

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

**Науковий вісник**  
Таврійського державного агротехнологічного університету



*Випуск 13, том 2*

Електронне наукове фахове видання

Запоріжжя – 2023 р.

**УДК 60/68(08)**

**T 13**

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету:  
електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М.  
Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. – Вип. 13, том 2. – 424 с.

**ISSN 2220-8674**

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,  
Протокол № 10 від 21 квітня 2023 р.

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, AGRIS, НБУ ім. В. І. Вернадського.

**Редакційна колегія:**

**Головний редактор**

Кюрчев В. М. чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Заступник головного редактора**

Надикто В. Т. – чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. – д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Волошина А. А. – д.т.н., проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Погорельцева Д. О. (Україна)

Євлаш В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Журавель Д. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Кувачов В. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Кузнецов М. П. – д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кюрчев С. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисенко В. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисенко О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисиченко М. Л. – д.т.н., проф. (Україна)

Ломейко О. П. – к.т.н., доц. (Україна)

Лубко Д. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Малкіна В. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Мацулевич О. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Мірошник О. О. – д.т.н., професор (Україна)

Паламарчук І. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Пріс О. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Самойчук К. О. – д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. – д.т.н., проф. (Україна)

Сидоренко О. С. – к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. – к.т.н., проф. (Україна)

Скляр Р. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Тітова О. А. – д.пед.н., проф. (Україна)

Холодняк Ю. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Шоман О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Ялпачик В. Ф. – д.т.н., проф. (Україна)

Beloev Hristo – Dr., professor (Bulgaria)

Ivanovs Semjons – PhD (Latvia)

Olt Jüri – PhD, professor (Eesti)

Pascuzzi Simone – Associate Professor (Italia)

Pavol Findura – PhD, professor (Slovakia)

Szafraniec Andrzej – Dr., professor (Poland)

Qawaqzeh Mohamed – PhD (Jordan)

Вершков О. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Гавриленко Є. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Галько С. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Гнатушенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Дідур В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний за випуск - к.т.н., професор Скляр О. Г.**

**Адреса редакції ТДАТУ:**

*Юридична:*

пр. Б. Хмельницького 18,  
м. Мелітополь, Запорізька обл.  
72312 Україна

*Фактична:*

вул. Жуковського, 66,  
м. Запоріжжя, Запорізька обл.  
69600, Україна



## ЗМІСТ ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Журавель Д. П., Бондар А. М., Дашивець Г. І.</i>	1
Обґрунтування діагностичних параметрів рульового керування транспортного засобу під час технічного обслуговування	
<i>Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П.</i>	2
Методика розробки експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока	
<i>Сушко С. Л., Чижиков І. О.</i>	3
Використання методології фітомоніторингу як засобу управління вегетаційними поливами кісточкових плодкових культур	
<i>Курка В. П., Ліннік А. Ю., Кирик О. М.</i>	4
Експериментальні дослідження показників роботи очисника голівок коренеплодів вертикально роторного типу	
<i>Кепко О. І.</i>	5
Методика розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць	
<i>Дідур В. В., Петриченко Є. А., Леценко І. А.</i>	6
Реологічні властивості мезги насіння сафлора та їх вплив на процес віджиму олії в гвинтовому пресі	
<i>Фучаджи Н. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Червоткіна О. О.</i>	7
Напрямки вдосконалення конструкцій сучасних обрушувальних машин	
<i>Алфьоров О. І., Савченко В. Б., Свіргун О. А.</i>	8
Оцінювання показників надійності на основі результатів випробувань на стендах та в експлуатації	
<i>Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С.</i>	9
Огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації відходів тваринництва	
<i>Погорілий С. П., Присяжний В. Г., Мірний В. Ю.</i>	10
Обґрунтування параметрів навісного пристрою мобільного енергетичного засобу типу “автотрактор” тягового класу 1,4	
<i>Л. В. Фіалковська</i>	11



## Очищення повітря у закладах ресторанного господарства

*Deynichenko G., Dmytrevskiy D., Guzenko V., Omelchenko O., Perekrest V.* 12

Prospects of using equipment for membrane separation of food liquids

*Самойчук К. О., Ковальов О. О., Червоткіна О. О.* 13

Порівняння енергоефективності струминних гомогенізаторів молока з роздільною подачею вершків

*Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Матвійшин П. В.* 14

Аналіз методів отримання гранул і засобів для їх реалізації

*Лещенко І. А., Шокарев О. М., В'юник О. В.* 15

Аналіз існуючих математичних моделей процесу пресування

*Тетервак І. Р.* 16

Проблема наявності патогенів у компості

### ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

*Василишина О. В.* 17

Економічна ефективність заморожування плодів вишні попередньо оброблених альгінатом натрію

*Антоненко А. В., Бровенко Т. В., Криворучко М. Ю., Толок Г. А., Василенко О. В., Ряднина Ю. О.* 18

Технологія лаваша з використанням борошна з кіноа

*Бандура І. І., Ткаченко А. Г.* 19

Оцінка морфологічних особливостей плодових тіл їстівних грибів *lentinula edodes* та *calocybe indica* як об'єктів зберігання

*Янковський Р. В., Степанова Т. М.* 20

Актуальні засади технології снекової продукції функціонального спрямування

*Савченко-Перерва М. Ю., Сабадаш С. М., Кошель О. Ю.* 21

Підвищення показників якості січених виробів із птиці, збагачених на культивовану грибну сировину з використанням сушильного обладнання



- Новікова Н. В., Шумілова К. С.* 22  
Розробка функціонального субпродуктового паштету
- Новікова Н. В., Ангелуша А. В.* 23  
Оптимізація технології кондитерських виробів з підвищеним вмістом білків
- Дубчак Н. А.* 24  
Експериментальні дослідження та агробіологічні характеристики коренеплодів
- Мамай О. І., Кузьміна Т. О., Яковенко Т. О., Стоянова О. В.,  
Зубкова К. В.* 25  
Технологія переробки вторинної сировини виноробства
- Болгова Н. В., Тараненко Н. В.* 26  
Аналіз використання борошна кіноа сорту квартет в технології виробів макаронних
- Дубчак Н. А., Кирик О. М.* 27  
Застосування біотехнології у сільськогосподарському виробництві
- Самілик М. М., Цирулик Р. В., Вороненко Н. І.* 28  
Застосування морквяних порошків для збагачення молочних продуктів
- Ряполова І. О., Назаренко А. А.* 29  
Оцінка небезпечних чинників при переробці забійних тварин
- Сукманов В. О., Супрун А. В.* 30  
Технологія отримання пшеничного хліба з екстрактом лушпиння цибулі та оцінка його споживчих властивостей
- Сукманов В. О., Мулько І. С.* 31  
Обґрунтування вибору білкової рослинної сировини для розробки сирного продукту
- Fedorov V., Kepko O., Kepko V., A. Berezovskyi, O. Trus, Prokopenko E.,  
Zhurilo S.* 32  
Study of technological and commercial indicators of oriental types of flatbread during backing in a tandoor



## ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Попова І. О., Чаусов С. В.* 33  
Побудова розрахункової схеми транзисторного негatronу аналога лямбда-діода на польових транзисторах
- Радчук О. В., Савченко-Перерва М. Ю.* 34  
Автоматизована система керування апаратами для екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною
- Постол Ю. О., Гулевський В. Б., Власой І. Д.* 35  
Енергетичне трансформування України – інтегрована реалізація державної політики
- Галько С. В., Трунова І. М., Мірошник О. О.* 36  
Розробка системи енергозабезпечення домогосподарств на основі малопотужного вітроелектрогенератора
- Трунова І. М., Мірошник О. О., Галько С. В.* 37  
Дослідження енергоефективності систем мікроклімату тваринницьких приміщень з використанням комп'ютерних технологій
- Юрченко О. Ю., Лівенко Т. І., Матвєєв О. М., Беркут Р. Є., Бугайов В. Г.* 38  
Технологія ремонту електродвигунів різного призначення
- Сердюк В. В., Руденко В. А., Соларьов О. О., Саржанов О. А., Саєнко А. В.* 39  
Енергозбереження при подрібненні зерна

## КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Азархов О. Ю., Сілі І. І., Єфременко Б. В.* 40  
Електронна системи виміру деформацій пілону протезних систем
- Лубко Д. В.* 41  
Використання програмного середовища sap erp для створення моделі управління роботою ремонтно-механічних цехів на підприємствах



*Антоненко А. В., Сорочинський О. О.*

42

Моделювання приватного мережево-серверного середовища з використанням технології OpenNebula





DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-9

УДК 631.95:338.27

О. Г. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

А. С. Комар, інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного*

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: 067-916-85-80

## ОГЛЯД МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАШИННИХ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА

*Анотація.* В статті наведено огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації відходів тваринництва, а саме гною та посліду. Розглянуті переваги прийняття оптимальних рішень із використанням ПЕОМ, статистичні моделі у вигляді одновимірних та багатовимірних рівнянь регресії та динамічні системи, методи лінійного та нелінійного програмування у дослідженнях з механізації процесів сільськогосподарського виробництва. Однією з основних задач під час проведення досліджень із механізації процесів сільськогосподарського виробництва є отримання достовірних статистичних моделей, їх дослідження та оптимізація стосовно конкретних критеріїв або умов виробництва. Особливу увагу приділено використанню методу Парето-оптимізації для порівняльної оцінки технологічних процесів видалення, переробки та використання підстилкового гною в біологічно активні добрива.

*Ключові слова:* методи дослідження, оптимізація, утилізація, гній, послід, математичні моделі, технологія, технологічний процес.

*Постановка проблеми.* Залежно від характеру вивчення технологічних процесів застосовують різні математичні методи дослідження. Наявність великої кількості технологій та технічних засобів, призначених для утилізації гною та посліду, а також різних можливостей сільськогосподарських підприємств призвели до необхідності розробки методів проектування раціональних, найбільш ефективних та адаптованих для заданих умов технологій.

*Аналіз останніх досліджень.* Питаннями прийняття рішень на основі математичних моделей присвячена численна література, зокрема роботи вчених А. Г. Аганбегяна, А. М. Бондаренко,





Є. С. Вентцель, А. М. Валге, Л. В. Канторовича, Н. М. Моїсеєва, В. Д. Попова, Г. С. Поспелова, П. М. Павленко, А. В. Спесівцева, Н. П. Федоренко, Д. Б. Юдіна та ін. [1-3].

Незважаючи на спільність розв'язуваної задачі, розроблені математичні моделі оптимізації складу, структури та використання засобів технічної оснащеності сільського господарства мають низку суттєвих відмінностей.

Усі математичні моделі можна умовно розділити на аналітичні та статистичні. У першому випадку основні кількісні показники процесів (технологічних операцій) пов'язуються аналітичними залежностями. Система цих рівнянь і є аналітичною моделлю. Під час розробки статистичних моделей (імітаційні моделі, модель Монте-Карло) виходять із того, що виробничим діям природньо властивий елемент випадковості, що вони не є детермінованими, а підпорядковуються законам розподілу випадкових величин (статистичні моделі дозволяють досліджувати систему будь-якого типу). Можливість урахування нелінійності, динаміки, імовірнісної природи деяких явищ дозволяє зробити статистичну модель адекватної дійсності і, досліджуючи її, здійснювати так званий натурний експеримент у прискореному масштабі часу [4-6].

*Формулювання мети статті.* Огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації гною та посліду.

*Основна частина.* Для прийняття рішень застосовують неформалізовані та формалізовані методи. При неформалізованих методах людина приймає рішення взагалі без жодних обґрунтувань, керуючись так званим здоровим глуздом, досвідом чи інтуїцією.

Ухвалення формалізованих рішень – це творчість, такі рішення приймаються за чіткими рекомендаціями. Ці рішення приймаються на основі двох основних методів: логічне моделювання та оптимізації.

При логічному моделюванні використовуються так звані правила, які становлять висококваліфіковані фахівці, а застосовують правила користувачі, які ухвалюють рішення [7,8]. Правила визначають, що треба робити у тих чи інших випадках. Такі правила є гарною підказкою під час прийняття рішень виконавцями нижчої кваліфікації.

Прийняття оптимальних рішень із використанням ПЕОМ має дві суттєві переваги [9,10]: дає швидко відповідь на поставлене питання та надає можливість широкого експериментування, здійснити яке на реальному об'єкті часто просто неможливо.

Статистичні моделі у вигляді одновимірних та багатовимірних рівнянь регресії знайшли широке застосування при дослідженнях та оптимізації параметрів сільськогосподарських машин та агрегатів, а також сільськогосподарських технологічних процесів [11-13]. Однак класичний регресійний аналіз без урахування особливостей



сільськогосподарських процесів призводить до похибок моделей і навіть їх нестійкості, що унеможливорює їх подальше використання.

У загальному вигляді рівняння регресії має вигляд, поданий формулою [7]

$$y = a_0 + \sum_{ii=1}^n a_{ii} x_{ii} \quad (1)$$

Завдання ідентифікації статистичної моделі полягає в тому, щоб отриманим у процесі пасивного чи активного експерименту даним отримати достовірні значення коефіцієнтів  $a_i$ . Для вирішення цього завдання Гаусом запропоновано алгоритм, який отримав назву методу найменших квадратів.

Основою методу становить мінімізація суми квадратів відхилень експериментальних та розрахункових значень функції, яку подано формулою [1]

$$s = \sum_{ii=1}^n (y_{jj} - \hat{y}_{jj})^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $y_{jj}$  - експериментальні значення;

$\hat{y}_{jj}$  - розрахункові значення, отримані за рівнянням регресії формули (1).

Статистична значимість коефіцієнтів визначається за t-критерієм Ст'юдента, поданого формулою [5]

$$t_{ii} = \frac{\hat{\beta}_{ii}}{\sigma_{\beta_{ii}}} \geq t_{\text{табл}}(v, P), \quad (3)$$

де  $t_{ii}$  - розрахункове значення критерію;

$\sigma_{\beta_{ii}}$  - помилка визначення коефіцієнта  $a_i$ ;

$t_{\text{табл}}(v, P)$  - табличне значення критерію для ступенів свободи та довірчої ймовірності  $P$ .

Якщо дотримується співвідношення, то коефіцієнти значимі лише на рівні довірчої ймовірності  $P$ .

Значимість, адекватність всього рівняння регресії оцінюється за  $F$  - критерієм Фішера, представленого формулою [1]

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sigma_{\text{ад}}^2}{\sigma_y^2} \leq F_{\text{табл}}(v_1, v_2, P) \quad (4)$$

де  $\sigma_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{ii=1}^n (y_{ii} - \hat{y}_{ii})^2$ ,

$F_{\text{табл}}$  - табличне значення рівняння Фішера для ступенів свободи та рівня ймовірності  $P$ ;



$N$  – кількість точок спостережень;  
 $m$  – кількість коефіцієнтів рівняння регресії;  
 $u_{ii}$  - розраховані за рівнянням регресії точки.

Математична модель значуща, якщо дотримується нерівність (4) [1,3,5].

Найбільшого поширення набули вирішення задач, які реалізуються методами лінійного програмування через їх простоту та універсальність.

Лінійними називаються такі залежності, в яких змінні формалізуються лише в першому ступені та відсутня математична операція добутку змінних [1].

При використанні методів лінійного програмування поставлена задача описується системою лінійних рівнянь. Найбільш поширений метод розв'язання задач лінійного програмування – симплексний або метод послідовного покращення плану. Цей метод дозволяє знайти рішення будь-якої задачі лінійного програмування, зробивши обмежену кількість кроків (ітерацій), кожен з яких є алгебраїчним перетворенням, виробленим за встановленими правилами.

Для вирішення задач лінійного програмування використовують також методи диференціальних рента та метод потенціалів.

При розподілі технічних засобів за видами робіт можна використовувати економіко-математичну модель транспортної задачі [1,5,12].

Задачі, в яких математичні моделі містять змінні не в першому ступені або є добуток змінних, вирішують методами нелінійного програмування [5]. Серед них найбільш розроблено квадратичне програмування. Цей метод застосовується під час вирішення планово-економічних завдань максимум (мінімум) квадратичної функції при лінійних обмеженнях.

Окремим різновидом математичних методів є динамічне програмування. Його використовують під час вирішення завдань, у яких аналізовані змінні (задані певні величини) розглядаються у поступовій динаміці, а вирішення їх визначається залежно від зміни цільової функції у часі [1,3,5].

Питання аналізу динамічних систем у дослідженнях з механізації процесів сільськогосподарського виробництва займають значне місце. До динамічних систем відносяться всі механічні системи, що рухаються, технології та технічні засоби, що розвиваються в просторі обмеженого часового інтервалу та в межах координат показників, системи автоматичного управління тепло-вологісними режимами в теплицях та тваринницьких приміщеннях тощо [8,14].



Як основна модель для вищевказаних систем використовуються системи диференціальних рівнянь (лінійних і нелінійних), які у загальному вигляді надаються формулою

$$\dot{x} = F(A, x, y, t), \quad (5)$$

де  $\dot{x}$  – вектор похідних першого порядку;

$x, y, t$  – вектори аргументів рівнянь системи;

$A$  – невідомі коефіцієнти моделі.

Рівняння у приватних похідних, якими описуються тепловологові поля та інші процеси сільськогосподарського виробництва, як правило, різними методами [5,7] приводяться до виду (5).

Питанням ідентифікації динамічних систем присвячено достатньо велика кількість робіт [1-3]. Задача оптимізації складу, структури та використання засобів технічної оснащеності сільського господарства може бути вирішена з використанням мережної моделі, що є різновидом логічної моделі [11,12].

Однією з основних задач під час проведення досліджень із механізації процесів сільськогосподарського виробництва є отримання достовірних статистичних моделей (вирішення задачі ідентифікації), їх дослідження та оптимізація стосовно конкретних критеріїв або умов виробництва. Для вирішення задачі ідентифікації стосовно динамічних систем використовують різні евристичні методи, проте універсального математичного апарату, подібного до методу найменших квадратів, досі не розроблено. При практичних розрахунках використовуються різні алгоритми та методи, що мають суттєві відмінності, але всі ці завдання мають загальну властивість – вони відносяться до класу пошукових завдань, наприклад пошуку кінцевої кількості змінних у заданому користувачем гіперпросторі. Для порівняння методів та аналізу їх можливостей були виконані роботи з ідентифікації різноманітними методами еталонної моделі. В результаті порівняльного аналізу були розроблені рекомендації для рішення таких задач.

Для порівняльного аналізу методів ідентифікації було використано такі алгоритми [5,7,8-10]:

- регресійного аналізу;
- нелінійного програмування;
- подвійного інтегрування та розкладання вхідних та вихідних обурень у ряд Фур'є.

При використанні регресійного аналізу було виявлено, що точність розрахунку значною мірою залежить від точності вихідних даних. За таких умов модель недостатня стійка. Щодо процесів сільськогосподарського виробництва цей метод може бути

використаний при ідентифікації досить повільних процесів зі слабкою післядією.

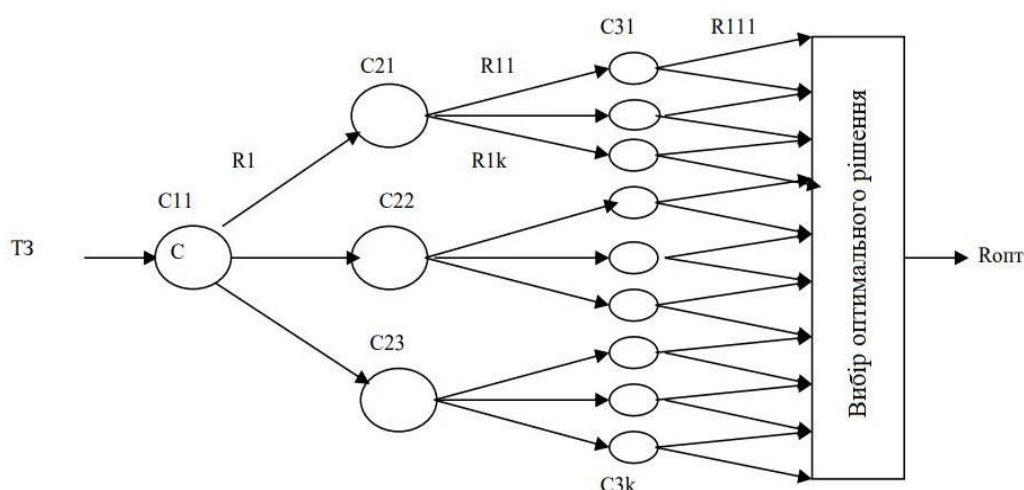
Процес оптимізації шляхом застосування алгоритму ідентифікації методом нелінійного програмування не залежить від початкових умов. Практично розрахунок можна розпочинати з нульових початкових умов. Процес ідентифікації є дуже стійким.

Оптимізація процесів у сільськогосподарському виробництві шляхом застосування алгоритму ідентифікації методом інтегрування диференціального рівняння та розкладання вхідних і вихідних обурень у ряд Фур'є на конкретному прикладі дозволила досягти результатів, досить близьких до дійсних значень, проте їхня похибка більша, ніж при використанні методу нелінійного програмування [5,7].

У сільськогосподарському виробництві велика увага приділяється прийняттю оптимальних варіантів [9-12], від маршрутних карт до технологічних ліній, від оптимізації технічних засобів під умови та умов під технічні засоби до оптимізації технологій тощо, за допомогою яких стає можливим керувати виробничим процесом.

М.М. Капустін [1] у машинобудуванні запропонував системно-структурні моделі автоматизованого проєктування технологічних процесів.

Процес проєктування на кожному рівні є багатоваріантною процедурою. В результаті проєктування на всіх стадіях утворюється дерево допустимих варіантів технологічного процесу (ТП), які відповідають заданим технічним обмеженням. Модель багаторівневого ТП із вибором оптимального рішення на останньому рівні представлено на рисунку 1.



ТЗ – технічне завдання; С – синтез проєктних рішень; R – варіанти рішень.

Рисунок 1. Модель багаторівневого ТП з вибором оптимального рішення на останньому рівні.



Вершинам дерева відповідають операції синтезу проєктних рішень  $S$ , а дугам - одержані варіанти цих рішень  $R$ . Дуги дерева останнього рівня характеризують проєктні варіанти заданого ступеня деталізації.

Загалом процес багаторівневого проєктування можна подати у вигляді послідовності перетворень різних рівнів та процедури відбору  $Q$  оптимального варіанта за заданим критерієм на останньому рівні.

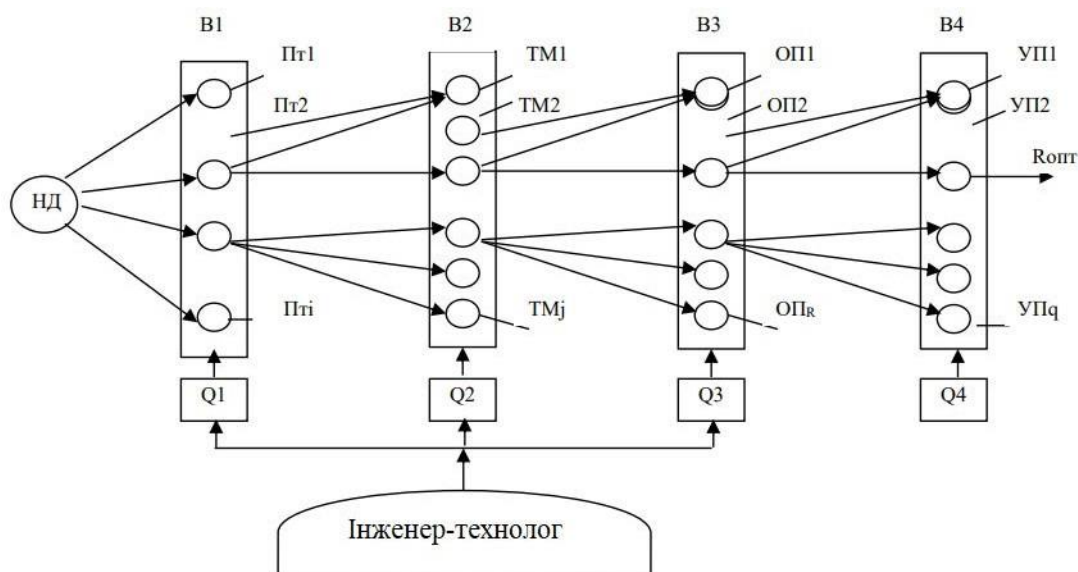
Розглянута модель процесу проєктування характеризується низькою ефективністю. Щоб вибрати один раціональний варіант, необхідно до кінця спроектувати дуже велику кількість допустимих технічних обмежень варіантів. Ефективність процесу можна різко підвищити, якщо організувати вибір раціональних варіантів проєктних рішень на кожному рівні. При цьому виникає проблема формування критеріїв проміжного відбору  $Q_1, Q_2, \dots, Q_R$  найбільш раціональних варіантів на різних рівнях [1,5].

Зважаючи на різний ступінь деталізації проєктних рішень на всіх рівнях крім останнього, не може існувати точного критерію оцінки та відбору проєктних рішень. Так, на першому рівні неможливо сформулювати критерій, що дозволяє вибрати один оптимальний варіант принципової схеми технологічного процесу. Це пов'язано з тим, що уявлення про проєктований процес тут має суто принциповий характер і на наступних рівнях деталізується та уточнюється. Тому на всіх рівнях проєктування, крім останнього, критерії оцінки проєктних рішень носять тією чи іншою мірою евристичний характер. Вони отримані на основі досвіду вирішення аналогічних задач.

У зв'язку з евристичним характером критерію відбору найбільш раціональних рішень, функціонування багаторівневих систем автоматизованого проєктування здійснюється так, що на кожному проміжному рівні проєктування відбирається не єдиний найкращий варіант, а дещо найбільш близький до нього [2,3,7]. На останній стадії вибирається один остаточний варіант, що має найбільше чи найменше проти інших значення комплексного критерію якості. Модель багаторівневого процесу технологічного проєктування з ступінчатими відборами рішень на кожному рівні представлено на рисунку 2.

Модель багаторівневого процесу технологічного проєктування з ступінчатими відборами рішень на кожному рівні характеризується високою ефективністю, тому що користувач на кожному етапі проєктування має можливість відібрати кілька варіантів найближчих до найкращого варіанту. На останній стадії проєктування вибирається один остаточний варіант, який, на думку користувача, виходячи з його кваліфікації та компетентності, відповідає критерію якості [5].





НД - початкові дані на проектування технологій; П<sub>тi</sub> – варіанти технологій; ТМ<sub>j</sub> - варіанти виконання технологічних операцій; ОП<sub>R</sub> – варіанти технічних засобів виконання операції; УП<sub>q</sub> – результати одержаних технологій; B1-B4 - блоки відбору найбільш раціональних рішень за критеріями Q1-Q4; R<sub>опт</sub> – аналіз варіантів із вибором оптимального рішення.

Рисунок 2. Модель багаторівневого процесу технологічного проектування з ступінчатими відборами рішень на кожному рівні.

В роботі Афанасьєва А.В. розроблено комплекс комп'ютерних програм, побудованих у системі програмі Microsoft Excel, які забезпечують розрахунок технологічних процесів видалення, переробки та використання підстилкового гною в біологічно активні добрива [1, 16-18].

Для порівняльної оцінки технологій використовують методи Парето-оптимізації [1,5,7]. Цей метод ґрунтується на аналізі кількох можливих рішень однієї й тієї ж задачі (дослідження різних варіантів). Для вибору раціональної технології серед конкуруючих використовують методи прийняття рішень [8]. Розраховуються з допомогою ПЕОМ кілька варіантів технології, з яких надалі необхідно вибрати раціональний варіант, придатний до використання на практиці.

Визначення ефективності застосування обраної технології за допомогою методу Парето-оптимізації можна здійснити за одним або кількома критеріями одночасно.

Цей клас завдань може бути записано у вигляді наступної оптимізаційної задачі за формулами

$$QQ(Xx) \rightarrow \min, \quad QQ(Xx) \rightarrow \max, \quad (7)$$

$x \in S \qquad \qquad \qquad x \in S$





де  $Q(X)$  – скалярна функція, критерій оптимізації;  
 $S$  – множина допустимих станів  $X$ .

Інші критерії в цьому випадку використовуються як обмеження.

На практиці частіше виникають задачі одночасної оптимізації за кількома критеріями. Одночасний облік безлічі критеріїв можливий в задачах багатокритеріальної оптимізації, в яких критерій оптимізації  $K_m(X)$  є не скаляром, а вектором, як зазначено у формулі [1,8]

$$K_m(X) = [K_1(X), K_2(X) \dots K_n(X)]. \quad (8)$$

Задача зводиться до одночасного пошуку екстремуму за  $K$  критеріями, який представлено формулою

$$K_{ii}(X) \rightarrow \text{extr} \quad (i = 1 \dots n). \quad (9)$$

$x \in S$

Вирішення цієї задачі можливе при одночасному визначенні стану  $\{X^*\}$ . У цьому задачі багатокритеріальної оптимізації записується як послідовність за формулою

$$K_{ii}\{X^*\} < K_{ii}(X) \quad (i = 1 \dots n). \quad (10)$$

$x \in S$

При цьому значення  $X_1$  є строго кращим, ніж стан  $X_2$  якщо  $K(X_1) < K(X_2)$  [1].

Багатокритеріальна оптимізаційна задача може так само вирішуватися з обґрунтуванням одного комплексного критерію ефективності  $E_k$ , який є лінійною комбінацією одиничних критеріїв  $E_j$ , представлену формулою [7]

$$E_k = \sum_{j=1}^n \lambda_j E_j \rightarrow \max, \quad (11)$$

де  $n$  - число врахованих критеріїв;  
 $\lambda$  - вагова характеристика критерію.

Даний метод має певні труднощі у знаходженні вагової характеристики критерію та приведення критеріїв оцінки до єдиної розмірності.

Вище викладеного недоліку позбавлений метод багатокритеріального аналізу оцінки варіантів технологій [1,2,8]. Цей метод пов'язаний із безпосереднім розподілом прийнятих критеріїв оптимізації  $y_1, y_2, \dots, y_n$  для кожного допустимого варіанту та



відкиданням безперспективних. Чим більше критеріїв введено, тим повніше уявлення про об'єкт. Порівняння між собою будь-яких двох варіантів рішень дозволяє визначити, чи перевищують критерії оптимізації одного варіанта відповідні показники іншого варіанту. Якщо відповідь ствердна, то варіант з кращими критеріями може розглядатися як домінуючий.

Особливість багатокритеріальної оптимізації за Парето полягає в ефективній попередньої оцінки варіантів з різними значеннями критеріїв. В результаті порівняння відбувається ранжування технологій за ступеня ефективності. Після першої ітерації визначається перший оптимальний варіант. Для визначення другого за оптимальністю варіанта виконується попарне порівняння варіантів, що залишилися ( $n-1$ ). Розрахунки виконуються до того часу, поки все  $n$  варіанти не будуть ранжирувані по ефективності.

*Висновки.* Аналіз сукупності технологічних процесів утилізації гною (посліду) та взаємозв'язків із впливовими факторами, обумовлює значну апріорну невизначеність умов. Різноманітність цілей та засобів вирішення завдань визначають необхідність залучення додаткової інформації міждисциплінарного характеру, особливо теорії перебігу біохімічних процесів. У зв'язку з цим в даний час формується тенденція до інтелектуалізації процесів прогнозування стану об'єкта, що вивчається, або явища на основі реалізації теоретичних положень, практичних розробок інформатики та штучного інтелекту в просторі вирішення поставлених завдань.

Список використаних джерел.

1. Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. Київ: НАУ, 2017. 392 с.
2. Трибрат Р. О. Моделювання технологічних процесів у тваринництві: метод. рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Миколаїв: МНАУ, 2016. 47 с.
3. Uvarov R., Briukhanov A., Shalavina E. Study results of mass and nutrient loss in technologies of different composting rate: case of bedding poultry manure. *Engineering for rural development Proceedings*. 2016. С. 851–857
4. Wiegers K. E. *Software Requirements*. 2-nd edition. Redmond: Microsoft Press, 2008. 516 p.
5. Томашевський В. М. Моделювання систем: підруч. для студ. ВНЗ / за заг. ред. М. З. Згуровського. Київ: Видавнича група ВНЗ, 2008. 352 с.



6. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Bilbao, Spain 2020. P. 431–433.
7. Кігель В. Р. Математичні методи ринкової економіки. Київ: Кондор, 2008. 212 с.
8. Скляр Р. В. Основні принципи побудови та аналіз математичних моделей технологічних процесів. *Молодь і технічний прогрес в АПК: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків, 2021. С. 263–266.
9. Григоренко С. М. Моделювання та оптимізація річного обороту стада великої рогатої худоби. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 2. 13 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-13>.
10. Болтянський Б. В. Моделювання та оптимізація раціону годування дійних корів у зимовий період. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. 5 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-1-5>.
11. Скляр Р. В. Доцільність використання економіко-математичних моделей в сільському господарстві. *Інноваційні технології в АПК: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 122–124.
12. Болтянський Б. В. Модель функціонування бази технічного сервісу обладнання тваринницьких підприємств. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 3. 12 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-1-12>.
13. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський та ін. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
14. Boltianskyi B., Boltianska L., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of operation of a mobile straw spreading unit with a rotating finger body-experimental research. *Processes*. 2021. Vol. 9(7). No 1144.
15. Shokarev O., Komar A. State and problems of implementation of innovations in the field of animal husbandry. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 2. 5 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-2-5>.
16. Jakubowski T. Analysis of waste processing technologies by composting method. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 118–122.
17. Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. Current issues of science and education. *Abstracts of XIV*



*International Scientific and Practical Conference*. Roma, 2021. P. 171–176.

18. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16. No 2. P. 183–188.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

**O. Skliar, R. Skliar, A. Komar**  
**Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

## **OVERVIEW OF METHODS OF RESEARCH AND OPTIMIZATION OF MACHINE TECHNOLOGIES OF ANIMAL WASTE DISPOSAL**

### *Summary*

The article provides an overview of the methods of research and optimization of machine technologies for the disposal of livestock waste, namely manure and droppings. The advantages of optimal decision-making using personal computers, statistical models in the form of unidimensional and multidimensional regression equations and dynamic systems, linear and non-linear programming methods in research on the mechanization of agricultural production processes are considered. One of the main tasks during research on the mechanization of agricultural production processes is obtaining reliable statistical models (solving the problem of identification), their research and optimization in relation to specific criteria or conditions of production. It is shown that the model of the multi-level process of technological design with stepwise selection of solutions at each level is characterized by high efficiency, because the user at each stage of design has the opportunity to select several options closest to the best option. Special attention is paid to the use of the Pareto-optimization method for comparative evaluation of technological processes of removal, processing and use of litter manure into biologically active fertilizers. The peculiarity of multi-criteria Pareto optimization consists in the effective preliminary assessment of options with different criteria values, as a result of such a comparison, technologies are ranked by degree of efficiency. The analysis of the totality of technological processes of manure (excrement) utilization and relationships with influential factors determines significant a priori uncertainty of conditions. The variety of goals and means of solving tasks determine the need to involve additional information of an interdisciplinary nature, especially the theory of the course of biochemical processes. In this regard, there is currently a tendency to intellectualize the processes of forecasting the state of the object being studied or the phenomenon based on the implementation of theoretical provisions, practical developments in informatics and artificial intelligence in the space of solving the tasks.

**Key words:** research methods, optimization, utilization, manure, litter, mathematical models, technology, technological process.

Електронне наукове фахове видання

**Науковий вісник**  
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 13, том 2.

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Комп'ютерна верстка: Комар А. С.

Підписано до друку 22 квітня 2023 р.  
Друкарня ТДАТУ  
20,38 умов. друк. арк.