

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Надикто В. Т., Чорна Т. С.

МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Посібник-практикум для виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр»
спеціальності 208 – «Агроінженерія»**

Мелітополь, 2020

УДК 001.89(076)
Н 17

Рекомендовано Вченою радою механіко-технологічного факультету Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

(Протокол №7 від 09 червня 2020 року)

Рецензенти:

О.Г. Караєв – д.т.н., доцент кафедри сільськогосподарські машини, ТДАТУ;

Мілько Д.О. – д.т.н., професор кафедри технічний сервіс та системи в АПК, ТДАТУ;

Надикто В.Т.

Методологія наукових досліджень: посібник-практикум для виконання практичних робіт / В.Т. Надикто, Т.С. Чорна – Мелітополь: Люкс, 2020. – 63 с.

Посібник-практикум призначено для вивчення та практичного засвоєння знань з основ організації та проведення наукових досліджень з використанням різних методологічних підходів. Посібник-практикум призначений для магістрів, аспірантів і наукових співробітників, які здійснюють свою діяльність як у сільськогосподарській, так і інших галузях народного господарства.

© Надикто В.Т., Чорна Т.С., 2020
© Люкс, 2020

ЗМІСТ

Мета та завдання навчальної дисципліни.....	4
Загальні вказівки	5
Безпека праці здобувачів вищої освіти при виконанні практичних робіт	6
Практична робота №1 Розроблення програми і методики теоретичних досліджень.....	7
Практична робота №2 Критерії подібності.....	15
Практична робота №3 Статична математична модель	21
Практична робота №4 Динамічна математична модель	25
Практична робота №5 Регресійне математичне моделювання.....	32
Практична робота №6 Лінійне програмування в моделюванні.....	44
Практична робота №7 Техніко-економічне оцінювання машинно-тракторного агрегату	50
Практична робота №8 Оцінювання кривих за відсутності оптимуму	58

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою практичних занять з дисципліни «Методологія наукових досліджень» є розвиток у здобувачів вищої освіти навичок творчого мислення, ознайомлення з елементами системного планування, організації та проведення наукових досліджень, розроблення і випробування нових технічних засобів, організації винахідницької роботи на виробництві.

У результаті вивчення практичної частини дисципліни здобувач повинен **знати:**

- джерела науково-технічної і патентної інформації;
- організаційні форми проведення наукових досліджень і підготовки наукових кадрів;
- методи планування експерименту, оброблення та аналізу експериментальних даних;
- основні положення чинних стандартів щодо оформлення результатів наукових досліджень.

уміти:

- провести пошук літератури за заданою темою;
- виконати аналіз літературної інформації;
- сформулювати наукову проблему, а також мету і завдання досліджень;
- розробити методику наукових досліджень;
- провести дослідження і обробити та проаналізувати його результати;
- оформити звіт за результатами досліджень;
- здійснити апробацію результатів досліджень у вигляді наукових доповідей, рефератів, статей, патентів на винаходи тощо.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Під час роботи слід дотримуватись наступної послідовності виконання:

1) користуючись даними методичними вказівками та рекомендованою науково-методичною літературою, опрацювати відповідний розділ лекційного курсу;

2) виконати весь запланований об'єм практичних завдань по відповідній практичній роботі. В процесі проведення розрахунків по можливості слід якомога більше використовувати ЕОМ. Це дозволяє як звести нанівець помилки обчислень, так і значно збільшити їх (обчислень) об'єм;

3) особливу увагу звернути на аналіз отриманих результатів, їх наукову та практичну інтерпретацію тощо;

4) в процесі виконання того чи іншого завдання намагатися знайти принципову різницю між вже загальновідомими та тими, що тільки вивчаються, явищами, процесами, об'єктами і т. ін.;

5) в процесі творчого осмислення результатів, отриманих в процесі виконання практичної роботи, запропонувати конкретне удосконалення розглядуваного технічного рішення та захистити його по закінченню вивчення курсу;

6) при наявності труднощів у сприйнятті матеріалу, що вивчається слід додатково опрацювати літературу і вияснити незрозумілі питання на наступних заняттях чи консультаціях;

7) знання здобувача оцінюються викладачем при складанні іспиту. При розробці нового технічного рішення вибраного проблемного питання на рівні винаходу, студент має право на автоматичне отримання позитивної екзаменаційної оцінки.

БЕЗПЕКА ПРАЦІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ПРИ ВИКОНАННІ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. Користувачі ПЕОМ повинні дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, установлені режими праці й відпочинку.

1.2. Користувачі ПЕОМ зобов'язані дотримувати правил пожежної безпеки, знати місця розташування первинних засобів пожежогашіння.

1.3. Про кожний нещасний випадок із працівником потерпілий або очевидець нещасних випадків зобов'язаний негайно повідомити ректора або проректора. При несправності устаткування припинити роботу й повідомити адміністрацію.

1.4. У процесі роботи користувачі ПЕОМ повинні дотримуватися правил використання засобів індивідуального й колективного захисту, правил особистої гігієни, утримувати в чистоті робоче місце.

1.5. Особи, що допустили невиконання або порушення інструкції з охорони праці, притягуються до дисциплінарної відповідальності відповідно до правил внутрішнього трудового розпорядку.

2. Вимоги безпеки під час роботи

2.1. При роботі із ПЕОМ значення візуальних параметрів повинні знаходитися в межах оптимального діапазону.

2.2. Клавіатуру розташовувати на поверхні стола на відстані 100...300 мм від краю, зверненого до користувача.

2.3. При працюючому відеотерміналі відстань від очей до екрана повинна бути 0,6...0,7 м, рівень очей повинен припадати на центр екрана або на $\frac{2}{3}$ його висоти.

2.4.Зображення на екранах відеомоніторів повинне бути стабільним, ясным і гранично чітким, не мати мерехтінь символів і фону, на екранах не повинно бути відблисків і відбиття світильників, вікон і навколишніх предметів.

2.5. Тривалість безперервної роботи із ПЕОМ без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2-х годин. Щогодини при роботі слід робити регламентовану перерву тривалістю 15 хв.

Практична робота №1

Тема: Розроблення програми і методики теоретичних досліджень

Мета роботи: ознайомитися з методологією складання та навчитися розробляти програму і методику теоретичних досліджень.

1 ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки до роботи

– повторити:

а) поняття «програма досліджень» і «методика досліджень»;

б) методи теоретичних досліджень;

– знати: існуючі методи теоретичних досліджень.

– вміти: розробляти програму і методику теоретичних досліджень у відповідності до конкретних умов дослідів.

1.2 Рекомендовані джерела інформації

1.2.1 Основи наукових досліджень: Підручник /В.Т. Надикто. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017.– 268 с.

1.2.2 Шейко В.М., Кушнарєнко Н.М. Організація та методика науково-дослідницької діяльності. – К.: Знання-Прес, 2003. – 295 с.

1.2.3 Основы научных исследований: Учебное пособие/ А.А. Лудченко, Я.А. Лудченко, Т.А. Примак. – К.: Знання, 2000. – 114 с.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Теоретичні положення

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 аркуша, на якому вказують в рамках якої програми, теми та проекту виконується робота.

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, вказуються по кожному пункту програми-методики.

Методику досліджень пишуть по кожному програмному питанню окремо. В цьому параграфі вказують, що саме і як буде виконува-

тись. 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.

2.2 Рекомендації щодо виконання роботи і оформлення звіту

У процесі практичної роботи викладач формулює тему теоретичного дослідження, надає його аналітичний опис, визначає склад і відповідні параметри МТА, а також встановлює ті теоретичні закономірності, для визначення яких студенти мають скласти програму і методику.

У рамках практичної роботи цей документ може мати наступний спрощений вигляд:

- 1) титульний аркуш;
- 2) мета дослідження;
- 3) програма дослідження;
- 4) очікувані результати;
- 5) робоча гіпотеза;
- 6) об'єкт і предмет дослідження;
- 7) методика дослідження;
- 8) методика оброблення отриманих даних.

Приклад (зразок) написання методики теоретичних досліджень за такою схемою наведено у додатку А даних методичних рекомендацій.

2.3 Структура звіту з практичної роботи

Звіт про виконану практичну роботу має бути представлений і захищений студентом у вигляді програми і методики досліджень

(див. додаток А) по тому програмному питанню, яке було визначене викладачем у п. 2.2 даних методичних рекомендацій.

2.4 Питання для самоконтролю

1. Що таке теоретичні дослідження? З яких етапів вони складаються?
2. Які розділи включає програма і методика теоретичних досліджень?
3. Які методи проведення теоретичних досліджень Ви знаєте?

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Механіко-технологічний університет
Кафедра машиновикористання в землеробстві

ЗАТВЕРДЖУЮ
Науковий керівник,
к.т.н., доц. _____ Т.С.Чорна
« ____ » _____ 2020 р.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА
ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
«Вплив геометричних параметрів поля на
коефіцієнт використання робочих ходів
машинно-тракторного агрегату»

Виконавець: студент групи 21 МГ _____ Андрієнко В.А.

Мета дослідження: збільшення значини коефіцієнта робочого ходу машинно-тракторного агрегату (МТА) за рахунок раціонального вибору геометричних параметрів поля.

1 Програма дослідження

1.1. Визначення впливу довжини робочого гону поля на коефіцієнт робочих ходів МТА.

1.2. Установлення залежності коефіцієнта робочих ходів МТА від площі оброблюваного поля.

Очікувані результати: графічні залежності, використання яких дозволить установити закономірності впливу геометричних параметрів поля на величину коефіцієнта робочих ходів МТА.

Робоча гіпотеза: за раціонального вибору геометричних параметрів поля можна забезпечити прийнятну значину коефіцієнта робочих ходів МТА.

Предмет дослідження: процес впливу геометричних характеристик поля на значину коефіцієнта робочих ходів МТА.

Об'єкт дослідження: закономірності впливу геометричних параметрів поля на величину коефіцієнта робочих ходів МТА.

2 Методика дослідження

2.1 Методика визначення впливу довжини робочого гону поля на коефіцієнт робочих ходів МТА.

За фізичний об'єкт досліджень приймаємо посівний агрегат у складі орно-просапного трактора ХТЗ-16031 та 12-и рядної просапної сівалки «Optima».

Залежність коефіцієнта робочих ходів того чи іншого МТА від геометричних параметрів поля має наступний вид:

$$\varphi = \frac{S_{\text{п}} \cdot L_{\text{г}}}{S_{\text{п}} \cdot L_{\text{г}} + 14 \cdot (S_{\text{п}} - L_{\text{г}} \cdot B_{\text{р}}) \cdot R_{\text{а}} \cdot e}, \quad (1)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа поля, м^2 ;

$L_{\text{г}}$ – робоча довжина гону поля, м;

$B_{\text{р}}$ – робоча ширина захвату МТА, м;

R_a , e – мінімальний робочий радіус повороту МТА та довжина його виїзду, м.

Для агрегату у складі вказаних вище трактора та сівалки маємо:

$$B_p = 8,4 \text{ м};$$

$$R_a = 5,5 \text{ м};$$

$$e = 6,0 \text{ м}.$$

Поставлену задачу розв'язуємо для поля, площа якого ($S_{п}$) становить 70 га, тобто 700000 м².

Перемінним параметром залежності (1) є робоча довжина гону поля L_r . У процесі теоретичних досліджень за залежністю (1) величину цього параметра змінюють від 400 до 1800 м з кроком 200 м.

2.2 Методика визначення впливу площі поля на коефіцієнт робочих ходів МТА

Залежність коефіцієнта робочих ходів вказаного у п. 2.1 посівного МТА від площі поля описується виразом (1). У процесі дослідження параметр $S_{п}$ змінюємо від 20 до 120 га з інтервалом 20 га. Параметри посівного агрегату залишаються такими ж: $B_p = 8,4$ м; $R_a = 5,5$ м; $e = 6,0$ м.

3 Методика оброблення отриманих даних

3.1, 3.2. Для досліджуваних процесів за результатами розрахунків будують графічні залежності:

$$\varphi = f(L_r); \quad (2)$$

$$\varphi = f(S_{п}). \quad (3)$$

Унаслідок аналізу графічних залежностей формулюють практичні рекомендації щодо вибору таких геометричних параметрів поля, які є бажаними з точки зору забезпечення прийняттого коефіцієнту робочих ходів посівного МТА.

Якщо функції (2) і (3) мають оптимум, то процес визначення оптимальних значин параметрів L_r і $S_{п}$ є тривіальним.

За відсутності оптимумів функцій (2) і (3) раціональні значини геометричних параметрів поля можуть бути визначені за методикою, викладеною [1, с. 93].

Література

1. Основи наукових досліджень: Підручник /В.Т. Надикто. – Херсон: ЛДІ-ПЛЮС, 2017.– 268 с.

Практична робота № 2

Тема: Критерії подібності

Мета: отримати навички побудови заданих функціональних залежностей на основі використання критеріїв подібності

1. ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки до роботи

- повторити: поняття «аналогія» і «подібність»;
- знати: π – теореми;
- вміти: користуватися π -теоремами для практичного складання критеріїв подібності.

1.2 Рекомендовані джерела інформації

1.2.1 Основи наукових досліджень: Підручник /В.Т. Надикто. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017.– 268 с.

1.2.2 Шейко В.М., Кушнарєнко Н.М. Організація та методика науково-дослідницької діяльності. – К.: Знання-Прес, 2003. – 295 с.

1.2.3. Веников В.А. Теория подобия и моделирования – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.

1.2.4. Надикто В.Т. Дополнительные требования к энергосредству при прокладке ПТК // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1999, №7.

1.2.5. Надикто В.Т. Колійна та мостова системи землеробства / В.Т. Надикто, В.О. Улексін. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. – 270 с.

2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Теоретичні положення.

Визначення критеріїв подібності з допомогою π -теорема 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 параметрів;
 - перевіряють правильність вибору числа k . Для цього розраховують визначник даної матриці D , складений із показників ступеню розмірності кожної 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:

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

- б) Знаходять значини показників ступеню рівнянь. Для цього послідовно виконують наступне:
 - складають матрицю показників розмірностей усіх параметрів процесу розміром $m \times k$, у якій перші k строчок представлені показниками розмірностей незалежних величин;
 - кожену із перших k строчок по чергово замінюють строчкою показників розмірностей залежних параметрів, роз-

раховують визначник отриманої при цьому матриці і його значину ділять на розраховану раніше значину визначника D;

7) Записують безрозмірні критерії подібності. Їх загальна кількість дорівнює $m-k$, із яких $m-k-1$ є незалежними.

Задача.

Аналіз результатів наукових досліджень та практика показують, що на процес деформації ґрунту рушіями трактора впливає значна кількість факторів. З усієї їх множини найбільш впливовими є:

- 1) вертикальне навантаження на колесо – N , кН;
- 2) тиск повітря в шині колеса – P_w , Па;
- 3) твердість ґрунту – H , Па;
- 4) щільність ґрунту, ρ , кг/м³;

Вивести у критеріальній формі функціональну залежність глибини колії (h) коліс трактора від вказаних вхідних величин.

Рішення.

Враховуючи, що при деформації ґрунту постійно відбувається переміщення його маси, перелічені вище фактори бажано доповнити постійною характеристикою поля земного тяжіння – прискоренням вільного падіння g . В результаті маємо шість ($m=6$) параметрів: h , N , P_w , ρ , H і g . Із них згідно викладеного вище алгоритму виберемо три ($k=3$) взаємозалежні. Нехай ними будуть величини P_w , ρ і g . Матриця їх розмірностей стосовно основних одиниць вимірювань системи СІ ([кг], [м] і [с]) має вид:

$$[P_w] - \quad [кг]^1 [м]^{-1} [с]^{-2}$$

$$[\rho] - \quad [кг]^1 [м]^{-3} [с]^0$$

$$[g] - \quad [кг]^0 [м]^1 [с]^{-2}$$

Для перевірки правильності вибору базових факторів розрахуємо визначник (D), складений із показників ступеню розмірностей отриманої вище матриці:

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

В середовищі пакета Microsoft Excel в комірки A1, B1 і C1 послідовно заносимо значини першої строчки визначника D (1; -1; -2). Комірки другої та третьої строчок електронної таблиці заповнюємо аналогічним чином.

В комірку A4 заносимо результат розрахунку, виконаного з допомогою математичної функції =МОПРЕД(A1:C3).

В результаті встановлюємо, що визначник матриці (2) дорівнює 2. Оскільки значина D при цьому відмінна від нуля, то величини Pw, ρ і g є дійсно взаємонезалежними.

Запишемо матрицю розмірностей інших вхідних величин:

$$\begin{aligned} [h] &- [кг]^0 [м]^1 [с]^0 \\ [N] &- [кг]^1 [м]^1 [с]^{-2} \\ [H] &- [кг]^1 [м]^{-1} [с]^{-2} \end{aligned} \quad (3)$$

Після цього, у відповідності з формулами (1), визначимо форму запису трьох критеріїв подібності:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{h}{[Pw]^{\alpha_4} [\rho]^{\beta_4} [g]^{\gamma_4}}; & \pi_2 &= \frac{N}{[Pw]^{\alpha_5} [\rho]^{\beta_5} [g]^{\gamma_5}}; \\ \pi_3 &= \frac{H}{[Pw]^{\alpha_6} [\rho]^{\beta_6} [g]^{\gamma_6}}; \end{aligned} \quad (4)$$

Для того, щоб знайти значини показників ступеню α, β і γ системи рівнянь (2), сформуємо матрицю розміром **m** x **k**, яка складається із показників ступеню розмірностей усіх розглядуваних параметрів:

$$D_0 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & -2 \end{vmatrix}$$

В матриці D_0 верхня половина – це визначник D , а нижня – показники ступеню при розмірностях матриці (3).

Показники ступеню для критерія π_1 (α_4 , β_4 і γ_4) знаходимо наступним чином. За допомогою електронної таблиці Excel розрахуємо визначник D , у якого замість значин першої строчки записуємо значини четвертої строчки матриці D_0 . Отриманий результат ділимо на значину визначника $D=2$. В підсумку маємо:

$$\alpha_4 = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix}}{2} = 1;$$

Якщо вказану процедуру повторити, але значини четвертої строчки матриці D_0 спочатку записати замість значин другої строчки визначника D , а потім - замість третьої, отримаємо значини інших показників ступеню:

$$\beta_4 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix}}{2} = -1; \quad \gamma_4 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}}{2} = -1$$

Підставивши значини α_4 , β_4 та γ_4 в (4), отримаємо вираз для першого безрозмірного критерія:

$$\pi_1 = \frac{h \cdot g \cdot \rho}{P_w}$$

Для знаходження значин показників ступеню α_5 , β_5 , γ_5 і α_6 , β_6 , γ_6 поступаємо аналогічним чином, але в якості замінника строчок визначника D використовуємо не четверту, а відповідно п'яту та шосту строчки матриці D_0 .

В результаті отримуємо:

$$\alpha_5 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -2 \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} / 2 = 3; \quad \beta_5 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} / 2 = -2; \quad \gamma_5 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & -3 & 0 \\ 1 & 1 & -2 \end{vmatrix} / 2 = -2;$$

$$\alpha_6 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} / 2 = 1; \quad \beta_6 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -2 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} / 2 = 0; \quad \gamma_6 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 1 & -3 & 0 \\ 1 & -1 & -2 \end{vmatrix} / 2 = 0$$

Після підстановки отриманих значин α , β і γ в (4), отримуємо вирази для двох інших критеріїв подібності:

$$\pi_2 = \frac{N \cdot \rho^2 \cdot g^2}{P_w^3};$$

$$\pi_3 = \frac{H}{P_w}.$$

В результаті шукана функціональна залежність може бути представлена в наступному вигляді:

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

або

$$h \frac{\rho \cdot g}{P_w} = f\left(\frac{N \cdot \rho^2 \cdot g^2}{P_w^3}; \frac{H}{P_w}\right) \quad (5)$$

На базі виразу (5) вченими шляхом планування експерименту для двох факторів (π_1 і π_2) на двох рівнях їх зміни згідно відповідної методики [1] отримана регресійна модель, яка дозволила оцінити вплив вхідних величин N , P_w , H і ρ на глибину колії h , залишаємої рушіями трактора:

$$h = 0.01 \frac{P_w}{\rho \cdot g} - 0.0002 \frac{H}{\rho \cdot g} + 4.655 \frac{N \cdot g \cdot \rho}{P_w^2}$$

Завдання для самоперевірки.

Визначити, як зміняться критерії подібності при виборі інших взаємозалежних параметрів.

Практична робота №3

Тема: Статична математична модель

Мета: отримати навички аналізу статичної моделі функціонування с.-г. машини чи знаряддя

1. ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки до роботи

- повторити: технології збирання зернових культур;
- знати: визначення статичної математичної моделі;
- вміти: користуватися пакетом Excel для проведення моделювання.

1.2 Рекомендовані джерела інформації

1.2.1 Основи наукових досліджень: Підручник /В.Т. Надикто. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017.– 268 с.

1.2.2 Чорна Т.С. Особливості агрегування посівного машинно-тракторного агрегату на базі інтегрального трактора при вирощуванні просапних культур в умовах півдня України: монографія / Т.С. Чорна. – Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2016. – 92 с. – URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/478>

1.2.3 Аюбов А.М. Вибір і обґрунтування оцінюючого параметру роботи шнекового апарату різання // Праці ТДАТА. – Т.12, вип.2. – Мелітополь, 2002. – С.130-135.

1.2.4 Звіт про науково-дослідну роботу за 2019 р. П. п. Розробка технологій і технічних засобів для рослинництва в умова зрошеного землеробства півдня України. – Мелітополь, ТДАТУ. – 2019. – 45с. – URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/9991>

2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Теоретичні положення.

Згідно тверджень вчених, підвищення пропускної здатності зернозбиральних комбайнів до 20...25 кг/с можна здійснити шляхом розділення процесів збирання зерна та соломи.

Одним із найбільш перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є впровадження збирання зернових колосових культур методом очісу рослин на корені. Обчісувачий модуль повинен бути обладнаний при цьому пристроєм, який би здійснював зрізання та укладання стебел у валок до моменту проходження коліс комбайна.

Як показали дослідження [1, 2], найкраще з такою задачею може справитися шнековий апарат. Одними із основних його конструктивних та кінематичних параметрів є:

- зовнішній діаметр (d_H);
- крок витка шнека (S);
- кутова швидкість обертання (ω).

У роботі [1] виведені математичні залежності, які установлюють взаємозв'язок вказаних величин з іншими параметрами шнекового апарату різання:

$$\omega = \frac{D_1 + \sqrt{D_1^2 + 4 \cdot D_2 \cdot D_0}}{2 \cdot D_2};$$

$$d_H = 2 \cdot V_M \cdot \lambda / \omega;$$

$$S = \pi \cdot d_H \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Причому:

$$D_2 = (\Delta^2 + 2 \cdot h \cdot \Delta) / \cos \alpha_0;$$

$$D_1 = 4 \cdot \pi \cdot h \cdot V_M \cdot \operatorname{tg} \alpha_0;$$

$$D_0 = [2 \cdot \pi \cdot V_M / \sin(\gamma + \varphi)]^2.$$

В приведених вище формулах:

V_M – швидкість поступального руху комбайна, м/с;

λ – показник кінематичного режиму роботи гвинтового ножа¹;

α – кут нахилу витка шнека, рад.;

Δ – оцінюючий показник роботи шнекового апарату різання, м;

h – установочна висота різання, м;

α_0 – попередній кут нахилу обчесаних рослин, рад.;

γ – кут розхилу проти різальної пластини шнекового апарату, рад.;

φ – кут тертя стебла об лезо проти різальної пластини, рад.

Завдання для моделювання.

1. Визначити характер залежності кутової швидкості обертання (ω) шнека від зміни швидкості поступального руху комбайна (V_M) в межах 1,0...2,5 м/с при наступних постійних значинах параметрів: $\lambda=10$; $\alpha=17^0$; $\Delta=0,03$ м; $h=0,15$ м; $\alpha_0=10^0$; $\gamma=50^0$; $\varphi = 15^0$.

Рішення.

Після запуску пакету Excel в комірки стовпчика В (В1:В9) послідовно заносять значини величин λ , α , Δ , h , α_0 , γ , φ , π і V_M . Далі проводять розрахунок коефіцієнтів D_2 , D_1 і D_0 за формулами, які розміщують в комірках стовпчика Е:

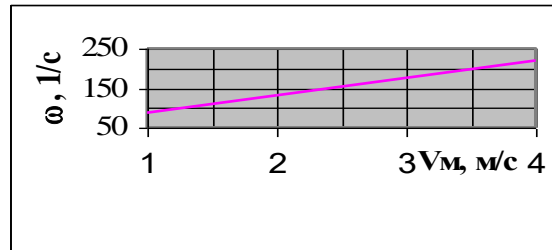
$$E1 = (B3*B3+2*B4*B3)/COS(РАДИАНЫ(B5))$$

$$E2 = 4*B8*B4*B9*TAN(РАДИАНЫ(B5))$$

$$E3 = \text{СТЕПЕНЬ}(2*B8*B9/SIN(РАДИАНЫ(B6+B7));2)$$

¹ по аналогії з мотовилом валкової жатки.

$\lambda =$	10	$D2 =$	0,010053
$\alpha =$	17	$D1 =$	0,3322
$\Delta =$	0,03	$D0 =$	48,014
$h =$	0,15	$V_M =$	1 1,5 2 2,5
$\alpha_0 =$	10	$\omega =$	87,6 131,3 175,2 218,9
$\gamma =$	50		
$\varphi =$	15		
$\pi =$	3,14		
$V_M =$	1		
$\omega =$	87,58		
$d_H =$	0,228363		
$S =$	0,219227		



В комірках B10, B11 та B12 розміщують формули для розрахунку величин ω , d_H і S :

$$B10 = \text{ОКРУГЛ}((E2 + \text{КОРЕНЬ}(E2 * E2 + 4 * E1 * E3)) / (2 * E1); 2)$$

$$B11 = 2 * B9 * B1 / B10$$

$$B12 = B11 * B8 * \text{ТАН}(\text{РАДИАНЫ}(B2))$$

Після послідовного введення в комірку B9 значин швидкості руху збирального агрегату $V_M = 1; 1,5; 2$ і $2,5$, в комірці B10 отримують значину кутової швидкості обертання гвинтового ножа ω .

Результати розрахунків заносимо в діапазон комірок D4:G5, а потім за допомогою майстра діаграм будуємо графічну залежність $\omega = f(V_M)$.

2. Визначити характер впливу значини оцінюючого параметру роботи шнекового апарату різання Δ на зовнішній діаметр (d_H) та крок витка (S) його (апарату) гвинтового ножа.

Рішення.

Заносячи в комірку B3 електронної таблиці послідовно значини $\Delta = 0,01; 0,015; 0,02; 0,025$ та $0,03$, в комірках B11 і B12 отримують результати розрахунку шуканих величин. З допомогою майстра діаграм результати розрахунків представляють в графічній формі.

Завдання для самоперевірки.

Визначити вплив поступальної швидкості руху комбайна V_M на крок витка шнека S . Отриманий результат пояснити.

Практична робота № 4

Тема: Динамічна математична модель

Мета: ознайомитися з методологією побудови та аналізу лінійних динамічних моделей функціонування с.-г. машин і знарядь

1. ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки до роботи

– повторити:

а) поняття моделювання, гіпотеза, математична модель;

б) види моделей.

– знати: методологією побудови та аналізу лінійних динамічних систем функціонування с.-г. машин і знарядь.

– вміти: будувати лінійну динамічну модель функціонування с.-г. машини і виконувати її аналіз при рішенні конкретного завдання.

1.2 Питання для самопідготовки

1. Дайте визначення терміну «математична модель».
3. Які типи моделей Ви знаєте? Коли використовується кожний з цих типів?
4. Які методи використовують при складанні математичних моделей?

1.3 Рекомендована література

1.3.1 А.Б.Лурье и др. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1979. – 312 с.

1.3.2 Дж. Франс, Дж.Х.М. Торнли Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987 – 400 с.

1.3.3 Основы научных исследований: Учебное пособие для технических вузов / Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.

1.3.4. Основы научных исследований: Учебное пособие/ А.А. Лудченко, Я.А. Лудченко, Т.А. Примак. – К.: Знання, 2000. – 114 с.

1.3.5. Чорна Т.С. Особливості агрегування посівного машинно-тракторного агрегату на базі інтегрального трактора при вирощуванні просапних культур в умовах півдня України: монографія / Т.С. Чорна. – Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2016. – 92 с: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/478>

1.3.6. Чорна Т.С. Математична модель асиметричного просапного агрегату / Т.С. Чорна // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електрон. наук. фах. видання; Вип. 4, т. 2 – С. 157-167. – URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/551>

2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Теоретичні положення

У системному дослідженні аналізуємий об'єкт розглядається як певна множина елементів, взаємозв'язок яких зумовлює цілісні властивості цієї множини. Основний акцент робиться на виявленні різноманітності зв'язків і відношень, що мають місце як усередині досліджуваного об'єкта, так і у його взаємодії із зовнішнім середовищем. Метод моделювання зарекомендував себе як ефективний засіб виявлення суттєвих ознак явищ та процесів за допомогою моделі (концептуальної, вербальної, математичної, графічної, фізичної тощо). За допомогою *моделювання* вивчаються ті процеси і явища, що не піддаються безпосередньому вивченню.

Під моделлю розуміють уявну або матеріальну систему, яка, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, може замінити його так, що її вивчення дає нову інформацію про цей об'єкт.

Метод моделювання має таку структуру:

- постановка завдання;
- створення або вибір моделі;
- дослідження моделі;
- переведення знань з моделі на оригінал.

Математична модель представляє собою набір формальних співвідношень, які відображають поведінку дослідної системи. Вона зв'язує між собою вхідні впливи (сили, температури і т. д.), параметри об'єкту (маси, жорсткості, опору і т. д.) і вихідні показники (переміщення, прискорення, витрати енергії і т. д.). Математичні моделі поділяються на: емпіричні, функціональні, статичні, динамічні, детерміністичні, стохастичні.

Дослідника часто інтересує природа поведінки об'єкту моделювання. Відповідь на таке питання може дати **функціональна** модель, в основі якої лежать відповідні гіпотези, концепції чи припущення.

У **динамічних** моделях значення функції точно визначаються значенням аргументів, а змінна часу **t** може фігурувати у явному виді. Найчастіше типовою формою запису динамічної моделі є відповідне диференціальне рівняння.

Вимоги до математичної моделі наступні:

- модель повинна по можливості точно описувати об'єкт, бути змістовною, добре пояснювати множину вже відомих фактів;
- вона повинна передбачати нові явища і в якійсь мірі їх розвиток, висувати нові проблеми, які раніше сформулювати не представлялося можливим;
- модель повинна бути простою, тобто доступною для розуміння, з невеликим числом допущень, обмежень;
- вона повинна бути витонченою, тобто мати короткий аналітичний вираз, бути негроміздкою, ясною.

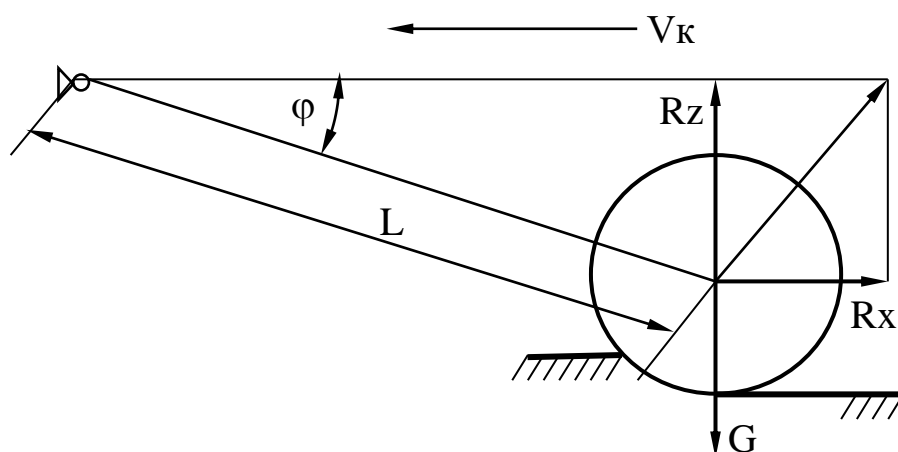
2.2 Вихідні дані до виконання роботи

Побудувати лінійну динамічну модель і з її допомогою дослідити вплив конструктивних параметрів секції котка ККШ-6 на характер його коливань у поздовжньо-вертикальній площині.

Технічна характеристика котка: маса $m = 300$ кг; радіус $R = 0,25$ м; тяговий опір $R_x = 2$ кН; відстань від осі до точки причеплення $L = 2$ м.

2.3 Рекомендації щодо виконання роботи і оформлення звіту

Для побудови математичної моделі коливань котка розглянемо систему сил, які діють на нього у поздовжньо-вертикальній площині.



Прийmemo, що в режимі рівномірного ($V_k = \text{const}$) руху поводок котка знаходиться паралельно горизонтальній площині. Відхилення котка від усталеного положення є малим і виражається кутом φ , для якого $\cos\varphi \approx 1$, а $\sin\varphi \approx \varphi$.

З урахуванням приведених на рисунку позначень рівняння вертикальних коливань котка має наступний вид:

$$J \cdot \ddot{\varphi} = G \cdot L \cdot \cos\varphi - R_z \cdot L \cdot \cos\varphi - R_x \cdot L \cdot \sin\varphi, \quad (1)$$

де J – момент інерції котка;

G – сила ваги котка;

R_z , R_x – вертикальна та горизонтальна складові тягового опору котка.

Момент інерції котка розраховується по формулі:

$$J = m \cdot R^2 / 2,$$

де m і R – маса та радіус котка відповідно.

Якщо в першому наближенні прийняти, що $R_z \approx G$, то вихідне диференціальне рівняння вертикальних коливань котка (1) після відповідних перетворень прийме вид:

$$\ddot{\varphi} + k \cdot \varphi = 0, \quad (2)$$

де k – квазіпружний коефіцієнт. У даному випадку:

$$k = \frac{2 \cdot R_x \cdot L}{m \cdot R^2}$$

Замінивши в (2) функцію φ одиницею, а її другу похідну виразом r^2 , замість диференціального отримаємо характеристичне рівняння виду:

$$r^2 + k = 0 \quad (3)$$

Оскільки його розв'язком є пара комплексних спряжених коренів

$$r_{1,2} = \pm \beta \cdot i, \text{ де } \beta = k^{1/2},$$

то розв'язком диференціального рівняння (2) буде:

$$\varphi = C_1 \cdot \cos \beta t + C_2 \cdot \sin \beta t \quad (4)$$

В формулі (4) C_1 і C_2 – постійні інтегрування, а t – час.

Прийнявши, що при $t = 0$ $\varphi = \varphi_0$, а $\partial \varphi / \partial t = 0$, із рівняння (4) отримаємо:

$$C_1 = \varphi_0$$

Для знаходження значини постійної C_2 проінтегруємо вираз (4):

$$\partial \varphi / \partial t = - C_1 \cdot \sin \beta t \cdot \beta + C_2 \cdot \cos \beta t \cdot \beta = 0$$

звідки витікає, що $C_2 = 0$.

Таким чином, рішення диференційного рівняння (2) має вид:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \cos \beta t$$

Або

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \cos \left(\sqrt{\frac{2R_x \cdot L}{m \cdot R^2}} \cdot t \right) \quad (5)$$

Моделювання коливань котка у поздовжньо-вертикальній площині.

В діапазон комірок B1:B5 електронної таблиці Еxсел послідовно заносимо значини R_x , L , m , R і φ_0 . Величину останньої задаємо в межах $1 \dots 3^0$.

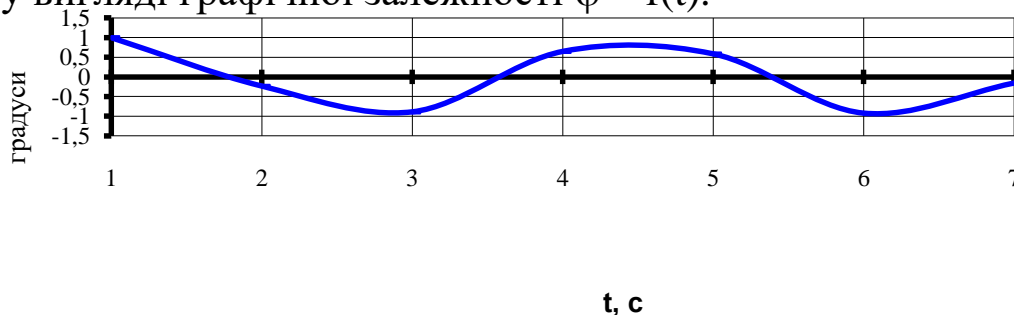
$R_x =$	2000					
$L =$	2					
$m =$	300					
$R =$	0,25					
$\varphi_0 =$	1					
$k =$	20,65591					
$t =$	0	1	2	3	4	5
$\varphi_i =$	1	-0,233	-0,891	0,649	0,588	-0,924

В комірці B6 за формулою **=КОРЕНЬ(2*B1*B2/(B3*B4^2))** розміщуємо значину підкорінного виразу формули (5).

В комірки сьомої строчки електронної таблиці вводимо значини часу (від нуля до 10 с, наприклад).

В комірці B8 розміщуємо результат розрахунку значини кута φ за формулою **=B\$5*COS(B\$6*B\$7)**. Вказану формулу копіюємо у відповідні комірки восьмої строчки електронної таблиці.

За допомогою майстра діаграм результати розрахунків представляємо у вигляді графічної залежності $\varphi = f(t)$.



Завдання для моделювання.

Як зміниться процес коливання котка у поздовжньо-вертикальній площині при збільшенні/зменшенні:

- 1) тягового опору знаряддя;
- 2) маси котка;
- 3) довжини повідка (величина L);
- 4) радіуса котка.

Отримані результати пояснити письмово.

З В І Т **про виконану роботу № 4**

Тема: _____

Мета роботи: _____

Постановка задачі: _____

Рішення:

- схема сил;
- розробка лінійної динамічної моделі функціонування секції котка;
- моделювання коливань котка у поздовжньо-вертикальній площині з використанням програми Excel.

Результати моделювання: _____

Аналіз результатів моделювання: _____

Роботу здав _____ Роботу прийняв _____

2.4 Питання для самоконтролю

1. Що таке теоретичні дослідження?
2. Що таке математична модель? Які вимоги до них пред'являються?
3. Який порядок складання динамічної моделі функціонування с.-г. машини? Наведіть приклад.
4. Поясніть, як змінюється процес коливання котка у поздовжньо-вертикальній площині при збільшенні (зменшенні) тягового опору знаряддя, маси котка, довжини повідка, радіуса котка. І як це впливає на показники даного технологічного процесу.

Практична робота № 5

Тема: Регресійне математичне моделювання

Мета: ознайомитися з методологією побудови та аналізу лінійних регресійних моделей функціонування с.-г. машин і знарядь

1. ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки до роботи

– повторити:

а) поняття моделювання, гіпотеза, математична модель;

б) види моделей.

– знати: методологією побудови та аналізу регресійних моделей функціонування с.-г. машин і знарядь.

– вміти: розробляти лінійну регресійну модель функціонування с.-г. машини і аналізувати її при рішенні конкретного завдання.

1.2 Питання для самопідготовки

1. Дайте визначення терміну «математична модель».
3. Які типи моделей Ви знаєте? Коли використовується кожний з цих типів?
4. Які методи використовують при складанні математичних моделей?

1.3 Рекомендована література

1.3.1. Аюбов А.М. Вибір і обґрунтування оцінюючого параметру роботи шнекового апарату різання // Праці ТДАТА. – Т.18, вип.2. – Мелітополь, 2002. – С.130 – 135.

1.3.2. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – М.: Высшая школа, 1976.– 479 с.

1.3.3. Дж. Франс, Дж.Х.М. Торнли Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987 – 400 с.

2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Теоретичні відомості

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 .

На мові математики вказана задача формулюється наступним чином. Потрібно отримати певну уяву про функцію відгуку

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

де Y - параметр процесу, який підлягає оптимізації.

Загальна схема планування експериментів для рішення екстремальних задач включає наступні етапи: *постановка задачі; вибір критеріїв оптимізації; вибір факторів; складання лінійного плану; реалізація лінійного плану і побудова лінійної моделі; пошук та опис області екстремуму; тлумачення отриманих результатів експерименту.*

Постановка задачі розпочинається з її формулювання. Дослідник повинен мати чітку і однозначну уяву щодо мети роботи. Бажаємо, 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) вивчаємої системи на вплив вхідних факторів. Вибираючи критерій оптимізації Y в математичній моделі, необхідно враховувати, що він повинен:

- бути кількісним і задаватися одним числом;
- допускати вимірювання при будь-якій можливій комбінації вибраних рівнів факторів¹;
- бути універсальним, тобто всебічно характеризувати об'єкт дослідження;
- мати простий фізичний смисл;
- існувати для всіх стадій проведення експерименту.

Після вибору критерію 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. Фактори повинні відповідати наступним вимогам:

1. *Незалежність*, тобто можливість устанавлення 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 дослідження.

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 особливістю

¹ - множина значин, які приймає критерій оптимізації, називається областю його визначення.

об'єкта дослідження така, що значини факторів важко підтримувати на заданому рівні (рівень фактора “пливе”).

Фактори, які по тим або іншим причинам не можна врахувати в експерименті, на протязі всіх дослідів слід стабілізувати на постійних рівнях.

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

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

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

Припустимо, що в задачі змінюються тільки два фактори – x_1 і x_2 , причому кожний на двох рівнях¹: +1 та –1. Планування зводиться при цьому до реалізації 2^k дослідів. В даному випадку маємо провести повний факторний експеримент типу 2^2 , де всі можливі комбінації факторів будуть вичерпані в чотирьох дослідах. По результатах чотирьох дослідів, кожний із яких проводиться **m** разів, можна знайти значини коефіцієнтів регресії, яка для лінійного плану при $k = 2$ має наступний вид:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$$

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

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

Методика розрахунку коефіцієнтів вище приведенного поліному досить докладно викладена в спеціальній літературі [1]. 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 вивчаємо му явищу. В разі неадекватності переходять до більш складної моделі.

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

Подальший процес дослідження заключається в **пошуку оптимуму функції відгуку** (якщо він є) та **тлумаченні отриманих результатів**.

Слід, однак, пам'ятати, що при застосуванні методів факторного планування експериментів крок варіювання критеріїв не можна задавати незалежно від кроку варіювання факторів, які входять у ці критерії.

2.2 Вихідні дані до виконання роботи

В процесі обґрунтування параметрів і режимів роботи шнекового апарату різання [1] досліджувався вплив частоти обертання (**n**) та кута нахилу гвинтового ножа в поздовжньо-вертикальній площині (**α**) на ступінь укладання зрізаних стебел у валок¹ (**q**).

¹ - величина q показує яка частина із загальної кількості зрізаних стебел була сформована у валок.

Під час експерименту величину n змінювали в межах 600...800 хв^{-1} з інтервалом 100 хв^{-1} , а параметр α – від 10° до 30° з інтервалом 10° .

2.3 Рекомендації щодо виконання роботи і оформлення звіту

Для отримання регресійної моделі функціонування с.-г. машини проводять повний факторний експеримент (ПФЭ). У даному випадку для двох факторів X_1 – частоти обертання (n) та X_2 – кут нахилу гвинтового ножа в поздовжньо-вертикальній площині (α).

У якості базової точки приймається середнє значення фактору.

Складаємо таблицю співвідношення реальних і нормованих факторів

Фактори	Рівні варіювання факторів			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
$n, \text{хв.}^{-1}$ (X_1)	600	700	800	100
$\alpha_n, \text{град}$ (X_2)	10	20	30	10

Визначаємо кількість дослідів, враховуючи кількість факторів, які приймають участь у експерименті, відповідно до формули [2]:

$$N = 2^n \quad (1)$$

де n – кількість факторів (у даному випадку $n = 2$);
отримуємо $N = 4$.

Після визначення кількості дослідів переходять до визначення загального вигляду регресійної моделі.

✓ ***Кількість дослідів повного факторного експерименту визначає кількість коефіцієнтів математичної моделі***

У даному випадку ($N = 4$) регресійна модель матиме наступний вигляд:

$$q = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_{12} \cdot X_1 \cdot X_2$$

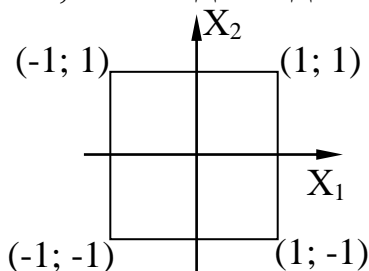
де B_0 – значина вільного члену регресійного поліному;

B_1 – значина коефіцієнта при факторі X_1 ;

B_2 – значина коефіцієнта при факторі X_2 ;

B_{12} – здвоєна значина коефіцієнта, який відображає парний вплив факторів X_1 і X_2 .

Отже, схема дослідів буде мати наступний вигляд:



№ дослідів	X_1	X_2
1	+1	+1
2	-1	+1
3	+1	-1
4	-1	-1

Матриця планування повного факторного експерименту 2^2 з результатами проведення дослідів у трьох повторностях має наступний вид:

Таблиця

1.

№ дослідів	Фактори			Взаємодія факторів	Функція відклику			Середнє значення \bar{q}_i
					q			
	Z_0	Z_1	Z_2		$Z_1 \cdot Z_2$	Номер повторності		
					1	2	3	
1	+1	+1	+1	+1	10,4	10,6	10,5	10,50
2	+1	-1	+1	-1	29,6	28,2	29,2	29,00
3	+1	+1	-1	-1	13,0	12,8	11,7	12,50
4	+1	-1	-1	+1	39,2	38,2	39,6	39,00

Перевірка відтвореності дослідів.

Перед тим, як визначити коефіцієнти регресивної моделі, необхідно визначити помилку експерименту. Висуваємо гіпотезу про рівність дисперсій у вибірках однакового об'єму (критерій Кохрена).

$$H_0: S^2_1 = S^2_2 \dots = S^2_n$$

Якщо $G_{\text{набл.}} < G_{\text{крит.}}$, то гіпотеза приймається, тобто різниця у строкових дисперсіях є випадковою.

Якщо $G_{\text{набл.}} > G_{\text{крит.}}$, то гіпотеза відхиляється.

Визначимо $G_{\text{набл.}}$ За формулою:

$$G_{\text{набл}} = \frac{S_{i\text{max}}^2}{\sum S_i^2}$$

де $S_{i\text{max}}^2$ – максимальне значення строкової дисперсії;

S_i^2 – строкова дисперсія для i -тої строчки, яка визначається за формулою:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum (q_{ij} - \bar{q}_i)^2$$

де m – кількість повторностей, $m = 3$;

q_{ij} – поточне значення відгуку для кожної повторності;

\bar{q}_i – середнє значення функції відгуку по кожному з дослідів.

- ✓ *Різниця строкових дисперсій, як правило, виникає за рахунок випадковостям або грубих помилок при проведенні експерименту.*

За таблицею Кохрена [2] визначаємо $G_{\text{крит.}}(\alpha, k_1 = m - 1, k_2 = N)$. Наприклад, для $\alpha = 0,05, k_1 = 2, k_2 = 4$ $G_{\text{крит.}} = 0,77$ ($G_{\text{крит.}}(0,05; 2; 4) = 0,77$)

У нашому випадку середнє значення по кожному досліді дорівнює:

$q_1 = 10,5; q_2 = 29,0; q_3 = 12,5; q_4 = 39,0$; а $S_1^2 = 0,01; S_2^2 = 0,52; S_3^2 = 0,49; S_4^2 = 0,52$. Тоді $G_{\text{набл.}} = 0,52 / (0,01 + 0,52 + 0,49 + 0,52) = 0,34$. **Нульова гіпотеза приймається** ($G_{\text{набл.}} = 0,34 < G_{\text{крит.}} = 0,77$), тому продовжимо розрахунки.

- ✓ *У випадку, коли критерій Кохрена дає погану відтворність, необхідно знову провести дослід, що дає найбільшу дисперсію.*

Знайдемо коефіцієнти лінійної регресійної математичної моделі:

$$B_i = \frac{\sum (z_i \cdot \bar{q}_i)}{N}$$

де Z_i – відповідний стовпець значення фактора у кодованому виді (див. табл.1).

Наприклад: $B_0 = ((+1) \cdot 10,5 + (+1) \cdot 29,0 + (+1) \cdot 12,5 + (+1) \cdot 39,0) / 4 = 22,75$

Попередньо рівняння математичної моделі буде мати вигляд:

$$q = 22,75 + 11,25 \cdot X_1 - 3 \cdot X_2 + 2 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (1)$$

В рівнянні (1) фактори X_1 та X_2 представлені в кодованому вигляді.

Перевірка значущості коефіцієнтів отриманої математичної моделі.

За критерієм Стьюдента визначаємо значущість коефіцієнтів регресійної моделі. Для цього визначаємо дисперсію коефіцієнтів регресії:

$$S_{B_i}^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{N}$$

де $S_{\text{воспр}}^2$ – дисперсія відтворюваності (помилки);

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum S_i^2}{N}.$$

У нашому прикладі: $S_{\text{воспр}}^2 = 0,385$.

Потім по кожному з коефіцієнтів визначають $t_{\text{набл}}$ за формулою:

$$t_{\text{набл}} = \frac{|B_i|}{\sqrt{S_{B_i}^2}}$$

За таблицею Стьюдента [2, 3] визначають $t_{\text{крит.}}(\alpha, k = N \cdot (m - 1))$. Наприклад, для $\alpha = 0,05, k = 8$ $t_{\text{крит.}} = 2,306$ ($t_{\text{крит.}}(0,05; 8) = 2,306$).

Якщо $t_{\text{набл.}} > t_{\text{крит.}}$, то коефіцієнт значущий, а інакше – невірно вибрано інтервал варіювання. В цьому випадку його змінюють і знову проводять експеримент. У разі незначущості фактора при повторній перевірці даний коефіцієнт вилучають з математичної моделі. У даному прикладі всі коефіцієнти значущі.

При проведенні експериментів використовуються кодовані значини рівнів факторів. Для переходу до іменованих величин використовуємо формули нормування факторів:

$$X_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i} \quad i = \overline{1, k}$$

У даному випадку

$$X_1 = (n - 700)/100; \quad X_2 = (\alpha - 20)/10 \quad (2)$$

Підставивши значини X_1 та X_2 із (2) в (1), після відповідних перетворень отримаємо шукану регресійну математичну модель:

$$q = 0,0725 \cdot n - 1,7 \cdot \alpha + 0,002 \cdot n \cdot \alpha - 22 \quad (3)$$

Перевірка адекватності отриманої математичної моделі.

Для перевірки математичної моделі на адекватність визначимо дисперсію адекватності за формулою:

$$S_{\text{адекв.}}^2 = \frac{m}{N-1} \cdot \sum (\bar{q}_i - \tilde{q}_i)^2$$

де m – повторності, $m = 3$;

N – кількість дослідів, $N = 4$;

l – кількість значимих коефіцієнтів, $l = 4$;

\bar{q}_i – середнє значення по кожному досліді;

\tilde{q}_i – теоретичне значення, отримане за допомогою математичної моделі.

Гіпотезу про адекватність перевіряють за допомогою критерію Фішера (F-критерію): $F_{\text{набл}} = S_{\text{адекв.}}^2 / S_{\text{воспр}}^2$.

За таблицею [2, 3] визначають $F_{\text{крит.}}(\alpha, k_1, k_2)$

Якщо $F_{\text{набл.}} < F_{\text{крит.}}$, то модель адекватна.

Для побудови графічної інтерпретації отриманої регресійної моделі скористаємося програмою **Mathematica 5.0**. Приймаємо, що по осі X будемо відкладати величину n , а по осі Y – величину α . З урахуванням рівнів варіювання вхідних факторів: $X_{\text{min}} = 600$; $X_{\text{max}} = 800$; $Y_{\text{min}} = 10$; $Y_{\text{max}} = 30$.

Для побудови 3D-графіку використовують функцію **Plot3D**.

$$f = \text{Plot3D}[\text{функція}, \{x, X_{\text{min}}, X_{\text{max}}\}, \{y, Y_{\text{min}}, Y_{\text{max}}\}]$$

Після вводу команди отримуємо на екрані графічну інтерпретацію розробленої математичної моделі вивчаємого технологічного процесу (рис.1).

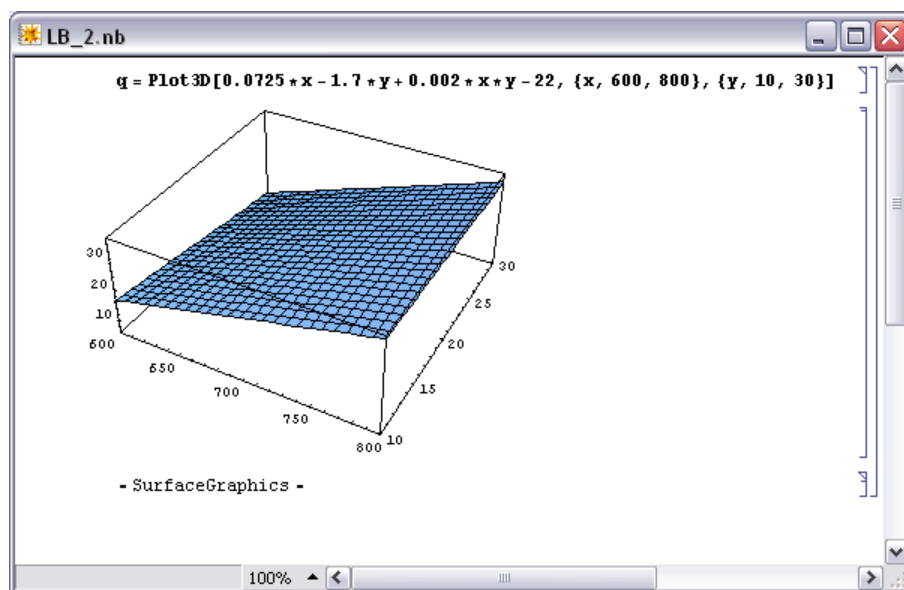


Рисунок 1 – графічна інтерпретація отриманої математичної моделі

Аналіз отриманої графічної інтерпретації математичної моделі показує, що ступінь впливу змінного параметра n на вихідну величину q зростає по мірі росту значини параметра α . Наприклад, зміна n від 600 до 800 хв^{-1} при $\alpha = 10^\circ$ збільшує q з 10 до 27% (тобто на 17%). При куті $\alpha = 30^\circ$ аналогічна зміна частоти обертання шнекового ножа забезпечує ріст ступеню укладання стебел у валок з 13 до 39,8% (тобто. практично на 27%).

Цілком справедливим є і зворотне тлумачення стосовно цих змінних. Так, збільшення кута α з 10° до 30° при $n = 600 \text{ хв}^{-1}$ приводить до росту ступеню укладання зрізаних рослин у валок приблизно на 3%. При частоті ж обертання ножа шнекового пристрою, рівній 800 хв^{-1} , приріст q складає приблизно 13% (від 27 до 40%).

Із приведенного вище аналізу однозначно витікає, що частота обертання шнека (n) здійснює більш істотний вплив на якість валкоутворення, ніж кут його нахилу в поздовжньо-вертикальній площині (α).

Завдання для моделювання

Отримати за допомогою програми **Mathematica** графічні інтерпретації функції відгуку (q) при зміні (збільшенні/зменшенні):

- частоти обертання шнека (n);
- куту нахилу ножа в поздовжньо-вертикальній площині (α).

Отримані результати пояснити письмово.

З В І Т **про виконану роботу № 5**

Тема: _____

Мета роботи: _____

Постановка задачі: _____

Рішення:

– розробка лінійної регресійної моделі функціонування шнекового апарату різання:

- визначення кількості дослідів;
- схема дослідів;
- розрахунок коефіцієнтів регресійної моделі з використанням програми Excel.

– Отримання поверхні відклику за допомогою програми **Mathematica 5.0**.

Аналіз результатів: _____

Роботу здав _____ Роботу прийняв _____

2.4 Питання для самоконтролю

1. Що таке регресійна модель?
2. Які етапи включає планування екстремальних експериментів?
3. Яким вимогам повинен відповідати критерій оптимізації?
5. Які вимоги пред'являються до факторів, що обрані для досліджень?

Практична робота № 6

Тема: Лінійне програмування в моделюванні

Мета: отримати навички застосування “симплекс-методу” для вирішення на ПЕОМ конкретних практичних задач

1. ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки до роботи

– повторити:

а) поняття моделювання;

б) існуючі методи теоретичних досліджень;

в) умови їх використання.

– знати: суть “симплекс-методу” і особливості застосування.

– вміти: користуватися “симплекс-методом” для вирішення конкретних практичних задач.

1.2 Питання для самопідготовки

1. Дайте визначення терміну «симплекс-метод».

2. За яких умов в дослідженнях використовують симплекс-метод?

3. Які методи теоретичних досліджень Ви знаєте?

4. Які методи використовують при складанні математичних моделей?

1.3 Рекомендована література

1.3.1 Основы научных исследований: Учебное пособие для технических вузов /Под ред. В.И. Крутова, В.В.Попова. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.

1.3.2. Дж. Франс, Дж.Х.М. Торнли Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987 – 400 с.

2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Теоретичні положення

Лінійне програмування виникло у зв'язку з потребою розгляду питань про знаходження найвигідніших варіантів при рішенні різних виробничих задач.

При рішенні будь-якої задачі лінійного програмування виділяють чотири основні етапи: постановка задачі, збір необхідної інформації та вихідних даних; формалізація задачі у відповідності до схеми лінійного програмування; *додання математичних процедур і правил, необхідних для рішення поставленої задачі; інтерпретація результатів та пояснення їх смислу.*

Проблема лінійного програмування виражається трьома кількісними аспектами: метою, альтернативними стратегіями її досягнення і ресурсами або іншими обмеженнями. Щоб отримати чисельне рішення вказаної проблеми, потрібно всі ці аспекти представити математично. Отже, процес формалізації повинен вміщувати також три головних елементи:

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

Вказані умови прийнято називати *обмеженнями*.

Перераховані вище елементи повинні відповідати певним вимогам.

По-перше, функція мети і обмеження мають представлятись в лінійній формі і бути детермінованими.

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

Розв'язок сформульованої вище задачі базується на знаходженні та наступному маніпулюванні з так званим *базисним рішенням*. Найкраще для цього підходе симплекс-метод.

Симплекс-метод – по суті, двофазна процедура.

Перша фаза заключається 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.

2.2 Вихідні дані для виконання роботи

Фермеру необхідно визначити кількість органічних та складних мінеральних добрив для їх внесення на 20 га угідь таким чином, щоб повна їх вартість була мінімальною. Ціна та хімічний склад добрив такі:

Добриво	Ціна, грн../т	Хімічний склад, кг/т		
		азот	фосфор	калій
Органічне (біо-гумус)	3500	3	2,5	2,5
Мінеральне	6900	250	100	100

Фермеру необхідно внести не менше 75 кг/га азоту, 25 кг/га фосфору та 35 кг/га калію. Продуктивність праці при внесенні органічного добрива може складати 8 т/год, а мінерального – 0,4 т/год. Тривалість виконання всієї операції – 25 год.

2.3 Рекомендації щодо виконання роботи і оформлення звіту

Щоб сформулювати задачу по схемі лінійного програмування, слід спочатку виділити основні елементи моделі, а саме: керовані змінні, функцію мети та відповідні обмеження.

Керовані змінні.

Задача фермера – визначити кількість органічного та складного мінерального добрив. Тому названі величини і повинні виступати в ролі керованих змінних. Нехай

x_1 – необхідна кількість органічного добрива, т;

x_2 – необхідна кількість складного мінерального добрива, т.

Функція мети.

Мета фермера – звести до мінімуму повну вартість внесених добрив. Оскільки органіка обходиться йому по 3500 грн, а мінеральне добриво – по 6900 грн за 1 т, то повна їх вартість може бути визначена із виразу $3500 \cdot x_1 + 6900 \cdot x_2$. Позначивши її через Z , можемо записати функцію мети:

$$Z = 3500 \cdot x_1 + 6900 \cdot x_2 \rightarrow \min \quad (1)$$

Обмеження задачі.

Обмеження на значини змінних накладаються, по-перше, міркуваннями фермера щодо мінімальних норм внесення азоту (75 кг/га), фосфору (25 кг/га) та калію (35 кг/га) і, по-друге, ресурсом часу (25 год), виділеному на виконання запланованих робіт.

Розглянемо спочатку обмеження на норми внесення азоту. В 1 т органіки його міститься 3 кг, а в 1 тоні мінеральних добрив – 250 кг. Звідси випливає, що всього азоту потрібно внести $3 \cdot x_1 + 250 \cdot x_2$ кг. Мінімальна норма цього елемента становить 75 кг/га. Для площі 20 га потреба в азоті складає не менше $20 \cdot 75 = 1500$ кг. Звідси маємо перше обмеження:

$$3 \cdot x_1 + 250 \cdot x_2 \geq 1500 \quad (2)$$

Розмірковуючи аналогічно, складаються обмеження по фосфору

$$2,5 \cdot x_1 + 100 \cdot x_2 \geq 500 \quad (3)$$

і калію

$$2,5 \cdot x_1 + 100 \cdot x_2 \geq 700 \quad (4)$$

І, нарешті, обмеження по ресурсу часу. Продуктивність праці на внесенні органічних добрив становить 8 т/год, а на внесенні мінеральних – 0,4 т/год. Загальний час, необхідний для виконання цієї робо-

ти, дорівнює $(x_1/8) + (x_2/0,4)$ і він не повинен перевищувати 25 год, тобто

$$\frac{1}{8} \cdot x_1 + \frac{1}{0,4} \cdot x_2 \leq 25 \quad \text{або} \quad x_1 + 20 \cdot x_2 \leq 200 \quad (5)$$

Функція мети і обмеження в даній задачі лінійні, оскільки рівняння (1) та нерівності (2...5) не містять членів, в які входили б змінні з показником ступеню більше одиниці.

Рівняння (1) та нерівності (2...5) є детермінованими, оскільки коефіцієнти при змінних як в функції мети, так і в обмеженнях – постійні величини.

Змінні x_1 і x_2 з точки зору фізичного смислу не можуть бути від'ємними, тобто

$$x_1 \geq 0; \quad x_2 \geq 0.$$

Виходячи із вищевикладеного, постановка задачі у математичній формі запису має бути такою:

Мінімізувати $Z = 3500 \cdot x_1 + 6900 \cdot x_2$ (функція мети)

з урахуванням того, що

$$3 \cdot x_1 + 250 \cdot x_2 \geq 1500 \quad (\text{обмеження по азоту})$$

$$2,5 \cdot x_1 + 100 \cdot x_2 \geq 500 \quad (\text{обмеження по фосфору})$$

$$2,5 \cdot x_1 + 100 \cdot x_2 \geq 700 \quad (\text{обмеження по калію})$$

$$x_1 + 20 \cdot x_2 \leq 200 \quad (\text{обмеження в часі})$$

$$x_1 \geq 0; \quad (\text{умова невід'ємності})$$

$$x_2 \geq 0. \quad (\text{умова невід'ємності})$$

Рішення задачі на ПЕОМ з допомогою пакету Microsoft Excel.

Спочатку заповнюємо таблицю вихідних даних. Для цього вводимо:

- 1) в діапазон комірок В2:В3 - довільні початкові значини змінних x_1 і x_2 (нулі, наприклад);
- 2) в діапазон комірок Н2:Н3 – значини вартості 1 т добрив;
- 3) в діапазон комірок С2:Е3 – коефіцієнти обмежень по хімічному складу добрив;
- 4) в діапазон комірок F2:F3 – коефіцієнти обмеження в часі;
- 5) в діапазон комірок С4:F4 – значини правих частин обмежень;

б) в комірку А6 – значину функції мети. Цю значину визначимо за допомогою математичної функції **СУММПРОИЗВ** (1-й масив; 2-й масив). Перший масив складають значини діапазону комірок Н2:Н3, а другий – діапазон комірок В2:В3. Таким чином, в комірці А6 будемо мати формулу **=СУММПРОИЗВ(Н2:Н3;В2:В3)**.

7) в діапазон комірок С6:F6 – ліві частини обмежень задачі. Для цього в комірку С6 вводимо формулу **=СУММПРИЗВ(С2:С3;\$B\$2:\$B\$3)**. Вказану формулу копіюємо в комірки D6:F6.

В результаті таблиця вихідних даних матиме наступний вигляд:

Змінні	Значини						Ціна 1 т добрив
X1	0	30	25	25	1		3500
X2	0	250	100	100	20		6900
		2000	500	700	200		
Функція мети							
0		0	0	0	0		

Далі в меню середовища Excel «Сервис» вибираємо команду «Поиск решения». А в нових версіях Excel обираємо «параметри Excel» далі «Надстройки» потім «Перейти» та ставимо галочку напроти «Поиск решения» підтвержуємо вибір «Ок». Після цього на вкладці «Данные» з'явиться вкладка «Поиск решения».

Після появи діалогового вікна заповнюємо його поля:

- адресу комірки функції мети (\$A\$6);
- тип оптимізації (пошук мінімуму);
- адреси керованих змінних (\$B\$2;\$B\$3);
- обмеження.

При завданні обмежень використовують кнопку «Добавить». Після її натискання з'являється допоміжне діалогове вікно, в поля якого вводять посилання на комірки та обмеження, які накладаються на змінні. В даному випадку в поле «Ограничения» допоміжного вікна слід занести таке:

$$B\$2:B\$3 \geq 0$$

$$C\$6 \geq C\$4$$

$$D\$6 \geq D\$4$$

$$E\$6 \geq E\$4$$

$$F\$6 \leq F\$4$$

Далі слід натиснути кнопку “**Выполнить**”, після чого буде виконана процедура “**Поиск решения**”. Для даної задачі маємо такий результат:

Змінні	Значини						Ціна 1 т добрив
X1	0	3	2,5	2,5	1		3500
X2	10	250	100	100	20		6900
		1500	500	700	200		
Функція мети							
69000		2500	1000	1000	200		

Як бачимо, фермеру потрібно внести на своєму полі 0 т органічних та 10 т мінеральних добрив. Загальні витрати коштів при цьому будуть мінімальними і становитимуть 69 тис. грн.

Завдання для моделювання.

Розв’язати цю ж задачу при умові, що:

- 1) складське приміщення фермера дозволяє йому зберігати не більше 3-х тон мінеральних добрив.
- 2) мінімальна норма внесення азотних добрив – 100 кг/га
- 3) норму внесення органічних добрив зменшити вдвоє

ЗВІТ

про виконану роботу № 6

Тема: _____

Мета роботи: _____

Постановка задачі: _____

Отримані результати: пояснити письмово, вказавши при цьому порядок дій, які виконуються в середовищі пакету Microsoft Excel для досягнення розв’язку задачі.

2.4 Питання для самоконтролю

1. Що таке симплекс-метод? Коли він використовується?
2. Які етапи включає симплекс-метод?
3. Наведіть приклад доцільності використання симплекс-методу?

Практична робота №7

Тема: Техніко-економічне оцінювання машинно-тракторного агрегату

Мета роботи: ознайомитися з методикою оцінювання показників ефективності використання машинно-тракторних агрегатів

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1. Завдання для самостійної підготовки:

- ознайомитися з методами короткострокового прогнозування ефективності технічних рішень;
- засвоїти методику проведення експлуатаційно-технологічної оцінки техніки на етапі її випробувань;
- ознайомитися із ДСТУ 4397:2005 «Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань».

1.2. Рекомендовані джерела інформації

1.2.1 Основи наукових досліджень: Підручник /В.Т. Надикто. – Херсон: ОЛДІ_ПЛЮС, 2017.– 268 с.

1.2.2 ДСТУ 4397:2005 «Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань»

1.2.3 Чорна Т.С. Експлуатаційно-технологічна оцінка асиметричного посівного агрегату / Т.С. Чорна // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електрон. наук. фах. видання; Вип. 2, т. 3. – С. 38-43. – URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/544/1/488.pdf>

2 Вказівки з виконання роботи

2.1. Теоретичні положення

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_{Π}):

$$\Pi = E + C_K \cdot K_{\Pi}/100.$$

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

$$E = Z + A + P + \Gamma + M + \Phi,$$

де Z – заробітна платня обслуговуючого персоналу;

A – витрати на амортизацію;

P – витрати на ремонти і технічне обслуговування;

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

M – витрати на допоміжні матеріали;

Φ – 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:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i}{W_{3M}} + \frac{B \cdot a}{W_{3M} \cdot T_3} + \frac{B \cdot (r_T + r_K)}{W_{EK} \cdot T_H} + \\ & + \sum_{i=1}^K q_i \cdot C_i + \frac{\sum_{i=1}^n Z_{\Pi i} \cdot r_i + C_D + S_3}{W_{EK} \cdot T_3} + \frac{C_K \cdot B}{100 \cdot W_{EK} \cdot T_3} \end{aligned} \quad (1)$$

У виразі (1) прийняті наступні позначення:

- L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини (визначаються за даними випробувань), люд;
- t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год;
- r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт, грн /люд·год;
- $W_{зм}$, $W_{ек}$ – змінна і експлуатаційна продуктивності роботи МТА, га (т)/год;
- B – 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_z , T_n – зональне і нормативне річне завантаження машини, год;
- r_T – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та ТО;
- r_k – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;
- q_i – питомі витрати пального (електроенергії), кг (кВт·год)/ га (т);
- C_i – ціна одного кілограма пального (однієї кіловат-години електроенергії), грн/кг (грн/ кВт·год);
- Z_{pi} – затрати праці i -ої категорії працівників на доскладання та монтування машини, люд.-год;
- C_d – вартість матеріалів, які використані на доскладанні та монтуванні машини, грн;
- S_3 – річні витрати на зберігання та страхування машини, грн.

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

$$E_p = (П_б - П_н) + E_{як}, \quad (2)$$

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

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

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

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

$$З_п = \frac{\sum_{i=1}^n Л_i}{W_{ек}}. \quad (3)$$

2.2. Методичні вказівки до проведення заняття

Студенти під керівництвом викладача вибирають два машинно-тракторних агрегати, один із яких є базовим, а другий, новим. До складу кожного МТА входить трактор, зчіпка (за потреби) і навісні, причіпні або напівнавісні машини/знаряддя.

При заповненні строчок 3-34 студенти з допомогою викладача використовують необхідні довідникові дані, які запозичують із відповідних літературних джерел, мережі Internet, прайсів та рекламних матеріалів фірм-виробників сільськогосподарської техніки тощо.

Окрему увагу слід приділити обґрунтованому визначенню показника $E_{\text{як}}$ – річного економічного ефекту, одержаного за рахунок зміни кількості та якості продукції в результаті експлуатації нової машини, грн. На перший погляд природа (суть) цього показника може бути не очевидною. Водночас, вона вкрай важлива, оскільки факт її установлення дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку техніко-економічної ефективності того чи іншого технічного рішення.

При виборі обслуговуючого машинно-тракторний агрегат персоналу слід виходити із мінімальної його потреби.

2.3. Структура звіту з лабораторної роботи

Структура звіту з даної лабораторної роботи має бути такою:

- 1) Склади порівнюваних МТА.
- 2) Продуктивність роботи МТА, га/год: змінна, експлуатаційна.
- 3) Питомі витрати пального, кг/га.
- 4) Витрати праці, люд. · год/га.
- 5) Експлуатаційні витрати, грн/га /
- 6) Інвестиційні вкладення, грн/га.
- 7) Сукупні витрати, грн/га.
- 8) Економічний ефект.

Студент має пояснити причини отримання річного економічного ефекту, а також дати аналіз впливу відповідних чинників на його (ефекту) величину. Особливо предметно слід сформулювати можливі потенційні шляхи підвищення річного економічного ефекту від застосування нового машинно-тракторного агрегату.

2.4. Контрольні запитання

2.4.1 Що таке експлуатаційні витрати?

2.4.2 Які складові сукупних витрат обумовлюють їх зменшення, а які – небажане збільшення?

2.4.3 Як розрахувати річний економічний ефект і питомі витрати праці від застосування нового технічного рішення (машини, комбайну, МТА тощо).

Практична робота №8

Тема: Оцінювання кривих за відсутності оптимуму

Мета роботи: ознайомитися з методикою і засвоїти навички оцінювання тих процесів, графічною інтерпретацією яких є криві без оптимуму

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.2. Завдання для самостійної підготовки:

- ознайомитися із графіками елементарних математичних функцій;
- повторити основи диференціювання функцій однієї дійсної змінної.

1.2. Рекомендовані джерела інформації

1.2.1 Основи наукових досліджень: Підручник /В.Т. Надикто. – Херсон: ОЛДІ_ПЛЮС, 2017.– 268 с.

1.2.2 Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н., Семендаев К.А.– М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 720 с.

2 Вказівки з виконання роботи

2.1. Теоретичні положення

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 знахо-

дження 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 **двотонними**.

Прикладами таких двотонних кривих є графіки функцій $y_i = f(x)$:

$$y_1 = \frac{\alpha x}{1 - \beta x^2}$$

та

$$y_2 = k - \alpha e^{-\beta x},$$

де α, β і k – постійні коефіцієнти;

e – основа натурального логарифму.

Типові графіки цих функцій зображені на рис. 1. Функція y_1 , для прикладу, часто застосовується для апроксимування кривих буксування мобільних енергетичних засобів. Функція y_2 використовується при аналізі низки процесів з експоненціальною складовою.

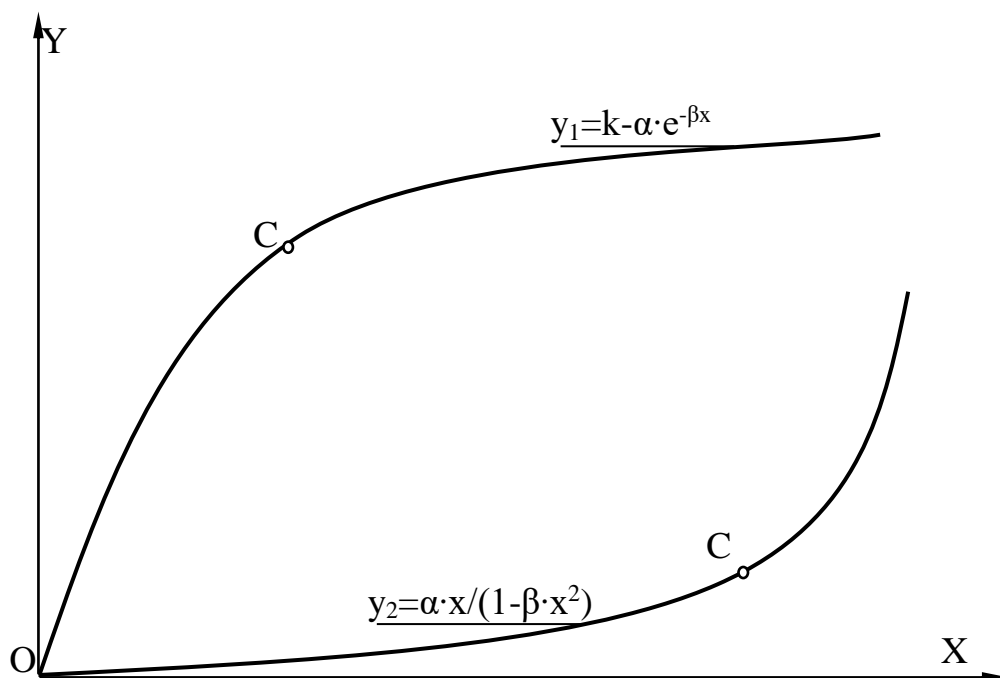


Рис. 1 – Типові графіки двотонних кривих

При дослідженні процесів, які описуються двозонними кривими, бажано вміти визначати точку, яка розділяє проміжки зміни фактора з істотно різними швидкостями залежності результату від цього фактору. На рис. 1 – це точка С.

Для означення цієї точки двозонну криву АСВ (рис. 2) представляють двома прямими АС і СВ.

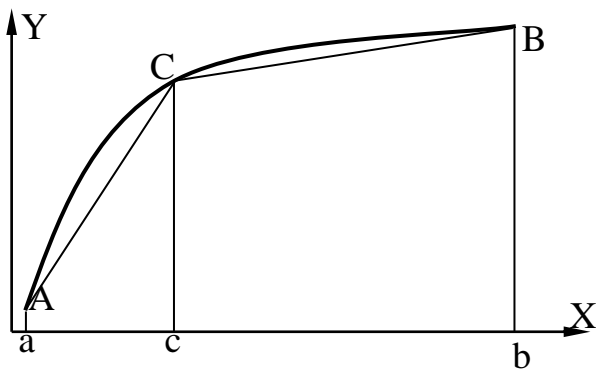


Рис. 2 – Ламана, вписана в криву

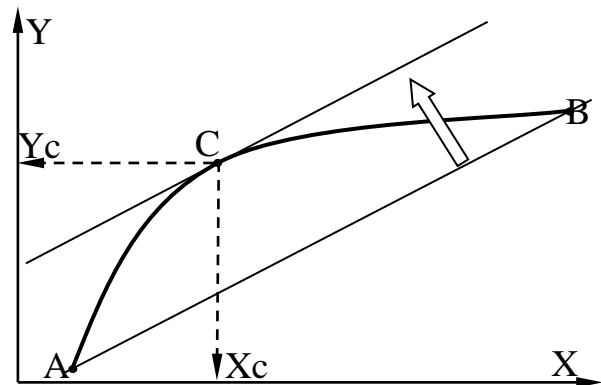


Рис. 3 – Графічний метод пошуку точки оптимуму

Точка С буде точкою оптимуму двозонної кривої АСВ тоді, коли площі фігур, обмежені кривими АС і СВ та прямими АС і СВ відповідно, будуть найменшими.

Алгоритм графічного вирішення цієї задачі полягає у наступному:

- 1) точки А і В досліджуваної кривої АСВ з'єднати прямою лінією (рис. 3);
- 2) отриману пряму АВ слід переміщати паралельно самій собі до тих пір, поки вона не стане дотичною до кривої АСВ;
- 3) визначити координати точки дотику прямої АВ до кривої АСВ.

Визначена при цьому т. С з координатами Y_c і X_c і буде такою, яка ділить криву АСВ на дві характерні зони.

2.2. Методичні вказівки до проведення заняття

2.2.1 Для процесу, який описується залежністю $y = \frac{\alpha x}{1 - \beta x^2}$,

знайти абсцису точки С, яка ділить вказану залежність $y = f(x)$ на дві характерні зони. Значини постійних α і β , а також діапазон зміни перемінної x задає викладач.

Методика алгоритму розв'язання цієї задачі є наступною:

- для кожної заданої значини абсциси x при постійних значинах коефіцієнтів α і β розрахувати значину функції y ;
- побудувати графік функції $y = f(x)$;
- на отриманому графіку користуючись теоретичними положеннями, викладеними у п. 2.1, визначити координати точки, яка ділить розглядувану функцію на дві характерні ділянки.

2.2.2 На основі використання заданої у п. 2.2.1 функції побудувати графічну залежність $x_c = f(\beta)$. Для цього слід зробити наступне:

- задатися діапазонами зміни постійної β і абсциси x . Величину коефіцієнта α прийняти при цьому постійною;
- використовуючи залежність $y = \frac{\alpha x}{1 - \beta x^2}$, для кожної значини коефіцієнта β визначити значину функції y і абсцису точки (x_c), яка ділить вказану функцію на характерні ділянки;
- за отриманими даними побудувати графік залежності $x_c = f(\beta)$.

2.3. Структура звіту з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи має відображати порядок виконання вищевикладених пунктів 2.2.1 і 2.2.2. Крім того, кожен студент має привести письмовий аналіз отриманої ним залежності $x_c = f(\beta)$.

2.4. Контрольні запитання

- 2.4.1 Яку графічну інтерпретацію має оптимум того чи іншого процесу?
- 2.4.2 Які криві пропонується називати **двозонними**?
- 2.4.2 Чому для розрахунку координат точок, які ділять двозонні криві на дві ділянки, не можна користуватися похідними?
- 2.4.3 У чому полягає суть методики визначення координат точки процесу, який описується двозонною кривою?

Навчальне видання

**Надикто Володимир Трохимович
Чорна Тетяна Сергіївна**

Методологія наукових досліджень

посібник-практикум для виконання практичних робіт

Надруковано з оригіналів макетів замовника.
Підписано до друку _____ р. формат 60×84 1/16.
Папір офсетний. Наклад 50 примірників.
Замовлення № _____

**Виготовлювач: ПП Верескун В.М.
Видавничо-поліграфічний центр «Люкс».
м. Мелітополь, вул. М. Грушевського, 10 тел.(0619)44-45-11.**

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виробників
і розповсюджувачів видавничої продукції
від 11.06.2002 р. серія ДК №1125