) частотних характеристик. Для їх розрахунку необхідно мати відповідні передаточні функції.

Під час оцінювання керованості руху блоково-модульного МТА розглядатимемо передаточну функцію $[W_1(p)]$ по керуючому впливу відносно курсового кута енергетичного модуля МЕЗ:

$$W_1(p) = D_1/D_0$$

Стійкість руху досліджуваного агрегату будемо оцінювати з допомогою передаточних функцій по збурювальному впливу відносно як курсового кута ЕМ $[W_2(p)]$, так і відносно кута повороту ТМ $[W_3(p)]$:

$$W_2(p) = D_2/D_0; \quad W_3(p) = D_3/D_0$$

У вказаних передаточних функціях $D_0 \dots D_3$ – визначники системи диференціальних рівнянь математичної моделі МТА:

$$D_0 = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & 0 \\ K_{31} & 0 & K_{33} \end{vmatrix};$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} K_{11} & F_{11} & K_{13} \\ K_{21} & F_{21} & K_{23} \\ K_{31} & F_{31} & K_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K_{11} & F_{11} & K_{13} \\ K_{21} & F_{21} & 0 \\ K_{31} & 0 & K_{33} \end{vmatrix};$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} K_{11} & 0 & K_{13} \\ K_{21} & 0 & 0 \\ K_{31} & 1 & K_{33} \end{vmatrix};$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & 0 \\ K_{21} & K_{22} & 0 \\ K_{31} & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

В загальному вигляді передаточна функція представляє собою многочлен наступного виду:

$$W(p) = \frac{b_m \cdot p^m + b_{m-1} \cdot p^{m-1} + \dots + b_1 \cdot p + b_0}{a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 \cdot p + a_0}, \quad (2.2)$$

де b_m, a_n – коефіцієнти чисельника і знаменника передаточної функції, які визначаються конструктивними та кінематичними параметрами динамічної системи;

m, n – показники ступенів рівнянь чисельника і знаменника відповідно.

Підставивши в (2.2) замість оператора p величину $i \cdot \omega$ (де $i = \sqrt{-1}$, а ω – частота вхідного впливу), після перетворень отримуємо:

$$W(i\omega) = \frac{M + i \cdot N}{M_1 + i \cdot N_1},$$

$$\begin{aligned} \text{де } M &= b_0 - b_2 \cdot \omega^2 + b_4 \cdot \omega^4 - \dots \\ N &= b_1 \cdot \omega - b_3 \cdot \omega^3 + b_5 \cdot \omega^5 - \dots \\ M_1 &= a_0 - a_2 \cdot \omega^2 + a_4 \cdot \omega^4 - \dots \\ N_1 &= a_1 \cdot \omega - a_3 \cdot \omega^3 + a_5 \cdot \omega^5 - \dots \end{aligned}$$

В такому представленні передаточна функція представляє собою суму дійсної $[U(\omega)]$ і уявної $[V(\omega)]$ частотних характеристик динамічної системи. А саме:

$$W(i\omega) = U(\omega) + i \cdot V(\omega)$$

Вказані дійсна та уявна частини з урахуванням (2.14) є такими:

$$U(\omega) = M \cdot M_1 + N \cdot N_1 / (M_1^2 + N_1^2) = \text{Re};$$

$$V(\omega) = M_1 \cdot N - M \cdot N_1 / (M_1^2 + N_1^2) = \text{Im}.$$

Визначивши Re і Im , можна розрахувати АЧХ із наступного виразу:

$$A(\omega) = [U(\omega)^2 + V(\omega)^2]^{1/2}$$

Розрахунок фазових частотних характеристик $\Phi(\omega)$ здійснювали за алгори-

тмом, який враховував значини Re та Im (рис. 2.11).

В нашому випадку коефіцієнти чисельника (b_m) виразу (2.2) знаходяться із визначників D_1 , D_2 і D_3 . Натомість, коефіцієнти знаменника (a_n) – із головного визначника системи – D_0 .

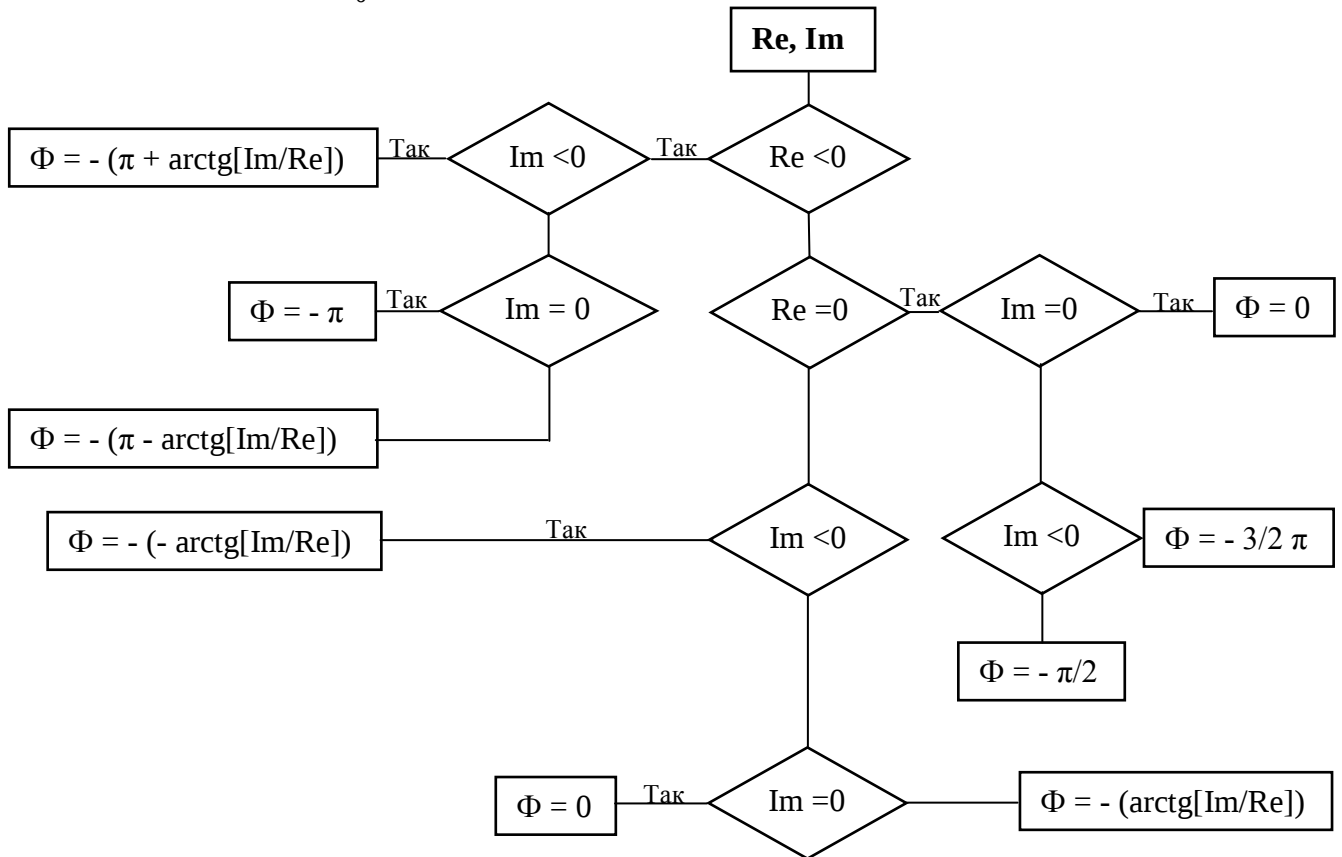


Рис. 2.11 – Блок-схема розрахунку ФЧХ

Головний визначник системи D_0 має такий вид:

$$D_0 = p \cdot (a_6 \cdot p^5 + a_5 \cdot p^4 + a_4 \cdot p^3 + a_3 \cdot p^2 + a_2 \cdot p + a_1),$$

де $a_6 = A_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{31}$;

$$a_5 = A_{12} \cdot A_{21} \cdot A_{31} + A_{11} \cdot A_{31} \cdot A_{23} + A_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{35};$$

$$a_4 = A_{11} \cdot A_{31} \cdot A_{24} + A_{12} \cdot A_{23} \cdot A_{31} - A_{13} \cdot A_{22} \cdot A_{31} + A_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{36} + A_{12} \cdot A_{21} \cdot A_{35} - A_{21} \cdot A_{32} \cdot A_{15} + A_{11} \cdot A_{23} \cdot A_{35};$$

$$a_3 = A_{12} \cdot A_{31} \cdot A_{24} - A_{22} \cdot A_{31} \cdot A_{14} + A_{12} \cdot A_{21} \cdot A_{36} + A_{11} \cdot A_{23} \cdot A_{36} - A_{21} \cdot A_{32} \cdot A_{16} + A_{11} \cdot A_{24} \cdot A_{35} + A_{12} \cdot A_{23} \cdot A_{35} - A_{13} \cdot A_{22} \cdot A_{35} - A_{23} \cdot A_{32} \cdot A_{15};$$

$$a_2 = A_{11} \cdot A_{24} \cdot A_{36} + A_{12} \cdot A_{23} \cdot A_{36} + A_{12} \cdot A_{24} \cdot A_{35} - A_{13} \cdot A_{22} \cdot A_{36} - A_{22} \cdot A_{14} \cdot A_{35} - A_{23} \cdot A_{32} \cdot A_{16} - A_{32} \cdot A_{15} \cdot A_{24};$$

$$a_1 = A_{12} \cdot A_{24} \cdot A_{36} - A_{22} \cdot A_{14} \cdot A_{36} - A_{32} \cdot A_{24} \cdot A_{16}.$$

Визначник D_1 знаходиться із наступного виразу:

$$D_1 = p \cdot (b_4 \cdot p^3 + b_3 \cdot p^2 + b_2 \cdot p + b_1),$$

де $b_4 = A_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{31}$;

$$b_3 = A_{12} \cdot A_{31} \cdot B_{21} - A_{22} \cdot A_{31} \cdot B_{11} + A_{11} \cdot A_{35} \cdot B_{21};$$

$$b_2 = A_{11} \cdot A_{36} \cdot B_{21} + A_{12} \cdot A_{35} \cdot B_{21} - A_{22} \cdot A_{35} \cdot B_{11} - A_{22} \cdot A_{15} \cdot B_{21};$$

$$b_1 = A_{12} \cdot A_{36} \cdot B_{21} - A_{22} \cdot A_{36} \cdot B_{11} - A_{32} \cdot A_{16} \cdot B_{21}.$$

З урахуванням вищевикладеного, передаточна функція по керуючому впли-

ву відносно курсового кута енергетичного модуля МЕЗ має такий вид:

$$W_1(p) = \frac{D_1}{D_0} = \frac{b_4 \cdot p^3 + b_3 \cdot p^2 + b_2 \cdot p + b_1}{a_6 \cdot p^4 + a_5 \cdot p^3 + a_4 \cdot p^2 + a_3 \cdot p + a_2}$$

Визначник D_2 , який відображає вплив збурення у вигляді розворотного моменту M_0 на курсовий кут енергетичного модуля МЕЗ, є значно простішим:

$$D_2 = p \cdot (b_2 \cdot p + b_1)$$

де $b_2 = A_{15} \cdot A_{22}$;

$b_1 = A_{16} \cdot A_{22}$.

Простішою при цьому є і відповідна передаточна функція:

$$W_2(p) = \frac{D_2}{D_0} = \frac{b_2 \cdot p + b_1}{a_6 \cdot p^4 + a_5 \cdot p^3 + a_4 \cdot p^2 + a_3 \cdot p + a_2}$$

І, нарешті, визначник D_3 , який відтворює вплив моменту M_0 на кут повороту технологічного модуля МЕЗ:

$$D_3 = p \cdot (b_4 \cdot p^3 + b_3 \cdot p^2 + b_2 \cdot p + b_1)$$

де $b_4 = A_{11} \cdot A_{21}$;

$b_3 = A_{12} \cdot A_{21} + A_{11} \cdot A_{23}$;

$b_2 = A_{11} \cdot A_{24} + A_{12} \cdot A_{23} - A_{13} \cdot A_{22}$;

$b_1 = A_{12} \cdot A_{24} - A_{22} \cdot A_{14}$.

Передаточна функція при цьому є такою:

$$W_3(p) = \frac{D_3}{D_0} = \frac{b_4 \cdot p^3 + b_3 \cdot p^2 + b_2 \cdot p + b_1}{a_6 \cdot p^4 + a_5 \cdot p^3 + a_4 \cdot p^2 + a_3 \cdot p + a_2} \quad (2.19)$$

АЧХ і ФЧХ, отримані з передаточної функції $W_1(p)$, характеризують керуваність руху блоково-модульного МТА. В робочому діапазоні частот коливань вхідного впливу бажані амплітудно-частотні характеристики повинні дорівнювати **1**, а фазово-частотні – **0**.

При відпрацюванні динамічною системою збурення бажані АЧХ мають дорівнювати **0**, ФЧХ – прямувати до ∞ .

Ті параметри та режими роботи дослідного МТА, які в робочому діапазоні частот коливань керуючого та збурювального вхідних впливів максимально наближають дійсні АЧХ і ФЧХ до бажаних, – є **оптимальними**.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Вплив луцення міжвалкового простору та режиму руху збирального агрегату на динаміку зміни вологості ґрунту

Під час виконання технологічного процесу на контрольній ділянці дослідний агрегат рухався на двох швидкостях: 1,80 і 2,45 м/с. Більш швидкісний режим переміщення жнивально-луцильного МТА характеризується більш ретельнішим подрібнення стерні, що відповідним чином відбилась на динаміці зміни вологості в

грунті (рис. 3.1).



Рис. 3.1 – Фон міжвалкового простору після проходу жниварно-луцильного агрегату зі швидкістю 1,80 м/с (а) і 2,45 м/с (б)

Характеристика агрофону представлена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Характеристика агротехнічного фону	
Показник	Значина
Вологість ґрунту (%) в шарі: 0...5 см	14,2
5...10 см	22,4
10...15 см	26,6
Щільність ґрунту в шарі 0...15 см, г/см ³	1,26
Урожайність пшениці, ц/га	30,8
Густота рослин, шт/м ²	382
Середня значина висоти рослин, м	0,68
Вага 1000 шт. насінин, г	44
Відношення ваги зерна до ваги соломи	1:1,4
Втрати зерна від самоосипання, %	0,1
Забур'яненість посівів, г/м ²	16,8

В результаті було виявлено, що з плином часу на усіх трьох дослідних ділянках вологість ґрунту поступово зменшується. Водночас, динаміка цих процесів різна. Найбільш інтенсивно волога зменшується на необробленому (незлущеному) фоні (рис. 3.2, крива 3).

На подрібнених фонах вологість ґрунту падає менш інтенсивно, що однозначно вказує на користь лушення між валкового простору одночасно зі косінням зернових колосових культур у валки.

Як уже підкреслювалося, при більшій швидкості руху жниварно - луцильного агрегату стерня збираємої культури разом із ґрунтом подрібнюється більш інтенсивно (див. рис.3.1). За рахунок цього вологість агрофону на тій ділянці, де збиральний агрегат рухався швидше, залишається постійно вищою, ніж там, де МТА переміщався повільніше. Різниця значин цього показника в абсолютному

вимірюванні сягає 1% (див. рис. 3.2, криві 1 і 2).

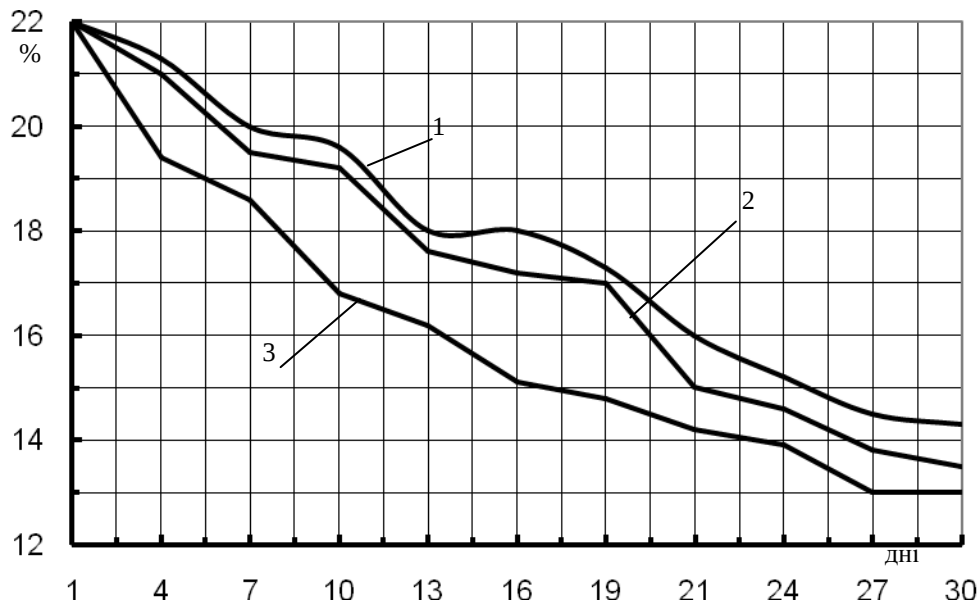


Рис. 3.2 – Динаміки зміни вологості ґрунту на злущеній (1, 2) і необробленій ділянках (3): 1 – 2,4 м/с; 2 – 1,8 м/с

Крім цього виявлено ще одну цікаву обставину. Різниця між вологістю ґрунту в оброблених і необробленій смугах в умовах дослідів була відчутною (до 3% у абсолютних значеннях) на протязі приблизно трьох тижнів. У більш пізні строки вона залишалась практично постійною.

Практично це означає, що здійснення основної обробки ґрунту не пізніше певного строку після збирання сільськогосподарських культур з лущенням між валкового простору (в даному випадку – це 21 день), характеризуватиметься меншими витратами енергії [1].

3.2. Вплив схеми і режиму руху жнивотно-лушильного агрегату на якісні показники його роботи

В схемному плані жнивотно-лушильний агрегат виглядав наступним чином. Згідно з результатами теоретичних досліджень трактор був налаштований на прямий хід. На передній його навісний механізм навішували валкову жниварку, а на задній – дискову борону. Останню приєднували за двома варіантами. Перший передбачав її шарнірне, а другий – нерухоме положення в горизонтальній площині відносно поздовжньої осі трактора.

Під час проведення лабораторно – польових досліджень МТА рухався на двох передачах, які забезпечували йому швидкість переміщення 1,8 і 2,4 м/с.

Як показав аналіз експериментальних даних, зі збільшенням швидкості руху жнивотно – лушильного агрегату дисперсія коливань кута повороту керованих коліс трактора збільшувалась на 8...10% (рис. 3.3).

Причому незалежно від способу (схеми) агрегування задньонавісної дис-

кової борони: шарнірне чи жорстке приєднання в горизонтальній площині.

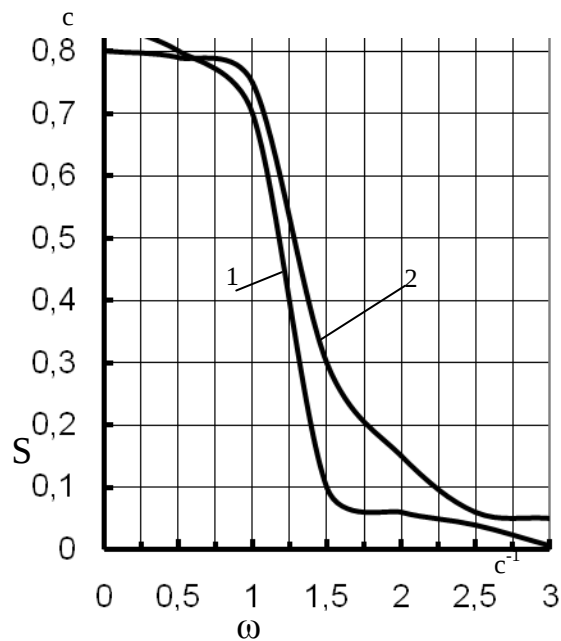


Рис. 3.3 – Нормовані спектральні щільності кута повороту керованих коліс трактора при різних швидкостях руху жнивально-луцильного агрегату:
1- 1,8 м/с; 2 – 2,4 м/с

Спектр коливань вхідного сигналу був при цьому також ширшим. Якщо за швидкості руху 1,8 м/с частота зрізу нормованої спектральної щільності коливань кута α була $1,5 \text{ с}^{-1}$, то при $V_0 = 2,4 \text{ м/с}$ вона становила $2,5 \text{ с}^{-1}$, тобто зростала майже в 1,7 рази (див. рис.3.3).

Такий результат можна пояснити тим, що при більшій швидкості переміщення жнивально - луцильного МТА механізатор змушений з більшою частотою впливати на кермо трактора. Інакше агрегат гірше відслідковуватиме траєкторію його попереднього проходу.

Із-за досить високих інерційних властивостей жнивально - луцильного агрегату зміна швидкості його робочого руху значно менше впливала на дисперсію і спектр коливань курсового кута трактора. Особливо при жорсткому приєднанні ґрунтообробного знаряддя у горизонтальній площині.

Такий варіант агрегування дискової борони забезпечує більш тісний кореляційний зв'язок між кутом повороту керованих коліс трактора (керуючий вплив) і його курсовим кутом. Позитивна максимальна значина нормованої кореляційної функції взаємозв'язку цих параметрів становить 0,82. Водночас, при шарнірному приєднанні ґрунтообробного знаряддя ця оцінка сягає лише позначки 0,6, тобто на 25% менше (рис. 3.4).

Розглянемо ще один цікавий факт. Максимуми нормованих взаємних кореляційних функцій знаходяться у першому квадранті. А це означає, що дійсним вхідним впливом розглядуваної динамічної системи є кут керованих коліс трактора (α), а вихідною величиною – його курсовий кут (φ).

Натомість, якби максимальні значини функції $R(t)$ були розташовані в другому квадранті, то тоді слід вхідним впливом приймати кут φ , а вихідним параметром – реакцію динамічної системи у вигляді повороту керованих коліс трактора

на відповідний кут α [2].

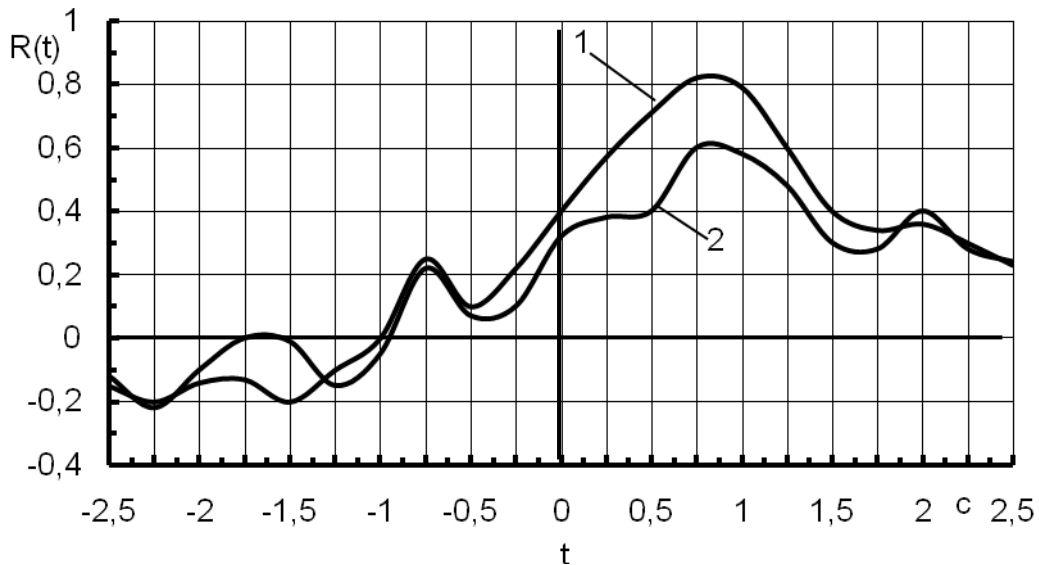


Рис. 3.4 – Взаємні кореляційні функції коливань курсового кута та кута повороту керованих коліс трактора при жорсткій (1) і шарнірній (2) схемах приєднання дискової борони

Відстань по горизонталі від максимальної значини нормованої кореляційної функції до вертикальної осі, яка проходить через точку $R(t)=0$, характеризує фазовий зсув, тобто значину запізнення вихідної величини на зміну вхідного параметру. В розглядуваному нами прикладі запізнення жнивально – луцильного агрегату на керуючий вплив становить приблизно 0,75...0,80 с (див. рис.3.4). При нульовому фазовому зсуві (коли $t=0$) значини обох нормованих взаємних кореляційних функцій відрізняються мало.

Під час виконання технологічного процесу робоча ширина захвату жнивально – луцильного агрегату була такою, довірчий інтервал якої для статистичного рівня значущості 0,05 становив 5,76...5,85 м. Рівень варіабельності цього параметру був низьким, на що вказує відповідний коефіцієнт варіації, значина якого не перевищувала 9%.

Збиральний агрегат формував валки шириною $1,35 \pm 0,15$ м. Коливання їх непрямолинійності мали низькочастотний (що бажано!) характер. Так, частота зрізу нормованої спектральної щільності цього процесу не перевищувала $0,5 \text{ м}^{-1}$ (рис.3.5). При копіюванні траєкторії такого валка зі швидкістю руху жнивально – луцильного агрегату 2,4 м/с це становить $1,2 \text{ с}^{-1}$ (0,19 Гц). При відтворенні кривизни валка у більш повільному режимі (1,8 м/с) значина частоти зрізу ще менша. А саме: $0,5 \cdot 1,8 = 0,9 \text{ с}^{-1}$ або 0,14 Гц.

Валки укладалися на стерню, висота якої становила $14,8 \pm 2,3$ см. Максимум нормованої спектральної щільності коливань цього процесу зміщений в бік більш високих частот (див. рис. 3.5).

Частота зрізу при цьому у 5 разів ($2,5 \text{ м}^{-1}$ проти $0,5 \text{ м}^{-1}$) вища, ніж у спектральної щільності коливань траєкторії валка. З урахуванням швидкості відтворення висоти стерні (1,8-2,4 м/с) це становить $4,5\text{-}6 \text{ с}^{-1}$ або 0,71-0,96 Гц.

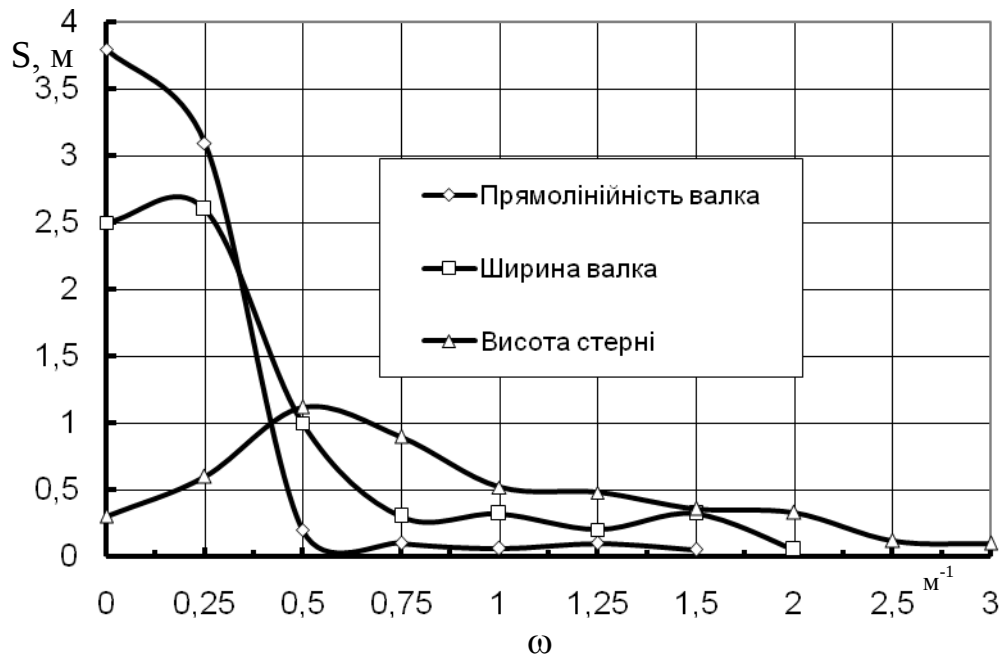


Рис. 3.5 – Нормовані спектральні щільності коливань прямолінійності і ширини валка та висоти стерні пшениці

Отриманий результат є цілком логічним, оскільки маса (а значить і інерційні властивості) навісної жнивarki ЖВН-6Б (яка, власне, і формує фон стерні) набагато менша за масу (ті ж самі інерційні властивості) усього агрегату.

Внутрішня структура коливань ширини валка займає проміжне місце між проаналізованими вище двома процесами (див. рис. 3.5). Так, частота зрізу для цього параметра становить $1,25 \text{ м}^{-1}$, а максимум нормованої спектральної щільності припадає на частоту $\omega = 0,2 \text{ м}^{-1}$.

Приведені на рис.3.5 частотні характеристики трьох проаналізованих процесів характеризують жниварно – луцильний агрегат, який рухався зі швидкістю $1,8 \text{ м/с}$, а навісна дискова борона була жорстко приєднана до трактора у горизонтальній площині. Як показав аналіз експериментальних даних, при переміщенні агрегату зі швидкістю $2,4 \text{ м/с}$ і шарнірному приєднанні ґрунтообробного знаряддя частотний діапазон коливань ширини і траєкторії валка та висоти стерні залишався практично тим же.

Що стосується енергії, тобто дисперсії кожного із процесів, то вони були різними. З довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що нуль-гіпотеза про рівність дисперсій коливань ширини валка не відхиляється. Іншими словами, процеси коливань цього параметра для обох варіантів режиму руху жниварно – луцильного агрегату представляють одну і ту ж генеральну сукупність. Це пояснюється тим, що дійсна значина F-критерію Фішера ($F_d = 1,12$, табл. 3.2) менша за табличну, яка для статистичного рівня значущості 0,05 та кількості вимірювань параметра $N = 100$, становить 1,35 [3].

З практичної точки зору такий результат вказує на індиферентність статистичних характеристик ширини валка від зміни швидкості руху агрегату (у вказаних межах) та способу приєднання в горизонтальній площині ґрунтообробного знаряддя до енергетичного засобу.

Таблиця 4.2

Дисперсії коливань ширини (B_v) і траєкторії (Pr_v) валка та висоти стерні ($H_{ст}$) при різних режимах руху жниварно – луцильного МТА

Режим роботи МТА	Дисперсія коливань, $см^2$		
	B_v	$H_{ст}$	Pr_v
$V_0 = 1,8$ м/с; жорстке приєднання борони	28,09	2,56	53,29
$V_0 = 2,4$ м/с; вільне приєднання борони	31,36	4,00	37,21
F-критерій Фішера (Fd)	1,12	1,57	1,42

Натомість, цього не можна стверджувати стосовно статистичних характеристик двох інших параметрів: коливань траєкторії (непрямої лінійності) валка та висоти стерні. В обох випадках різниця між порівнюваними дисперсіями (див. табл. 3.2) є суттєвою. Тобто, нуль-гіпотеза про рівність цих статистичних оцінок найімовірніше на рівні значущості 0,05 відхиляється, оскільки дійсні значини F-критеріїв Фішера (1,57 і 1,42) більші за табличну (1,35). Звідси випливає такий висновок: шарнірне приєднання задньонавісної дискової борони і збільшення швидкості руху жниварно – луцильного агрегату призводять до погіршення якісних показників його роботи. На практиці це проявляється у вигляді збільшення дисперсії коливань висоти стерні та відхилень траєкторії валка від прямої лінії.

Глибина обробки ґрунту у міжвалковому просторі залежить лише від швидкості руху. І то лише в енергетичному (дисперсійному), а не в частотному плані. Якщо при швидкості руху жниварно – луцильного агрегату 1,8 м/с середня значина глибини розпушення агротехнічного фону (стерні) становила 7 см, то при 2,4 м/с – лише 4 см. Інша справа, що подрібнення ґрунту, як це уже підкреслювалося вище, було кращим у другому варіанті. Що стосується дисперсії коливань розглядуваного показника, то згідно F-критерію Фішера нуль-гіпотеза про їх рівність не відхиляється як на статистичному рівні значущості 0,05, так і на рівні значущості 0,01.

Конструктивна ширина використовуваного дискового знаряддя становила 3,0 м. При жорсткому його приєднанні до трактора (перший варіант) коливання в горизонтальній площині здійснює весь жниварно – луцильний агрегат. При шарнірному агрегуванні (другий варіант) борона взагалі має власну незалежну ступінь вільності, яка проявляється в її поворотності відносно трактора.

І в тому, і в другому варіантах дійсна робоча ширина захвату ґрунтообробного знаряддя була практично не більша за конструктивну. Проте, внутрішня структура коливань цього параметру різна (рис. 3.6).

За практично однакової дисперсії спектр частот коливань ширини злущеної смуги стерні при шарнірному приєднанні борони ширший. У порівнянні з жорстким агрегуванням вказаного ґрунтообробного знаряддя частота зрізу нормованої спектральної щільності майже в 1,5 рази більша ($1,12 м^{-1}$ проти $0,75 м^{-1}$). І якщо в першому варіанті максимум оцінюваної статистичної характеристики припадає на частоту $0,2 м^{-1}$, то в другому він, зменшуючись в числовому вираженні в 1,5 рази, зміщуються у бік більш високої частоти, а саме $0,4 м^{-1}$.

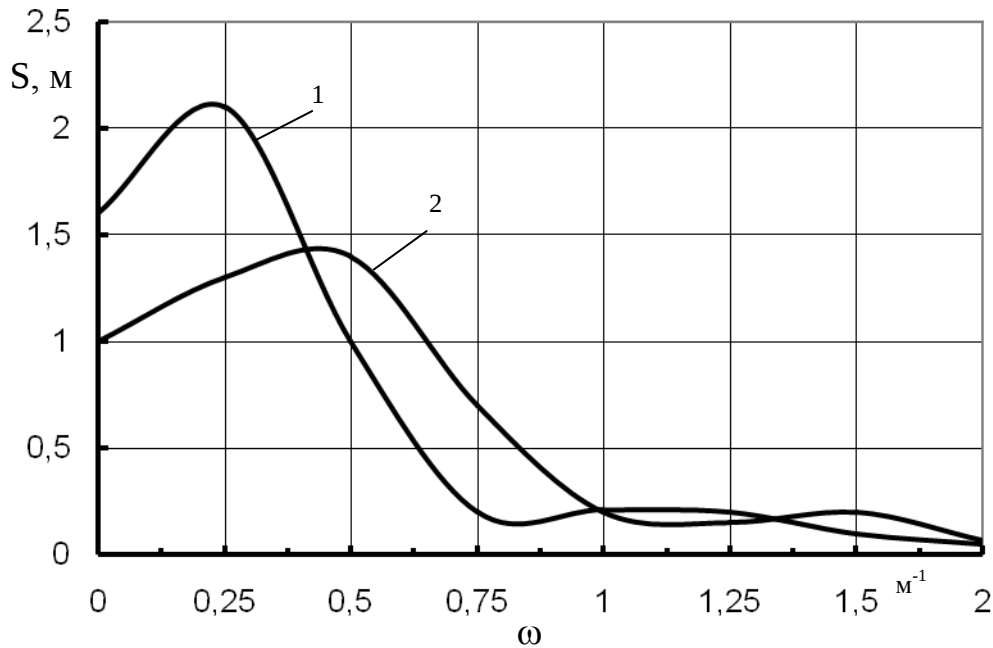


Рис. 3.6 – Нормовані спектральні щільності коливань ширини злущеної смуги стерні при жорсткому (1) та шарнірному (2) агрегуванні задньонавісної дискової борони

Нічого алогічного у отриманому результаті немає, оскільки більша частота діапазону коливань шарнірно приєднаного знаряддя є природним результатом практичної реалізації ним власного (уже згадуваного вище) незалежного ступеню вільності у вигляді кута повороту у горизонтальній площині.

Оскільки ширина захвату дискового ґрунтообробного знаряддя менша за ширину міжвалкового простору, то валок укладається на незлущеній смузі так, що по обидві сторони від нього залишаються вільні простори. Ці своєрідні «захисні зони» потрібні для того, аби звести до мінімуму забруднення валка ґрунтовими грудочками, які в процесі роботи жниварно - луцильного агрегату відлітають від крайніх дисків задньонавісної борони.

В реальних умовах функціонування жниварно – луцильного агрегату ширина односторонньої не злущеної («захисної») смуги валка змінювалась в діапазоні від 0,63 до 0,82 м. Як була встановлено експериментально, цього виявилось досить для того, аби унеможливити попадання ґрунтових грудочок у валок. Причому, навіть за швидкості робочого руху агрегату 2,4 м/с (тобто 8,64 км/год.).

Певна річ, в зоні незлущеної смуги (приблизно 8...10 см), яка межує зі злущеним фоном, трапляються грудочки ґрунту. Проте, під час підбирання валків вони не захоплюються пружинними пальцями підбирача. Справа в тому, що відстань між сподом валка, який знаходиться на стерні, і поверхнею поля як правило більша за діаметр грудочок ґрунту, розташованих на незлущеній смузі. Висота ж установки підбирача валків приймалася такою, щоб його пальці не зачіпали поверхні поля, а лише підіймали чистий валок.

Підтвердженням цьому була відсутність часточок ґрунту в зерні бункера комбайну під час підбирання ним валків, сформованих дослідним жниварно – луцильним агрегатом.

3.3. Експлуатаційно-технологічна оцінка роботи жнивально-луцильного агрегату

Для проведення експлуатаційно-технологічних випробувань жнивально – лущильний агрегат був налаштований у відповідності до розроблених рекомендацій. МТА працював на скошуванні озимої пшениці у валки в Науково-дослідному центрі ТДАТУ (Запорізька обл., Мелітопольський р-н, с. Лазурне). Характеристики агрофону представлено у табл.3.1.

Одночасно з дослідним працювали два базових агрегати. Перший із них включав комбайн СК-5 «Нива» з навісною жнивальною ЖВН-6.

Другий МТА здійснював лущення стерні. До його складу входив колісний трактор Т-150К та дискова борона БДТ-7.

Як показали результати досліджень, змінна продуктивність жнивально - лущильного та базового валкового агрегатів виявилася однаковою (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Експлуатаційно-технологічні показники роботи порівнюваних агрегатів

№ п/п	Показник	Значина для МТА		
		нового	базового	
			жнивально-ного	дискуваль-ного
1.	Умови та режим роботи:			
	- довжина гону, м	1470		
	- швидкість руху, км/год.	8,3	8,4	8,0
	- робоча ширина захвату, м	5,9	5,9	6,8
	- висота стерні, см	15	14	-
2.	Продуктивність праці 1 за годину:			
	- основного часу, га	4,9	5,0	5,4
	- змінного часу, га	3,9	3,9	4,6
	- експлуатаційного часу, га	3,8	3,75	4,4
3.	Питомі витрати палива, кг/га	4,3	4,8	4,9
4.	Експлуатаційно-технологічні показники:			
	- коефіцієнт використанні часу зміни	0,80	0,78	0,86
	- коефіцієнт використання експлуатаційного часу	0,79	0,75	0,82
	- коефіцієнт надійності технологічного процесу	0,98	0,98	0,97
	- коефіцієнт робочих ходів	0,84	0,83	0,90
5.	Агротехнічні показники: втрати зерном за жнивальною (вільним зерном та зерном у колосі), %	0,32	0,35	-

Натомість, питомі витрати палива у дослідного агрегату були на 10,4% меншими. Можливо із-за більш повного завантаження двигуна трактора ХТЗ-121, який, крім валкової жниварки, агрегувався ще й ґрунтообробним знаряддям - дисковою бороною. Дійсний стан цього питання був таким. Під час виконання технологічного процесу погодинні витрати палива вказаним енергетичним засобом становили 21,1 кг/год. При максимальній значині цього параметра на рівні 25 кг/год. це відповідало завантаженню двигуна трактора ХТЗ-121 на рівні 84%. Буксування його рушіїв не перевищувало 7%.

Експлуатаційно-технологічні і якісні показники роботи жниварно – луцильного та базового валкового агрегатів те ж приблизно однакові (див. табл.3.3).

Водночас, якщо технологічні операції скошування пшениці у валки і лушення її стерні в новому варіанті виконувались одночасно одним агрегатом, то у базовому – двома.

3.4. Вплив параметрів з'єднання модулів МЕЗ на стійкість транспортного переміщення блоково-модульного МТА

Наближати дійсні АЧХ (і ФЧХ) до бажаних в даному випадку можна змінною коефіцієнта опору гідравлічного дроселя K_m . Як виявилось, при зміні його значини від 0 до 10^4 Н·м·с/рад., амплітудні і фазові частотні характеристики динамічної системи при відпрацюванні нею збурювального впливу у вигляді розворотного моменту M_0 практично не змінюються. І лише при подальшому збільшенні K_m відбувається бажане зменшення АЧХ (рис. 3.7).

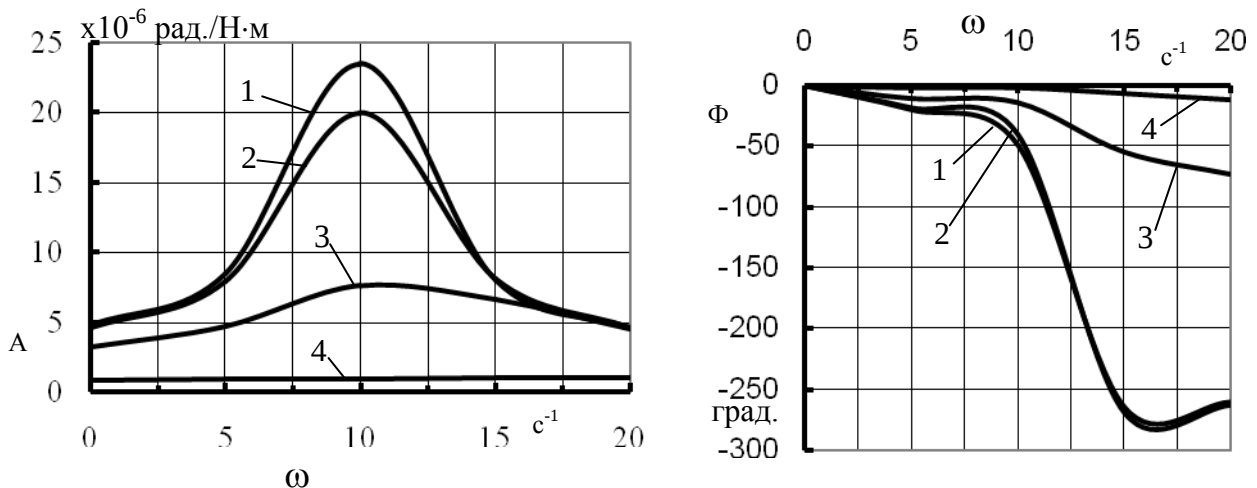


Рис. 3.7 – Амплітудні (А) та фазові (Ф) частотні характеристики кута повороту технологічного модуля при відпрацюванні збурення у вигляді розворотного моменту при різних значинах коефіцієнта демпфірування K_m (Н·м·с/рад.):
1 – $K_m = 0$; 2 – $K_m = 10^4$; 3 – $K_m = 10^5$; 4 – $K_m = 10^6$.

Причому, на частоті $\omega = 10$ s^{-1} ці характеристики мають резонансний пік, який повністю зникає при $K_m = 10^6$ Н·м·с/рад. В усьому діапазоні частот АЧХ динамічної системи дорівнює при цьому 1×10^{-6} рад./Н·м. Згідно з розрахунками мак-

симальна значина розворотного моменту, створюваного силою інерції ТМ з навішеним на нього плугом ПЛН-5-35, становить приблизно 22000 Н·м. При ступеню демпфірування гідроциліндрів на рівні 10^6 Н·м·с/рад. даний момент здатний повернути технологічний модуль лише на 0,022 рад. або $1,25^\circ$.

Що стосується фазових частотних характеристик, то вони суттєво відрізняються, коли частота коливань розглядуваного збурювального впливу (тобто моменту M_0) більша за $7,5 \dots 8,0$ с^{-1} (див. рис.3.7). За подальшого зростання величини ω ФЧХ зменшуються, що взагалі є явищем небажаним при відпрацюванні будь-якою динамічною системою того чи іншого збурення.

Проте слід мати на увазі, що з точки зору оцінки стійкості руху машинно-тракторного агрегату відтворення ним, як динамічною системою, амплітуди збурення є більш важливим, ніж відтворення фази. Остання, як відомо, є мірою запізнення МТА на збурювальний вплив. З урахуванням цього дані рис.3.7 слід сприймати як рекомендацію щодо **збільшення** коефіцієнту опору дроселя/ дроселів обмежувальних гідроциліндрів технологічного модуля МЕЗ.

При збільшенні швидкості руху блоково-модульного агрегату від 2 до 5 м/с амплітудні частотні характеристики відпрацювання ним збурювального впливу мають резонансний пік, який припадає на частоту 10 с^{-1} (рис. 3.8).

АЧХ динамічної системи змінюються при цьому мало. Особливо при $V_0 = 3$ м/с і більше. Пояснити цей факт можна інертністю технологічного модуля і навішеного на нього знаряддя (плуга), яка при підвищенні швидкості руху машинно-тракторного агрегату проявляється більш ефективно.

В діапазоні частот $0 \dots 10$ с^{-1} фазові частотні характеристики динамічної системи при відпрацюванні нею збурення практично не залежать від швидкісного режиму МТА. Різниця у запізненні його реакції на вхідний вплив з'являється на частотах $10 \dots 20$ с^{-1} , а потім знову зникає. З урахуванням бажаного виду ФЧХ при відпрацюванні динамічною системою збурювального впливу при частоті його коливань $10 \dots 20$ с^{-1} переважним є рух блоково-модульного МТА зі швидкістю не більше 3 м/с (див. рис. 3.8).

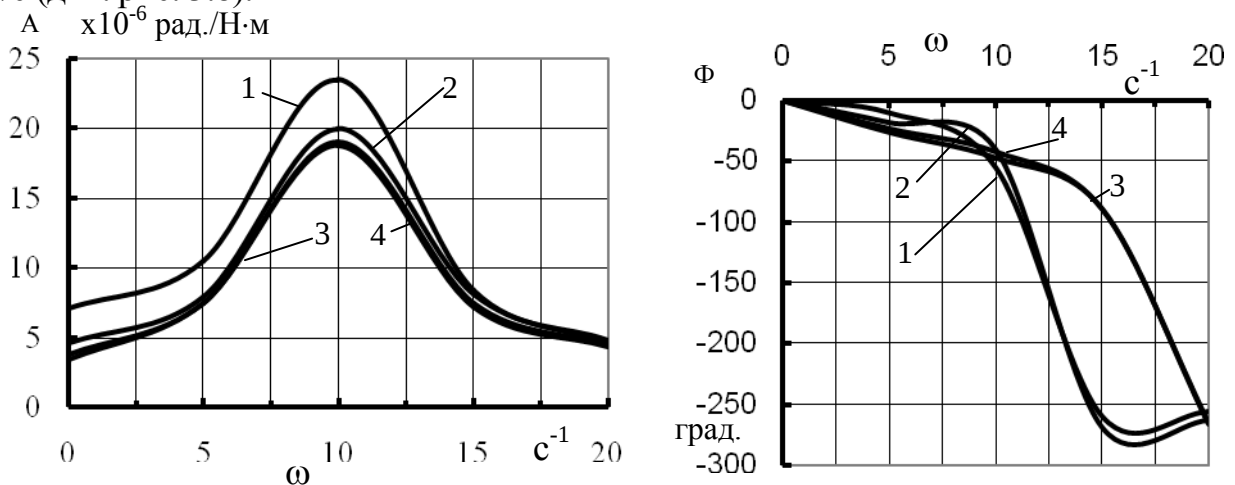


Рис.3.8 – Амплітудні (А) та фазові (Φ) частотні характеристики кута повороту технологічного модуля при відпрацюванні збурення у вигляді розворотного моменту при різній швидкості руху МТА (V_0):
1 – 2 м/с; 2 – 3 м/с; 3 – 4 м/с; 4 – 5 м/с.

Правда більш теоретично, ніж практично. І ось чому. При $\omega = 15 \text{ с}^{-1}$ маємо найбільший фазовий зсув між двома режимами руху агрегату: 3 і 4 м/с (на рис.3.8 це криві 2 і 3). Конкретно він становить приблизно 200° або 3,5 рад. Звідси випливає, що при збільшенні V_0 з 3 до 4 м/с запізнення МТА на збурювальний вплив зменшується всього на $3,5/15 = 0,23 \text{ с}$. На інших частотах діапазону $10 \dots 20 \text{ с}^{-1}$ ця різниця ще менша.

Це ж саме можна сказати і стосовно коефіцієнтів опору уводу шин передніх та задніх коліс енергетичного модуля МЕЗ. Інша справа з коефіцієнтом опору уводу шин коліс ТМ. При його збільшенні від 160 до 210 кН/рад. максимальна значина АЧХ динамічної системи зростає (крива 2, рис. 3.9).

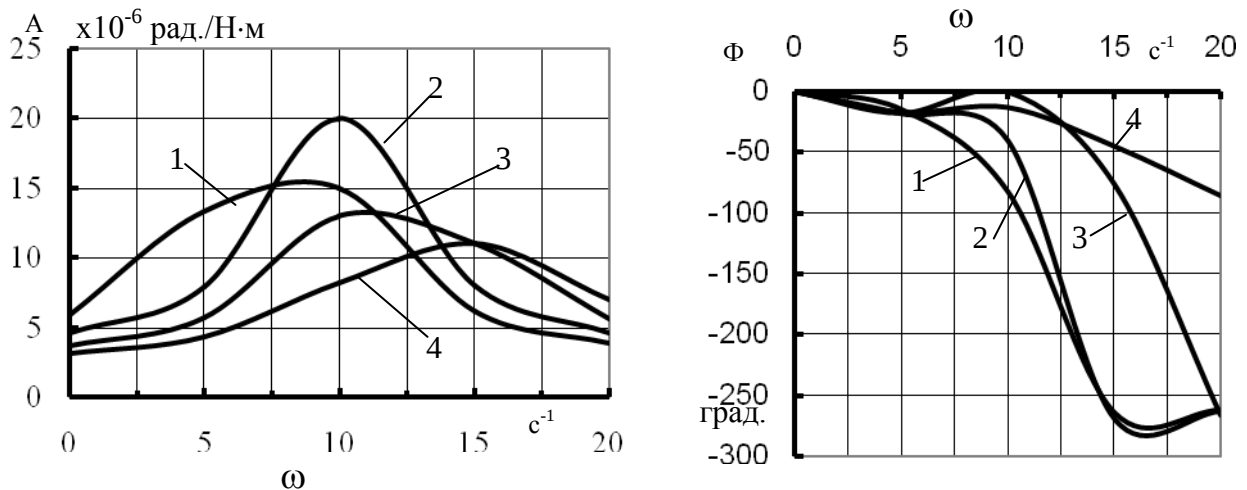


Рис.3.9 – Амплітудні (А) та фазові (Ф) частотні характеристики кута повороту технологічного модуля при відпрацюванні збурення у вигляді розворотного моменту при різних зачинах коефіцієнта опору уводу шин коліс ТМ (K_c): 1 – 160 кН/рад.; 2 – 210 кН/рад.; 3 – 260 кН/рад; 4 – 310 кН/рад;

При подальшому збільшенні k_c вказані характеристики зменшуються. Резонансний пік АЧХ при цьому зміщується в бік більших частот.

Фазові частотні характеристики хоча і відрізняються між собою на частотах, більших за 6 с^{-1} , проте ця різниця є незначною.

В кінцевому рахунку можна сказати, установка шин мосту ТМ із загальним коефіцієнтом опору уводу на рівні 260 кН/рад. і більше сприяє зменшенню амплітуди його коливань у горизонтальній площині. Краще себе він поводитиме в діапазонах частот зміни збурювального впливу $0 \dots 5$ та $10 \dots 20 \text{ с}^{-1}$ (див. рис. 3.9). Так, при значині розглядуваного розворотного моменту на рівні 22000 Н·м і $k_c=310 \text{ кН/рад.}$ кут повороту технологічного модуля МЕЗ не буде перевищувати 4° .

Тепер відносно коефіцієнта демпфірування K_m . Збільшення його значини приводить до бажаного зменшення АЧХ (рис. 3.10). Так, коли K_m дорівнює 10^6 Н·м·с/рад. , максимальна значина коефіцієнта підсилення збурення такою динамічною системою, якою є розглядуваний машинно-тракторний агрегат, зменшується в 17 разів, а АЧХ не має резонансних піків.

Фазові частотні характеристики МТА при збільшенні значини K_m погіршуються. Але, лише в діапазоні частот коливань збурювального впливу $\omega = 6 \dots 13 \text{ с}^{-1}$ і на величину, яка менша, ніж при відпрацюванні розворотного моменту техноло-

гічним модулем.

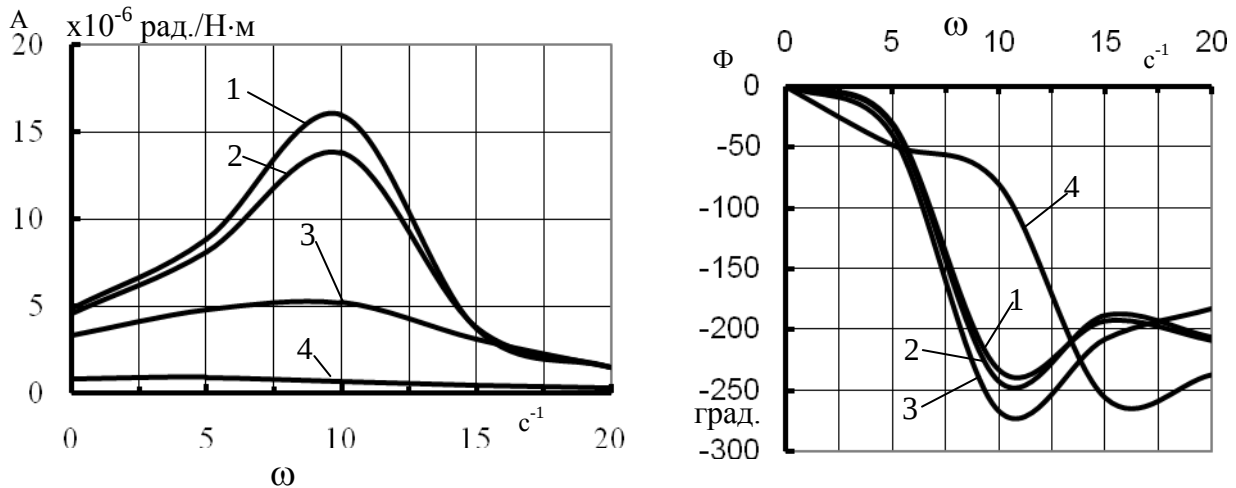


Рис.3.10 – Амплітудні (A) та фазові (Φ) частотні характеристики кута повороту енергетичного модуля при відпрацюванні збурення у вигляді розворотного моменту при різних значинах коефіцієнта демпфірування K_M (Н·м·с/рад.):
1 – $K_M = 0$; 2 – $K_M = 10^4$; 3 – $K_M = 10^5$; 4 – $K_M = 10^6$.

В даному ж випадку зміна в реакції блоково-модульного агрегату на вхідний вплив відрізняється лише тоді, коли коефіцієнт демпфірування обмежувальних гідравлічних циліндрів технологічного модуля становить не менше 10^6 Н·м·с/рад. . Причому, як уже підкреслювалося, лише в діапазоні частот коливань розворотного моменту $6 \dots 13 \text{ с}^{-1}$ (див. рис. 3.10).

На частоті $\omega > 13 \text{ с}^{-1}$ ФЧХ динамічної системи взагалі зменшується, що є бажаним з точки зору збереження чи підвищення її стійкості руху у горизонтальній площині проєкцій.

3.5. Оцінка керованості блоково-модульного агрегату в режимі транспортного руху

Перш, ніж проводити аналіз, нагадаємо, що при відпрацюванні динамічною системою керуючого впливу визначальним є фазовий зсув, тобто характер ФЧХ.

Стосовно розглядуваного нами блоково-модульного агрегату збільшення швидкості його транспортного переміщення від 2 до 5 м/с призводить до погіршення як фазових, так і амплітудних частотних характеристик (рис. 3.11).

Проаналізуємо ці процеси більш детально. АЧХ системи в усьому швидкісному діапазоні її руху менші за бажану, яка в робочому діапазоні частот зміни керуючого впливу повинна, як відомо, дорівнювати одиниці. Проте, між собою ці характеристики відрізняються мало. До того ж, усі вони мають тенденцію до покращення при збільшенні ω , тобто частоти коливань керованих коліс енергетичного модуля МЕЗ.

Фазові частотні характеристики починають відрізнятися на частотах коливань кута повороту керованих коліс енергетичного модуля МЕЗ більших за $0,5 \text{ с}^{-1}$ (див. рис. 3.11). При $\omega = 0,75 \text{ с}^{-1}$ різниця у фазових зсувах складає 20° або $0,35$ рад. Практично це означає, що запізнення реакції МТА на керуючий вплив становить

$0,35/0,75 = 0,47$ с. При $\omega = 3 \text{ с}^{-1}$ вказане запізнення дорівнює 0,23 с.

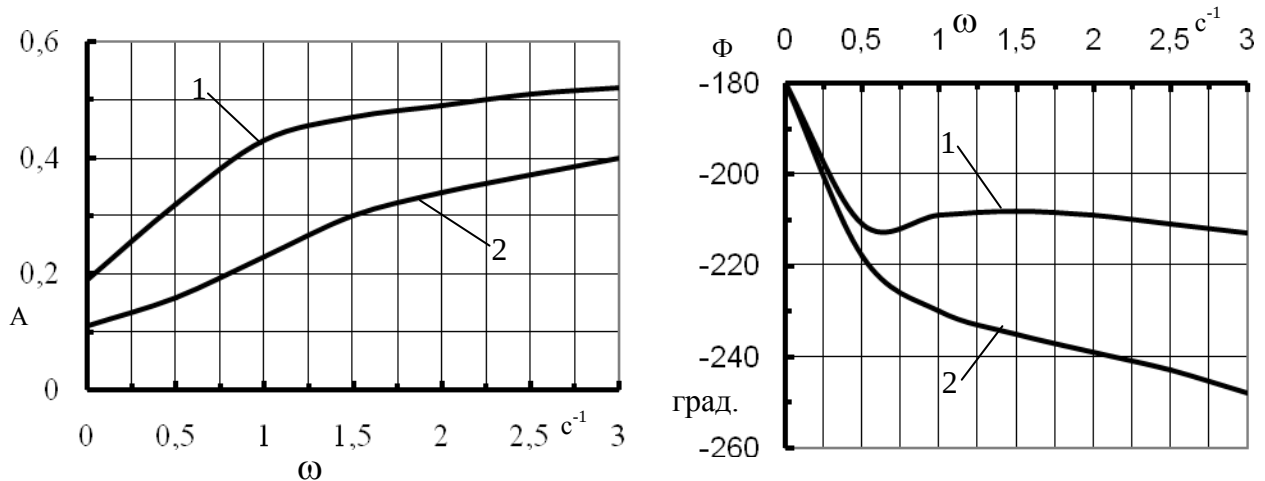


Рис.3.11 – Амплітудні (А) та фазові (Φ) частотні характеристики курсового кута енергетичного модуля при відпрацюванні керуючого впливу з різною швидкістю руху МТА (V_0): 1 – 2 м/с; 2 – 5 м/с.

Із приведено вище аналізу отримуємо два альтернативних висновки. Перший полягає в тому, що задля покращення керованості блоково-модульного агрегату збільшення швидкості його транспортного руху має супроводжуватися збільшенням інтенсивності впливу на керовані колеса (через рульове колесо).

Суть другого висновку полягає в протилежному: при збільшенні V_0 інтенсивність впливу на керовані колеса МЕЗ повинна бути якомога меншою. Враховуючи постулат, викладений на початку даного параграфу, визначальним приймаємо саме цей результат.

Із коефіцієнтів опору уводу лише k_a здійснює більш-менш відчутний вплив на керованість руху блоково-модульного агрегату. І то лише стосовно АЧХ. В результаті математичного моделювання встановлено, що зі збільшенням k_a від 10 до 50 кН/рад. ці характеристики покращуються (рис. 3.12).

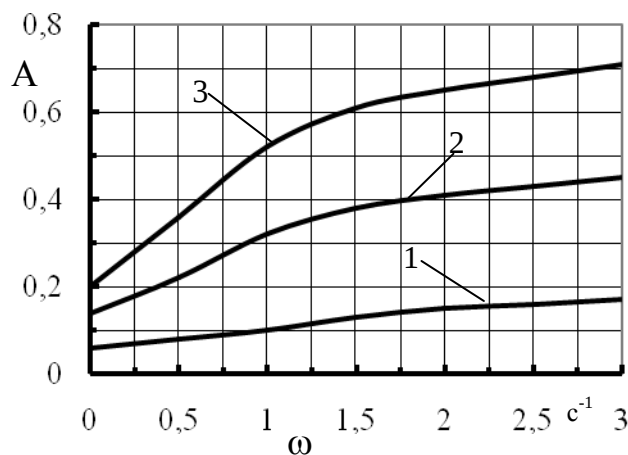


Рис. 3.12 – Амплітудні частотні характеристики курсового кута енергетичного модуля при відпрацюванні керуючого впливу при різних значеннях коефіцієнта опору уводу шин передніх коліс ЕМ (K_a):
1 – 10 кН/рад.; 2 – 30 кН/рад.; 3 – 50 кН/рад

На практиці збільшити коефіцієнт уводу шин коліс можна шляхом підвищення тиску повітря в них. Саме це стосовно передніх рушіїв енергетичного модуля МЕЗ і слід робити. Встановлення такого тиску в їх шинах, яке забезпечить коефіцієнт опору уводу не менше 50 кН/рад., сприятиме підвищенню керованості руху досліджуваного блоково-модульного агрегату. І ця керованість тим вища, чим більшою буде інтенсивність впливу на процес повороту керованих коліс.

Насамкінець, відмітимо, що найбільш відчутний вплив на керованість транспортного руху блоково-модульного МТА здійснює коефіцієнт демпфірування K_m . Проте, лише при його значині, більшій за 10^5 Н·м·с/рад. (рис. 3.13).

За відсутності демпфірування АЧХ відпрацювання динамічною системою найкраща. На частотах коливань керуючого впливу $2,5 \dots 3,0$ с⁻¹ вона взагалі відповідає бажаній. Проте, на практиці поворот керованих коліс з такою інтенсивністю застосовується вкрай рідко і обмежено у часі (під час виконання агрегатом повороту, наприклад). Згідно з даними В.Т. Надикти, в процесі керування машинно-тракторними агрегатами при здійсненні ними прямолінійного переміщення найбільш застосовуваним є діапазон частот до $0,5$ с⁻¹. В розглядуваному нами випадку, коли $\omega = 0 \dots 0,5$ с⁻¹, різниця між АЧХ за різних значин коефіцієнта демпфірування K_m мала (див. рис. 3.13).

Зовсім інша справа щодо швидкості відпрацювання розглядуваною динамічною системою керуючого впливу. Зміна K_m в межах $0 \dots 10^5$ Н·м·с/рад. практично не впливає на характер керованості руху блоково-модульного МТА. Фазовий зсув становить при цьому 180° і більше (див. рис. 3.13). На частотах коливання кута повороту керованих коліс МЕЗ $0,5 \dots 3,0$ с⁻¹ в середньому він становить 220° або $3,8$ рад.

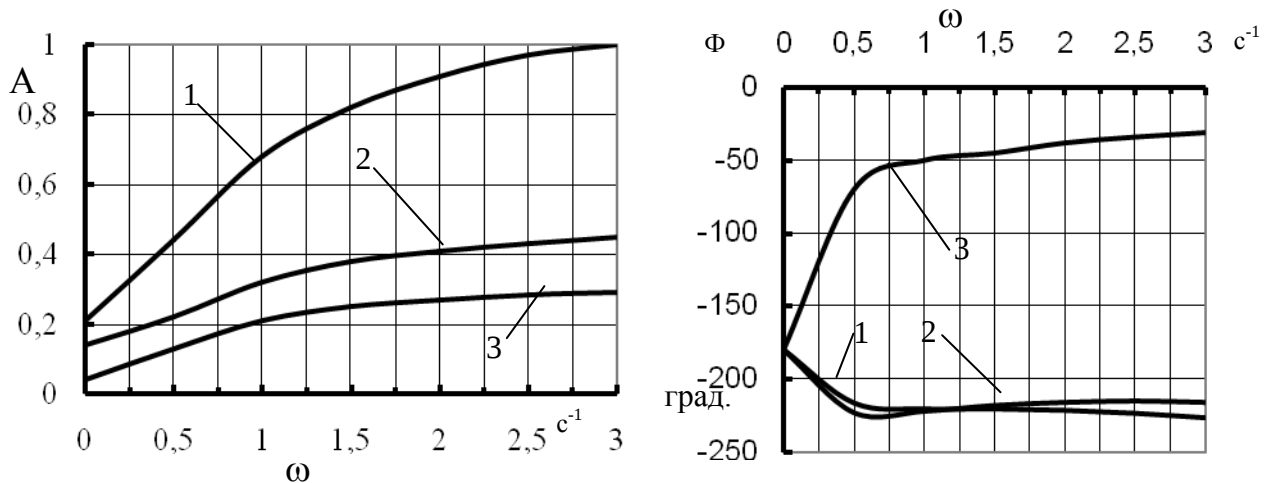


Рис. 3.13 – Амплітудні (А) та фазові (Ф) частотні характеристики курсового кута енергетичного модуля при відпрацюванні керуючого впливу при різних значинах коефіцієнта демпфірування K_m (Н·м·с/рад.):
1 – $K_m = 0$; 2 – $K_m = 10^5$; 3 – $K_m = 10^6$.

Запізнення реакції енергетичного модуля на керуючий вплив змінюється при цьому від 7,6 с (коли $\omega = 0,5$ с⁻¹) до 1,3 с (при $\omega = 3,0$ с⁻¹).

Якісно і кількісно змінюється стан речей при збільшенні коефіцієнта демпфірування K_m до величини 10^6 Н·м·с/рад. В цьому варіанті в частотному діапазоні $0 \dots 0,5$ с⁻¹ фазовий зсув зменшується з 180° до 70° (1,2 рад.).

ВИСНОВКИ

1. На подрібненому фоні у перші 3 тижні вологість ґрунту падає менш інтенсивно, що однозначно вказує на користь луцення між валкового простору одночасно зі косінням зернових колосових культур у валки.
2. При більшій швидкості руху жниварно - луцильного агрегату стерня збираємої культури разом із ґрунтом подрібнюється більш інтенсивно. За рахунок цього вологість агрофону на тій ділянці, де збиральний агрегат рухався швидше, залишається постійно вищою, ніж там, де МТА переміщався повільніше. Різниця значин цього показника в абсолютному вимірюванні сягає 1%.
3. Зі збільшенням швидкості руху жниварно – луцильного агрегату дисперсія коливань кута повороту керованих коліс трактора незалежно від способу приєднання задньонавісного ґрунтообробного знаряддя (жорстке чи шарнірне) збільшується на 8...10%.
4. Позитивна максимальна значина нормованої кореляційної функції взаємозв'язку коливань курсового кута трактора і кута повороту його керованих коліс при жорсткому агрегуванні дискової борони становить 0,82. Водночас, при шарнірному приєднанні ґрунтообробного знаряддя ця оцінка сягає лише позначки 0,6, тобто на 25% менше.
5. З ймовірністю 95% можна стверджувати, що робоча ширина захвату жниварно – луцильного агрегату змінюється в межах 5,76...5,85 м. Рівень варіабельності цього параметру є низьким, на що вказує відповідний коефіцієнт варіації, значина якого не перевищує 9%. Причому, статистичні характеристики ширини валка індиферентні відносно зміни швидкості руху агрегату та способу приєднання в горизонтальній площині ґрунтообробного знаряддя до енергетичного засобу.
6. Частота зрізу нормованої спектральної щільності коливань непрямої валків не перевищує $0,5 \text{ м}^{-1}$. При копіюванні траєкторії такого валка зі швидкістю руху жниварно – луцильного агрегату 2,4 м/с це становить $1,2 \text{ с}^{-1}$ (0,19 Гц). При відтворенні кривизни валка у більш повільному режимі (1,8 м/с) значина частоти зрізу ще менша - $0,9 \text{ с}^{-1}$ (0,14 Гц).
7. Шарнірне приєднання задньонавісної дискової борони і збільшення швидкості руху жниварно – луцильного агрегату призводять до погіршення якісних показників його роботи. На практиці це проявляється у вигляді збільшення дисперсії коливань висоти стерні та відхилень траєкторії валка від прямої лінії.
8. За практично однакової дисперсії спектр частот коливань ширини злученої смуги стерні при шарнірному приєднанні борони ширший. У порівнянні з жорстким агрегуванням вказаного ґрунтообробного знаряддя частота зрізу нормованої спектральної щільності майже в 1,5 рази більша ($1,12 \text{ м}^{-1}$ проти $0,75 \text{ м}^{-1}$). І якщо в першому варіанті максимум оцінюваної статистичної характеристики припадає на частоту $0,2 \text{ м}^{-1}$, то в другому він, зменшуючись в числовому вираженні в 1,5 рази, зміщуються у бік більш високої частоти, а саме $0,4 \text{ м}^{-1}$.

9. В реальних умовах функціонування жниварно – луцильного агрегату ширина односторонньої не злушеної («захисної») смуги валка змінювалась в діапазоні від 0,63 до 0,82 м. Цього виявилось досить для того, аби унеможливити попадання ґрунтових грудочок у валок. Причому, навіть за швидкості робочого руху агрегату 2,4 м/с (тобто 8,64 км/год.).
10. Якщо змінна продуктивність жниварно - луцильного та базового валкового агрегатів є практично однаковою, то питомі витрати палива - ні. У дослідного МТА вони на 10,4% менші, що пояснюється досить високим (85%) рівнем використання потужності двигуна його трактора.
11. Коефіцієнт гідравлічного опору здійснює відчутний вплив на характер відтворення блоково - модульним агрегатом керуючого впливу та збудження лише при значині, більшій за 10^4 Н·м·с/рад. В цьому випадку АЧХ динамічної системи суттєво зменшуються, а їх протікання відбувається без резонансних піків.
12. При значині коефіцієнта демпфірування $K_m = 10^6$ Н·м·с/рад. розворотний момент, який діє на технологічний модуль МЕЗ в горизонтальній площині, здатний повернути його лише на $1,25^\circ$. Максимальна амплітуда коливань курсового кута ЕМ зменшується при цьому в 17 разів.
13. При частоті коливань керуючого впливу $0,5 \text{ с}^{-1}$ збільшення значини коефіцієнта гідравлічного опору з 10^5 Н·м·с/рад. на порядок обумовлює зменшення ФЧХ на 150° . На практиці це приводить до зменшення запізнення реакції енергетичного модуля МЕЗ з 7,6 до 2,4 с, тобто більше, ніж втричі. На частоті $\omega = 3 \text{ с}^{-1}$ вказане запізнення реакції ЕМ становить лише 0,18 с, що в 7,2 рази менше, ніж при $K_m = 10^5$ Н·м·с/рад.
14. При збільшенні швидкості руху блоково-модульного агрегату від 2 до 5 м/с амплітудні частотні характеристики відпрацювання збудження технологічним модулем разом з навішеним на нього знаряддям, а також енергетичним модулем МЕЗ змінюються мало і мають резонансний пік, який припадає на частоту 10 с^{-1} . По відношенню до технологічного, АЧХ відтворення енергетичним модулем збудження у вигляді розворотного моменту - менші.
15. Характер стійкості руху блоково-модульного агрегату є практично інваріантним по відношенню до коефіцієнтів опору уводу шин переднього та заднього мостів енергетичного модуля МЕЗ.
16. Установка шин мосту ТМ із загальним коефіцієнтом опору уводу на рівні 260 кН/рад. і більше сприяє зменшенню амплітуди як його коливань, так і коливань енергетичного модуля. В діапазонах частот зміни збудрювального впливу $0 \dots 5$ та $10 \dots 20 \text{ с}^{-1}$ кут повороту ТМ взагалі не буде перевищувати 4° .
17. Для забезпечення кращої керованості транспортного руху блоково - модульного агрегату інтенсивність впливу на органи керування МЕЗ має бути якомога більшою, а коефіцієнт опору уводу шин передніх коліс його енергетичного модуля – максимально можливим.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В.Р.Вильямс. Почвоведение. земледелие с основами почвоведения. – М.: Гос. издат-во с.-х. литературы. – 1951. – 576 с.
2. Цибулевский И.Е. Человек как звено следящей системы. – М: Наука.- 1981. – 288 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей /Е.С.Вентцель. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы. – 1958. – 464 с.
4. Иофинов С.А., Бабенко Э.П., Зуев Ю.А. Справочник по эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: Агропромиздат, 1985.– 272 с.
5. Надикто В.Т., Крижачківський М.Л., Кюрчев В.М., Абдула С.Л. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2005.– 337 с.

Приклад
звіту про патентні дослідження

НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»
Української академії аграрних наук (ННЦ «ІМЕСГ» УААН)
Південний філіал Національного наукового центру «ІМЕСГ»
(ПФ ННЦ «ІМЕСГ» УААН)
✉ 72502 Запорізька обл., смт. Якимівка, вул. 40 років Перемоги, 4
☎ (06131) 9-44-47

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ПФ ННЦ «ІМЕСГ»

_____ В.В. Федоренко
2003. XII. ____

ЗВІТ
про патентні дослідження

15 грудня 2003 р.

ПД2003.Р11.01

**МАШИНО-ТРАКТОРНІ АГРЕГАТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ НА БАЗІ ТРАКТОРІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

Етап: Використання переднього навісного механізму трактора,
переднього валу відбору потужності та реверсивного руху

Завідувач лабораторії, д.т.н., проф. _____ В. Надикто

2003 р.

СПИСОК ВИКОНАВЦІВ

Керівник підрозділу-виконавця:
завідувач лабораторії,
доктор технічних наук,
професор

В. Надикто
(висновки)

Старший науковий
співробітник

Г. Санін
(патентний пошук,
оформлення звіту)

Молодший науковий
співробітник,
кандидат технічних наук

А. Аюбов
(патентний пошук)

Інженер II кат.

В.Савенко
(оформлення звіту)

ЗМІСТ

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ.	4
РОЗДІЛ1 ВИЗНАЧЕННЯ ПАТЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ОБ'ЄКТА ГОСПОДАРЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	5
1.1 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу	5
1.2 Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.	11
РОЗДІЛ 2 ДОКУМЕНТИ-АНАЛОГИ.	16
2.1 Аналіз можливості застосування в ОГД відомих об'єктів промислової власності.	16
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.	17
Додаток А1: Завдання на проведення патентних досліджень.	18
Додаток Б1: Регламент пошуку.	19
Додаток В1: Довідка про пошук.	20

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Суб'єктом господарської діяльності (патентних досліджень) виступає Південний філіал Національного наукового центру “ІМЕСГ” Української академії аграрних наук (ПФ ННЦ “ІМЕСГ” УААН).

Об'єкт господарської діяльності (ОГД) – машинно-тракторні агрегати (МТА) на основі тракторів з розширеними функціональними можливостями: реверсивним рухом, розгалуженою схемою відбору потужності завдяки наявності переднього, заднього, бокових та синхронного валів її відбору (ВВП), наявністю переднього навісного механізму (ПНМ), можливістю оперативного переналагодження потужності двигуна на два рівні та ін.

До числа енергетичних засобів з такими розширеними потенційними можливостями відноситься розроблені відкритим акціонерним товариством “ХТЗ” нові орно-просапні трактори ХТЗ-120/160.

Головною їх перевагою, яка дійсно приваблює споживача, є універсальність. Рівень останньої досить високий, що дає можливість з максимальною ефективністю використовувати нові колісні енергетичні засоби практично на всіх видах сільськогосподарських робіт. На Україні ще не було колісного енергетичного засобу, який би в однаковій мірі ефективно використовувався як на роботах загального призначення, так і на вирощуванні просапних культур. Тракторів з подібними потенційними функціональними можливостями не має жодна з країн СНД.

По-перше: нові енергетичні засоби виконані по інтегральній схемі з однаковими ведучими колесами, передні із яких керовані. Передній міст має балансірний підвіс, що суттєво зменшує навантаження на раму при рухові по нерівностях шляху.

По-друге: рядний 4-х циліндровий двигун СМД-19Т.02 має два режими потужності: 120 та 145 к.с. Ця дуже цінна якість дає можливість більш ефективно завантажувати двигун в умовах практичного експлуатування тракторів. Перемикання режимів - швидко і може легко здійснюватися механізатором в польових умовах.

По-третє: у відповідності з вимогами сьогодення трактори ХТЗ-120/121 оснащені передньою та задньою навісними системами, переднім і заднім валами відбору потужності, гідравлічним її відбором та реверсивним постом керування. На них можуть установлюватися як одинарні та здвоєні шини для роботи в міжряддях просапних культур, так і більш широкі одинарні та здвоєні шини для виконання операцій по основному обробітку ґрунту.

По своїм тягово - енергетичним показникам ці трактори відповідають енергетичним засобам класу 3 (Т-150К).

РОЗДІЛ 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПАТЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ОГД

1.1 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	відомості щодо їхньої дії
Широкозахватний машинно-тракторний агрегат, який складається із енергетичного засобу, до передньої частини якого приєднані бокові секції, а до задньої - центральна секція с.-г. машини.	Широкозахватний машинно-тракторний агрегат // Надикто В.Т., Черепухін В.Д. А.с. СРСР №1586544, А 01 В59/04. Заявлено 18.10. 1988. Опубл. 23.08.1990 Бюл. № 31	Використання співвідношення ширини захвату бокової секції машини с.-г. машинно-тракторного агрегату до ширини захвату центральної як 1:4, забезпечує агрегату високу стійкість руху при найкращій керованості переміщення в горизонтальній площині.
Агрегат для знищення рослинних залишків бананових рослин після збирання плодів складається із колісного трактора потужністю 65 - 90 кВт, фронтально-навішеної рами, подрібнювача, переднього щита для нахилу рослин та приводу робочих органів від заднього ВВП трактора	1.44.238П. Пристрій для знищення рослинних залишків після збирання урожаю бананової плантації. Заявка №2691605 Франція, МКІ ⁵ А01D 49/00/ Le MadatRene: Soc. de constructions Metalliques et de commerce . - № 9302014; Заявлено 15.02.93; Опубл. 3.12.93. Реф. ж-л № 1,1995	В процесі роботи агрегат рухається по рядку, щит нахиляє рослини до землі. Ножі, що обертаються, зрізують рослини та подрібнивши їх, залишають позаду смугу мульчі. Задня частина нахилоного диску, що заглиблена в ґрунт, подрібнює коріння рослин.
3-х секційна рама широкозахватного обприскувача закріплена на тракторі фронтально за допомогою шарнірного паралелограму. Підіймання та опускання обприскувача здійснюється гідро циліндрами подвійної дії.	1.44.208П. Удосконалена навіска рами обприскувача; Заявка 2690811, Франція, МКІ ⁵ А01М 7/00 Matrot Louis. -№ 9107754. Заявл. 21.6.91; Опубл. 12.11.93. Реферат. журнал №1, 1995	Навіска рами штангового обприскувача забезпечує постійну висоту розміщення розбризкуючих насадок незалежно від рельєфу поля. Система автоматичної стабілізації технологічного процесу включає давачі висоти, мікропроцесор та електрогідравлічні вентилі для підключення гідроциліндрів.

Машинно-тракторний агрегат для прокладання постійної технологічної колії та мілкого розпушування ґрунту складається із енергетичного засобу, культиваторної приставки, зчіпки та борін. Зчіпка обладнується маркерами, а енергетичні засоби -ПНМ.	Метод прокладки постійної технологічної колії колесами транспортного засобу одночасно з мілким розпушуванням ґрунту // В.Д.Черепухін, В.Т. Надикто та ін. А.с. № 1824040 А01В 79/00. Заявл. 29.12.90; Опубл. 30.06.93; Бюл. №24.	Метод прокладання колії здійснюється так: на ПНМ енергетичного засобу начіплюється культиваторна секція. В центральній частині зчіпки на ширині захвату фронтальної секції вилучаються основні робочі органи борони. Напрямок руху агрегату виконується по сліду, залишеному маркерами. Глибина основної обробки -6-8см, а передньої секції –12см.
Сільськогосподарський агрегат, який спереду та ззаду має причіпні та начіпні знаряддя, обладнані важелем ручного керування подачею палива в двигун машини та важелем встановлення швидкості руху	3.44.416 П. Керування сільськогосподарською машиною, що має начіпні та причіпні знаряддя: Заявка 4219050 ФРН МКІ⁵ В60К 41/ 12/Weib Heinz; Deere und Co.-№4219050.9; Заявл. 11.6.92. Опубл. 16.12.93 Реферативний журнал №3, 1995 с.55	Водій, який працює на с.-г. машинах з навісками спереду та ззаду, відчуває велике навантаження. Для спрощення керування здійснюється автоматична зміна подачі палива та швидкості руху.
Удосконалена передня навіска трактора для точного водіння робочих органів (наприклад підгортачів) у міжряддях. Поперечна балка машини підвішується до нижніх важелів навіски за допомогою гідроциліндра.	2.44.73П. Пристрій для фронтальної навіски машин на трактор з контролюючим зміщенням. Заявка 2692750 Франція, МКІ⁵ А 01 В 69/00 Dormu Marcel Rene.- №9208005; Заявл. 30.6.92. Опубл. 31. 12.93. Реферативний журнал №2. 1995.	За допомогою керування з кабіни трактора гідроциліндри зміщують раму відносно трактора в заданому напрямку, запобігаючи таким чином пошкодженню рослин при відхиленні агрегату. Керування може бути ручне, або автоматичне по сигналам електричних щупів.
Механізм включає ряд балансирних елементів, які зв'язують кожен зкошуючий модуль з остовом енергозасобу та важелі, що зв'язують косилочні модулі з балансирами.	5.44.297П. Механізм підвішування ротаційної косилки. Патент 5297378 ,США, МКІ⁵ А01Д 34/44 / Smith Larru N; Deere and Co. -№ 882340; Заявл. 13.5.92; Опубл. 29.3.94.	Декілька косилочних модулів, розташованих спереду та в між колісній зоні енергетичного засобу, керуються гідравлічним контуром при переведенні агрегату із робочого положення в транспортне та назад.

1.2 Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Проведено польові випробування 18-рядних агрегатів на сівбі та міжрядному обробітку просапних культур (кукурудзи). Машинно-тракторний агрегат на основі енергетичного засобу МЕЗ (кл.2-3) складався зі зчіпки СН-75, яка фронтально навішувалась на трактор, та знарядь, сівалок або культиваторів, приєднуємих до начіпних механізмів зчіпки і енергозасобу.	Ж. Трактори та сільськогосподарські машини. - М., 1992 № 10-12.	Дослідження МЕЗ у складі широкозахватних МТА на вирощуванні просапних культур //Кутьков Г.М., Черепухін В.Д., Надикто В.Т. та ін. - Трактори та сільськогосподарські машини, 1992 №10-12.- С.8-10.
Фрезерний культиватор-сівалка ФКС -2,4(3,6) за один прохід виконує 5 операцій: внесення мін. добрив, фрезерування ґрунту, вирівнювання поверхні, сівба рису, прикочування посівів. Машина складається з удобрювача, навішеного спереду трактора Т-150К та посівної частини	Альбом-довідник. Россільгоспвидат.	Комбіновані сільськогосподарські агрегати. А.П.Антонов, Н.С. Кабаков та ін. -М.:, Россільгоспвидатат, 1975. – С.62-65.
МТА для боронування зябу та прокладення технологічної колії складається з енергозасобу МЕЗ-200 та зчіпки СГ-21 з видаленими в центрі агрегату трьох борін. На передню начіпку енергозасобу навішена центральна секція культиватора КШП-8 з S-подібними пружинними стояками та маркерами.	Ж. Техніка в сільському господарстві. М., 1993, №2. С.12-13.	Прокладання технологічної колії при боронуванні зябу // Черепухін В.Д., Надикто В.Т. та інші. ПФ ННЦ “ІМЕСГ”. Техніка в сільському господарстві. - М., 1993, №2. - С.12-13.

РОЗДІЛ 2

ДОКУМЕНТИ-АНАЛОГИ

2.1 Аналіз можливості застосування ОГД відомих об'єктів
промислової власності

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності (бібліографічні дані)	Суть об'єкта промислової власності	Очікуваний результат від застосування
Трактори, що виробляються фірмами Steyr (ФРН), Agretron (Італія), ХТЗ (Україна) і т.д. з задніми та фронтальними гідрофікованими навісними механізмами.	Сільськогосподарські машини. Schweiz, Land-technik. - 1996. - 58, № 1.- с.41 - 47. - Нім.	МТА з передньо- та задньонавісними машинами і знаряддями на базі тракторів нового покоління.	Передбачається розробка агрегату, що включає вітчизняний трактор ХТЗ-120, валкову жниварку ЖВП - 6 та дискову борону БДТ - 3. Одночасно з косінням зернових у валки буде злущено до 70 % площі,

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Аналіз приведеного патентного пошуку показує, що на основі енергетичних засобів, які мають передній навісний механізм (ПНМ), можна створювати досить ефективні машинно-тракторні агрегати. Наявність ПНМ дозволяє:

- розробляти комбіновані агрегати, доцільність впровадження яких нині не викликає сумнівів;
- покращити тягові та траєкторні показники використовуваних повнопривідних тракторів за рахунок більш раціонального розподілу їх зчіпної маси по мостах;
- наблизити до оптимальної значини коефіцієнт використання потужності двигуна енергетичного засобу;
- підвищити універсальність трактора і збільшити тим самим його завантаження на протязі року тощо.

2. Результати проведеного патентного пошуку створюють передумови для розробки і проведення досліджень на базі вітчизняного трактора типу ХТЗ-120/121 агрегатів, які передбачають використання його переднього навісного механізму та валу відбору потужності двигуна.

В першу чергу це стосується жнивально-луцильного МТА, впровадження якого є досить перспективним в природно - кліматичних умовах півдня України.

3. Заслугує на увагу орний агрегат, виконаний по схемі “push-pull”. Крім підвищення продуктивності праці, застосування такого МТА дозволить значно зменшити питомі витрати палива.

4. Якщо врахувати практику застосування на збиранні кукурудзи, соняшника тощо зарубіжних комбайнів, які залишають після себе високу стерню, то не менш ефективним може бути агрегат для одночасного подрібнення і заорювання решток цих грубостебельних культур.

5. Наявність ПНМ та переднього ВВП у трактора ХТЗ-120 створює передумови розробки на його основі нових широкозахватних комбінованих агрегатів для посіву та догляду за посівами просапних культур, вирощування яких здійснюється із застосуванням постійної технологічної колії.

Додаток А1

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ПФ ННЦ «ІМЕСГ»
 _____ В. Федоренко
 “___” грудня 2003 р.

ЗАВДАННЯ №01
 на проведення патентних досліджень

Тема: ”Машинно - тракторні агрегати сільськогосподарського призначення на базі тракторів нового покоління”.

Етап: Використання переднього навісного механізму трактора, переднього валу відбору потужності та реверсивного руху

Мета патентних досліджень - Визначити патентну ситуацію щодо ОГД та обґрунтувати напрямок досліджень по розробці нових і модернізації існуючих МТА.

Таблиця А.1 - Види робіт під час проведення патентних досліджень та виконавці:

Види робіт	Підрозділи виконавці	Відповідальні виконавці	Строки виконання робіт	Звітний документ
Дослідження патентної літератури та науково-технічної інформації по використанню в машинно - тракторних агрегатах таких можливостей тракторів, як: - реверсивного руху; - передньонавісного механізму; - переднього ВВП; - синхронного ВВП; - третього мосту; - 2-х режимів використання потужності.	Лабораторія маши-нови-користання ПФ ІМЕСГ	Надикто В.Т., Санін Г.А., Савенко В.В., Аюбов А.М.	03.01.00 01.12.03	Звіт про патентні дослідження

Завідувач лабораторії _____ В.Т. Надикто
 “___” грудня 2003 р.

Додаток Б1

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ №01

Найменування теми: «Машинно-тракторні агрегати (МТА) сільськогосподарського призначення на базі тракторів нового покоління».

Шифр теми: ПД2003.Р11.01

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень –
№01, 3 січня 2000 р.

Обґрунтування регламенту пошуку - Визначення перспективи використання потенційних можливостей нових енергетичних засобів у складі МТА сільськогосподарського призначення

Початок пошуку-03.01.2000 р. **Закінчення пошуку-**01.12.2003 р.

Таблиця Б.1

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Задача пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікац. індекси	Ретроспект. пошуку	Джерела інформації
МТА на основі тракторів з розширеними функційними можливостями: реверсивним рухом, переднім, заднім, синхронним, боковими ВВП, переднім начіпним механізмом	Обґрунтувати напрямок досліджень з розроблення нових та модернізації існуючих МТА	Англія, Італія, Росія, США, ФРН, Франція, Болгарія	МКІ ⁵ , УДК	1990-2003	Реферативний журнал “Тракторы и сельскохозяйственные машины и орудия”; Журнали: “Техника в сельском хозяйстве”, “Тракторы и сельскохозяйственные машины”; Авторські свідоцтва та патенти на винаходи

Завідувач лабораторії _____ В.Т. Надикто
“__” грудня 2003 р.

Додаток В1

ДОВІДКА ПРО ПОШУК №01

Завдання на проведення патентних досліджень: 01; 03.01.2000

Етап: Використання переднього навісного механізму трактора,
переднього валу відбору потужності та реверсивного руху

Початок пошуку-03.01.2000 р. **Закінчення пошуку-**01.12.2003 р.

Таблиця В.1 - Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша інформація
МТА на основі тракторів з розширеними функційними можливостями: реверсивним рухом, переднім, заднім, синхронним, боковими ВВП, переднім націпним механізмом і т.д	Англія, Італія, Росія, США, ФРН, Франція, Болгарія	МКІ ⁵	Реферативний журнал "Тракторы и сельскохозяйственные машины и орудия"; Журнали: "Техника в сельском хозяйстве", "Тракторы и сельскохозяйственные машины"; Авторські свідоцтва та патенти на винаходи	Широкозахватний машинно - тракторний агрегат //НадиктоВ., Черепухін В.Д. А.с. СРСР №1586544, А01В 59 04 Заявл.18.10.1988. Опубл. 23.08.1990, Бюл. №31. Агрегат для культиватції ґрунту на терасних схилах Пат. США № 5573071, Заявлено 12.11.1996	Дослідження МЕЗ у складі широкозахватних МТА на вирощуванні просапних культур/Кутьков Г.М. та ін. // Трактори та с.-г. машини, 1992, № 10-12 (рос.). Фронтальні націпні знаряддя / Pearce Andrew Femers Weekly-1996.- 125, №9.

Пошук патентної інформації виконано у відповідності з регламентом

Завідувач лабораторії _____ В.Т.Надикто
"___" грудня 2003

Приклад
загальної характеристики дисертаційної роботи

Тема: **Механіко-технологічні основи агрегування
орно-просапних тракторів**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні сільське господарство нині виступає основною рушійною силою всієї економіки. Тому держава повинна мати чітку тракторну політику, організаційну основу якої складає типаж тракторів.

Із формально існуючого нині типорозмірного ряду енергетичних засобів для ефективного вирощування сільськогосподарських культур на півдні країни потрібні універсально-просапні трактори тягового класу 2 і енергетичні засоби загального призначення тягового класу 3.

Нині в нашій країні зазначених універсально-просапних тракторів немає. Із-за цього сільгоспвиробники змушені зі значними для себе збитками реалізовувати менш ефективний комплекс машин на основі універсально-просапних енергетичних засобів тягового класу 1,4.

Вітчизняні колісні енергетичні засоби тягового класу 3 створюють суттєві проблеми при їх використанні на вирощуванні просапних культур. Для агрегування з плугами вони є мало привабливими, оскільки мають відносно велику колію і широкі шини. Технологічні властивості тракторів цього класу також досить обмежені, оскільки вони не мають переднього навісного механізму, переднього валу і інших систем відбору потужності, реверсивного посту керування тощо.

Найбільш привабливими є енергетичні засоби, які можуть практично з однаковою ефективністю використовуватися як на операціях основного і поверхневого обробітку ґрунту, так і на вирощуванні зернових колосових та просапних культур. Згідно із запропонованим нами визначенням щодо призначення це мають бути орно-просапні колісні енергетичні засоби з такими технологічними властивостями, які забезпечують їм високу універсальність практичного застосування.

Вітчизняною промисловістю освоєно виробництво тракторів сімейства ХТЗ-160, які потенційно відповідають цим вимогам. Поєднавши в одній конструкції тягово-зчіпні показники трактора тягового класу 3 і параметри ходової системи тракторів класу 2, вони обладнані фронтальними навісним механізмом і валом відбору потужності, реверсивними трансмісією і постом керування тощо. Це створює передумови реалізації на їх основі нових перспективних широкозахватних і комбінованих машинно-тракторних агрегатів (МТА).

Водночас, ефективна практична реалізація потенційних технологічних властивостей орно-просапних тракторів нині відсутня. Внаслідок цього сільськогосподарське виробництво країни відчуває нестачу високопродуктивних, енергоощадних та екологічно безпечних машинно-тракторних агрегатів.

Обумовлена цим несвоєчасність та низька техніко-економічна ефективність виконання технологічних операцій тих чи інших технологій вирощування сільськогосподарських культур породжує **народногосподарську проблему**. Проте її розв'язання практично неможливе без вирішення відповідної **науково-технічної проблеми**. Суть її полягає в розробленні системи ефективного агрегування орно-просапних тракторів з широкими технологічними властивостями.

Відома нині методологія вибору конструктивних схем, обґрунтування параметрів та режимів роботи широкозахватних і комбінованих машинно-тракторних агрегатів на основі серійних енергетичних засобів практично не підходить для розв'язання вищезначеної науково-технічної проблеми.

Конструктивно-технологічні особливості орно-просапних тракторів вимагають розробки принципово іншої системи їх агрегування. Використання потенційних технологічних властивостей цих енергетичних засобів для розв'язання проблеми забезпечення сільськогосподарського виробництва України високопродуктивними, енергоощадними та екологічно безпечними машинно-тракторними агрегатами – є **науковою гіпотезою** даної дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувались у Таврійському державному агротехнологічному університеті за державною програмою «Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України» (2000-2010 рр., №№ державної реєстрації 0106U001219 і 0107U008957), державною програмою «Розробити адаптовані до умов півдня України енергоощадні технології і комплекси машин на основі нових енергетичних засобів» (2011-2014 рр. № державної реєстрації 0111U002562) та господарчим договором за №1-2009 від 28.04. 2009 р. з публічним акціонерним товариством «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є покращення техніко-експлуатаційних показників роботи МТА на основі орно-просапних тракторів шляхом розроблення і впровадження основ їх агрегування.

Задачі дослідження:

- провести аналіз сучасного стану досліджень використання технологічних властивостей мобільних енергетичних засобів при їх агрегуванні із сільськогосподарськими машинами та знаряддями;
- розробити методику оцінки технологічних властивостей орно-просапних тракторів з урахуванням їх конструктивних особливостей і універсальності застосування;
- розробити теорію плоско-паралельного руху комбінованих та асиметричних машинно-тракторних агрегатів і оцінити вплив їх схем, конструктивних параметрів та режимів роботи на керованість і стійкість у горизонтальній площині;
- розробити математичні моделі функціонування МТА в поздовжньо-вертикальній площині і на їх основі дослідити вплив кінематичних і силових параметрів орно-просапного трактора та фронтальних і агрегованих ззаду машин /знарядь на динаміку руху агрегатів;
- дослідити вплив конструктивних параметрів МТА на їх поворотність та величину кінематичної невідповідності в приводі ходової системи орно-просапного трактора;

- оцінити технічну здійсненність і виробничу ефективність застосування орно-просапних тракторів в колійній системі землеробства;
- провести експлуатаційно-технологічні дослідження і здійснити техніко-економічну оцінку комбінованих та широкозахватних агрегатів на базі орно-просапних тракторів;
- розробити науково-обґрунтовані рекомендації з вибору схем і параметрів МТА на базі орно-просапних тракторів, які забезпечують високі експлуатаційно-технологічні показники їх роботи.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування комбінованих та широкозахватних машино-тракторних агрегатів на основі орно-просапних тракторів як динамічних та технологічних систем.

Предмет дослідження – закономірності впливу схем та конструктивних параметрів машинно-тракторних агрегатів на ефективність агрегування орно-просапних тракторів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження, синтез конструктивних схем, параметрів і режимів роботи комбінованих та високопродуктивних МТА на основі тракторів з широкими технологічними властивостями здійснювали шляхом моделювання на ПЕОМ умов їх функціонування. В основу методів дисертаційного дослідження покладено положення теоретичної механіки, теорії трактора, статистичної динаміки та теорії автоматичного регулювання лінійних динамічних систем при відтворенні ними статистично випадкових керуючих та збурювальних вхідних впливів. Технологічну ефективність орно-просапних тракторів оцінювали методами теорії інженерного прогнозування.

Експериментальні дослідження проводили як за загальноприйнятими, так і розробленими методиками і передбачали використання сучасного тензометричного, навігаційного та відеознімального обладнання. Оброблення дослідних даних здійснювали на ПЕОМ із застосуванням теорії імовірності, регресійного, а також кореляційно-спектрального аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів.

Виведено нову аналітичну залежність, яка дозволяє визначити кількісну оцінку технологічної універсальності орно-просапних тракторів при їх комбінованому агрегуванні із фронтальними та задньонавісними і причіпними машинами /знаряддями.

Дістали подальший розвиток диференціальні рівняння плоско-паралельного руху комбінованих і асиметричних машинно-тракторних агрегатів на основі орно-просапного трактора, які дозволяють здійснювати достовірне обґрунтування нових схем, конструктивних параметрів та режимів роботи МТА з огляду на їх прийнятну керованість і стійкість руху у горизонтальній площині.

Розроблено нові математичні моделі функціонування комбінованих МТА у поздовжньо-вертикальній площині, застосування яких дозволяє підвищити плавність руху агрегатів з урахуванням кінематичних і силових взаємозв'язків орно-просапного трактора із фронтальними та задньоагрегованими машинами / знаряддями.

На підставі складених нових рівнянь руху МТА на поворотній смузі вперше встановлено закономірності впливу конструктивних параметрів машин/знарядь і орно-просапного трактора на показники його повороту.

Одержано нові аналітичні залежності, які дозволять обґрунтувати вибір конструктивних параметрів переднього навісного механізму орно-просапного трактора і зчіпних пристроїв фронтальних машин/знарядь, що з ним агрегуються.

Вперше запропоновано новий показник оцінки кінематичної невідповідності в приводі переднього і заднього мостів орно-просапного трактора, який, на відміну від відомих, пов'язує дійсні значини вертикального навантаження рушіїв з їх конструктивними параметрами, забезпечуючи при цьому мінімальний шкідливий вплив ходової системи енергетичного засобу на ґрунт.

Дістали подальший розвиток наукові аспекти обґрунтування схем і конструктивних параметрів машинно-тракторних агрегатів на базі орно-просапних енергетичних засобів при реалізації ними принципово нових технологій вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням постійної технологічної колії та смугового основного обробітку ґрунту.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати досліджень автора з розробки системи агрегування орно-просапних тракторів впроваджені Міністерством аграрної політики України (2005 р.) та Державною установою Науково-методичний центр інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності вищих навчальних закладів «Агроосвіта» (2013 р.).

Практичні рекомендації ефективного використання орно-просапних тракторів сімейства ХТЗ-160 впроваджені Публічним акціонерним товариством «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» при розробці тракторів сучасного технічного рівня і формуванні системи машин і знарядь (в т.ч. і фронтальних), призначених для агрегування з вказаними енергетичними засобами.

На підставі отриманих результатів досліджень під керівництвом автора виготовлені і у господарствах Запорізької області на площі більше 1500 га успішно застосовані широкозахватні та комбіновані МТА на основі орно-просапних тракторів сімейства ХТЗ-160: жнивально-луцильний (ХТЗ-16131+ЖВН-6Б+БДН-3), посівний (ХТЗ-16131+12-и рядна сівалка «Optima»), просапний (ХТЗ-16131+КРН-8,4), силосозбиральний (ХТЗ-16131+КСС-2,6), орно-подрібнювальний (ХТЗ-16131+ППР-1,5+ПЛН-4-35), боронувальний (ХТЗ-16131 зі здвоєними шинами + СГ-21), орний (ХТЗ-16131+ПЛН-5-35), дисквально-чизельний (ХТЗ-16132 + БДН-3+ПЧ-2,5).

Основні положення виконаного дослідження використані в навчальному процесі, зокрема в Таврійському державному агротехнологічному (м. Мелітополь) і Дніпропетровському державному аграрно-економічному університетах, де протягом останніх 5 років викладаються в дисципліні «Машиновикористання в землеробстві».

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методики оцінювання технологічної універсальності орно-просапних тракторів [7, 17–19], математичних моделей руху комбінованих МТА в горизонтальній та поздовжньо-вертикальній площинах [1, 2, 6, 22], виведенні нового показника кінематичної невідповідності в приводі мостів орно-просапного трактора [32], розробці і практичній реалізації схем агрегування комбінованих МТА [1, 2, 3, 5, 16, 21, 25–27, 28, 30, 36–39], розробці методик експериментальних досліджень і методів оброблення отриманих результатів [10, 13, 23, 31], розробці рекомендацій з вибору оптимальних конструктивних та кінематичних пара-

метрів агрегатів на основі орно-просапних тракторів [1, 2, 8, 9, 11, 12, 14, 20, 24, 29, 33–35, 40]. Загальна доля участі в опублікованих у співавторстві працях складає до 75%, а в охоронно-правових документах – до 90%.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи викладені в доповідях на щорічних міжнародних науково-технічних конференціях Таврійського ДАТУ (2003–2014 рр.), на щорічних міжнародних науково-технічних конференціях ННЦ «ІМЕСГ» НААН України (2005–2013 рр.), на міжнародних науково-технічних конференціях УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого (2007–2013 рр.), на щорічних міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвячених дню народження академіка П.М. Василенка (2004–2014 рр.), на XII інтернаціональному симпозіумі «Екологічні аспекти механізації вирощування культур» (Польща, 2006), на міжнародній науково-практичній конференції Білоруського державного аграрного технічного університету (Мінськ, 2012), в болгарській асоціації аграрних інженерів (Варна, Болгарія, 2013), на міжнародному семінарі, присвяченому 110 річниці з дня народження В.М. Болтінського (Росія, 2014).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 43 наукових працях, серед яких 2 монографії, 23 статті у фахових виданнях, 4 закордонні публікації, 5 тез доповідей, 5 патентів на винаходи і 1 патент на науковий твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків і пропозицій, списку літератури та додатків. Дисертація викладена на 377 сторінках машинопису і включає 34 таблиці та 186 рисунків.

ЗМІСТ

Вступ	3
Глава 1 Специфіка науково-дослідної діяльності	4
1.1. Поняття про науку	4
1.2. Особливості сільськогосподарської науки	6
Глава 2 Стратегія організації наукової діяльності	11
2.1. Актуальність і стратегія дослідження	11
2.2. Накопичення і аналіз літературних даних	13
2.3. Особистий архів науковця	16
2.4. Методи та методика наукового дослідження	17
2.5. Мета, гіпотеза, об'єкт та предмет дослідження	18
2.6. Суть і особливості програм і методик теоретичних та експериментальних досліджень	20
Глава 3 Моделі та їх роль у підготовці дослідника	23
3.1. Види моделювання і їх класифікація	23
3.2. Критерії подібності та їх використання в моделюванні	26
3.3. Математичне моделювання	32
3.4. Регресивні моделі	41
3.5. Моделювання з використанням лінійного програмування	51
3.6. Методика перевірки математичної моделі на адекватність	53
Глава 4 Організація та проведення експериментальних досліджень	61
4.1. Поняття про вимірювально-реєстраційні системи і їх основні метрологічні характеристики	61
4.2. Датчики вимірювань	63
4.3. Визначення кількості вимірювань	67
4.4. Методика оформлення експериментальних даних	69
Глава 5 Методи оброблення та аналізу експериментальних даних	72
5.1. Методика оброблення масиву даних	72
5.2. Розрахунок та аналіз основних статистичних характеристик ..	74
5.2.1. Середня арифметична величина	74
5.2.2. Дисперсія та середнє квадратичне відхилення	78
5.2.3. Коефіцієнт варіації	79
5.2.4. Довірчий інтервал і довірна ймовірність	80
5.2.5. Кореляційна функція	81
5.2.6. Спектральна щільність	84
5.2.7. Взаємна кореляційна функція	86
5.3. Лінійна та криволінійна кореляції	89

	5.4. Методика аналізу кривих за відсутності оптимуму	91
	5.5. Особливості дисперсійного аналізу	95
Глава 6	Техніко-економічна оцінка результатів досліджень.....	98
	6.1. Прогнозні методи ефективності наукових рішень.....	98
	6.1.1 Метод короткострокового прогнозування ефективності технічних рішень.....	98
	6.1.2 Метод прямокутної піраміди.....	100
	6.2. Експлуатаційно-технологічна оцінка ефективності використання техніки.....	101
	6.3. Методи економічного оцінювання ефективності застосування наукових розробок.....	101
Глава 7	Апробація результатів наукових досліджень	104
	7.1. Наукова стаття	104
	7.2. Структура наукового реферату і наукових тез.....	106
	7.3. Доповідь на науковій конференції	108
	7.4. Структура звіту про результати наукових досліджень	109
	7.5. Структура звіту про патентні дослідження	110
Глава 8	Методика написання кваліфікаційної роботи	111
	8.1. Загальна характеристика дисертаційної роботи	111
	8.2. Вимоги до дисертаційної роботи і автореферату	113
	Література.....	116
	Додатки	117