

МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГНОСТИЧНО-КОМПЕНСАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІННИХ НОРМ ВНЕСЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ УТОЧНЕНИХ ДАНИХ ҐРУНТУ

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

Анотація. У статті наведена прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту, що дозволяє на основі даних моніторингу параметрів стану сільськогосподарських угідь, отриманих від системи моніторингу, оцінити стан сільськогосподарських угідь та прийняти стратегію управління агробіологічним потенціалом поля.

Ключові слова: моніторинг, точне землеробство, прогностично-компенсаційна технологія.

Аннотация. В статье приведена прогностическо-компенсационная технология переменных норм внесения технологического материала на основе уточненных данных ґрунта, что позволяет на основе данных мониторинга параметров состояния сельскохозяйственных угодий, полученных от системы мониторинга, оценить состояние сельскохозяйственных угодий и принять стратегию управления агробиологическим потенциалом поля.

Ключевые слова: мониторинг, точное земледелие, прогностическо-компенсационная технология.

Abstract. The paper regards prognostic-compensating technology of variable standards including technological material based on revised estimates of the soil, that allows following data of monitoring of state parameters of agriculturally used areas obtained from the monitoring system to evaluate the state of agriculturally used areas and accept the management strategy by agrobiological field potential.

Keywords: monitoring, precision agriculture, prognostic-compensating technology.

1. Вступ. Постановка проблеми

Отримання оперативної інформації про стан об'єкта в умовах сільськогосподарського виробництва є дуже важливим, оскільки володіння такою інформацією дає можливість оперативно прийняти управлінські рішення щодо ефективності виконання технологічних операцій в умовах невизначеності та швидкоплинності величини відповідних параметрів.

Для реалізації такої схеми необхідно розробити математичний апарат для реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу. Дана технологія з урахуванням специфіки стану ґрунтового середовища дає можливість оперативно вибрати стратегію управління агробіологічним станом сільськогосподарських угідь, спрямовану на виробництво органічної продукції рослинництва, зменшення питомих енергетичних витрат, отримання максимального прибутку, отримання максимальної урожайності тощо.

Очевидно, що важливою складовою даної технології є математичний апарат, який з урахуванням вхідної інформації дасть можливість отримати вихідні дані для ефективного керування станом сільськогосподарських угідь.

Мета дослідження – побудова ефективної моделі обробки результатів досліджень варіабельності стану сільськогосподарських угідь, отриманих від систем моніторингу за допомогою кластерної моделі для реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для реалізації поставленої мети на основі аналізу літературних результатів [1–10] і досліджень визначено існуючі методи і технічні засоби моніторингу стану сільськогосподарських угідь, які визначають якість виконання технологічних процесів у сучасних технологіях рослинництва, встановлено комплекси те-

хнічних засобів оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь для ціленаправленої дії на ґрунтове середовище робочих органів сучасних сільськогосподарських машин (рис. 1).

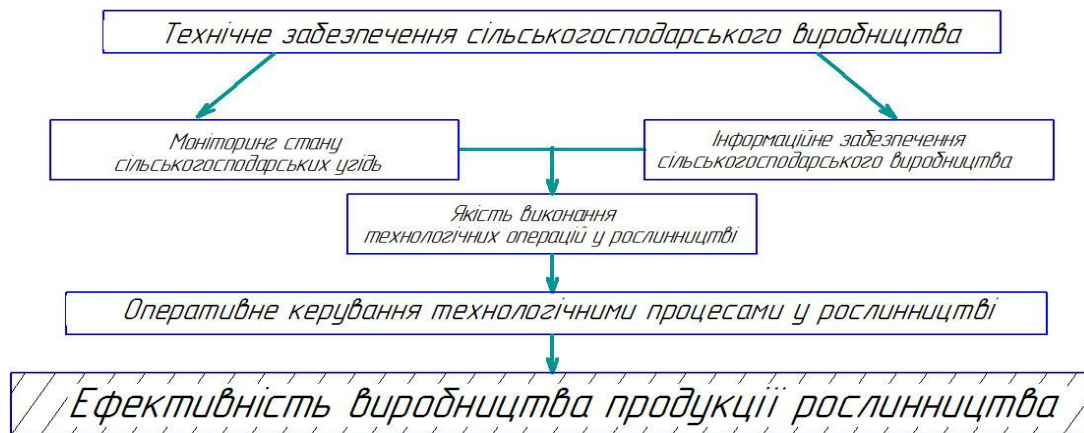


Рис. 1. Вплив на ефективність виробництва продукції рослинництва шляхом забезпечення належної якості виконання технологічної операції

Таким чином, необхідна ефективність виробництва продукції рослинництва основних технологічних процесів у рослинництві (рис. 1) забезпечується за рахунок інтегрованого інформаційного забезпечення системи та моніторингу стану сільськогосподарських угідь, що дає можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій у рослинництві шляхом оперативного керування технологічними процесами у рослинництві.

Важливою задачею сучасного землеробства є оцінка різних алгоритмів для зображення зон управління. Відчутною стала потреба у більш сучасних моделях для оцінки даних моніторингу варіабельності параметрів стану ґрунтового покриву, оскільки інформація – ключовий елемент процесу прийняття рішення, а кількість різнохарактерної та різного ступеня складної інформації, яку продукують нові технології моніторингу, постійно зростає. Однією із важливих задач, що виникає у зв'язку зі створенням сучасної інформаційної системи, є автоматизація процесу оцінки даних моніторингу варіабельності параметрів стану сільськогосподарських угідь (образів).

Навіть якщо є загальноприйнятий метод для окреслення зон, то необхідно розробляти методи для окреслення зон.

Причому потрібен не статичний фактаж, в якій пропорції знаходяться між собою згадані параметри, а саме динамічні моделі взаємозв'язку в межах конкретного поля, тобто мова йде про необхідність розробки глобальної моделі виробництва сільськогосподарської продукції, яка базувалась би на закономірностях сумісного розвитку виробництва і природи, сучасних теоріях систем, ефективних методах обґрунтування рішень [1].

Таким чином, розробка прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу у рослинництві дозволяє проаналізувати комплексні зміни ґрунтових умов в межах одного поля та визначити стратегію управління агробіологічним потенціалом поля.

Наукова концепція прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу полягає в отриманні інформації про стан сільськогосподарських угідь (стан ґрунту та рослинності), на основі якої з використанням спеціально розроблених математичних алгоритмів виконується обробка інформації для прийняття рішення щодо реалізації технології природокористування при виробництві сільськогосподарської продукції.

На основі математичного моделювання можна буде удосконалювати систему комп'ютерного прогнозування виробництва сільськогосподарської продукції для забезпечення органічного виробництва продукції рослинництва.

Для реалізації запропонованої математичної моделі прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу використано кластерний аналіз. Кластерний аналіз – методика, за допомогою якої можна класифікувати дані в різних комбінаціях багатьох змінних у дискретні класи або кластери. Ця структура передбачає дві головні категорії: ієрархічну і неієрархічну. Найголовніше – неієрархічне групування – k -засоби (також відомо як c -засоби), де багатовимірні дані класифіковані в k -класи (кластери). Середня крапка в кожному класі має мінімальну відстань від кожного пункту даних. Невизначені k -засоби – продовження k -засобів, що групуються, це рахунки для зв'язаної невпевненості з класовими межами і членством [2, 3].

Ping J.L., Green C.J., Bronson K.F., Zartman R.E., & Dobermann A. [4] використовували k -засоби кластерного аналізу, багатовимірний дисперсійний аналіз (MANOVA) і дискретний аналіз, щоб окреслити потенційні зони управління у просторі. Вони запропонували кластерний аналіз прибутку залежно від ґрунтових властивостей як підставу для окреслення зон управління.

У Бразилії дані методи були використані, щоб встановити зони управління полем для забезпечення визначення необхідної ґрунтообробки для отримання максимальної врожайності [5].

2. Виклад основного матеріалу

Кластерний аналіз – це зручне джерело систематизації додаткового матеріалу. Можливість «розпізнавати» є однією із основних властивостей людських почуттів, як, до речі, і інших живих організмів. Образ являє собою характеристику (опис) об'єктів.

Відповідно з характером розпізнаваних об'єктів акт розпізнавання можна розділити на два основні типи: розпізнавання конкретних об'єктів та розпізнавання абстрактних об'єктів. Процес розпізнавання можна визначити як «сенсорне» розпізнавання. Процес цього типу забезпечує ідентифікацію і класифікацію просторових і часових образів.

Розпізнавання образів можна звести до питання оцінки ймовірності, що початкові дані відповідають тому або іншому із відомих множин статистичних даних, які визначаються досвідом, що являється орієнтирами і апріорною інформацією для розпізнавання. Таким чином, задачу розпізнавання образів можна розглядати як задачу встановлення різниці між початковими даними, причому порівнянням з окремими образами і їх сукупностями (останнє здійснюється при пошуку ознаки (інваріантних властивостей) на багатьох об'єктах, що визначають сукупність.

У задачі розпізнавання образів можна виділити два головних напрями:

1. Вивчення можливостей до розпізнавання, якими володіють живі організми.
2. Розвиток теорії і методів побудови приладів, призначених для рішення окремих задач розпізнавання об'єктів.

Предмет розпізнавання образів – виділити елементи, які належать конкретному класу, серед багатьох різних елементів, що відносяться до багатьох класів. Під класом образів розуміють деяку категорію, що визначається рядом властивостей, спільних для всіх елементів.

Образ – це опис будь-якого елемента як представника відповідного класу образів. У випадку, коли багато образів розділяються на неперетинаючі класи, необхідно використовувати для віднесення цих образів до відповідних класів який-небудь автоматичний засіб. Деякі задачі розпізнавання такі, що людина не в змозі їх вирішувати. Очевидно, що логічне рішення задачі розпізнавання об'єктів полягає у виділенні ознак кожного класу. Сукупність цих тестів повинна розрізняти всі допустимі образи із різних класів.

Головні задачі, які виникають при розробці систем розпізнавання образів

Задачі, які виникають при побудові автоматичної системи розпізнавання образів, можна віднести до декількох головних образів.

Перша з них пов'язана з представленням вихідних даних, отриманих як результат вимірювання для розпізнаваного об'єкта. Це проблема чутливості. Кожна величина вимірювання і є деякою характеристикою об'єкта.

Друга задача розпізнавання об'єкта пов'язана з виділенням характерних ознак або властивостей із отриманих вихідних даних і зниженням розмірності векторів образів. Цю задачу часто визначають як задачу попередньої обробки і вибору ознак.

Властивості класу образів являють собою характерні властивості, спільні для всіх образів даного класу. Властивості, що характеризують різницю між окремими класами, можна інтерпретувати як міжкласові ознаки. Внутрішньокласові ознаки, загальні для всіх розглядуваних класів, не володіють корисною інформацією з точки зору розпізнавання і можуть не братися до уваги. Вибір ознак вважається однією із головних задач, яка пов'язана з побудовою і розпізнаванням системи. Якщо результати вимірювання дозволяють отримати повний набір різних ознак для всіх класів, то розпізнавання і класифікація образів не будуть особливо складними. Автоматичне розпізнавання тоді зведеться до простого співставлення або процедури типу перегляду таблиць.

У більшості практичних задач розпізнавання, визначення повного набору різних ознак буде справою дуже важкою, якщо взагалі можливою. Із вихідних даних, як правило, можна виокремити деякі розрізняльні ознаки і використовувати їх для спрощення процесу автоматичного розпізнавання образів. Зокрема, розмірність векторів можна знизити за допомогою перетворення, що забезпечує мінімізацію втрати інформації.

Третя задача, пов'язана з побудовою систем розпізнавання образів, полягає у пошуку оптимальних вирішуючих процедур, необхідних при ідентифікації і класифікації. Після того, як дані зібрані, об'єкти, образи яких розпізнаються, представлені точками або векторними вимірами у просторі образів, необхідно за допомогою певного алгоритму з'ясувати, до якого класу образів ці дані відносяться.

Вирішення функції можна отримати цілим рядом способів. У тих випадках, коли про розпізнавані образи є повна апіорна інформація, рішення функції може бути визначене точно на основі цієї інформації. Якщо відносно образів є лише якісна інформація, можуть бути висунуті розумні допущення про вид функцій. В останньому випадку межі границь областей рішення можуть суттєво відхилятися від дійсних, тоді необхідно створювати систему, що може привести до позитивного результату за допомогою ряду позитивних коректувань.

Але, як правило, володіємо лише не чисельними апіорними свідченнями про розпізнаваний образ. За цих умов при побудові розпізнаваної системи краще всього використовувати навчаючу процедуру. На першому етапі вибирають випадкові функції і потім, у процесі виконання інтерактивних кроків, ці функції доводять до оптимального будь-якого виду. Класифікацію об'єктів за допомогою функцій можна здійснювати самим різним способом. Використовуються деякі функції, детерміністичні і статистичні алгоритми знаходження керуючих функцій.

Вирішення задачі попередньої обробки і виділення ознаки і задач отримання оптимального рішення і класифікація, як правило, зв'язані з необхідністю оцінки і оптимізації ряду параметрів. Це призводить до задачі оцінки параметрів. Крім того, зрозуміло, що процес виділення ознаки і процес прийняття рішення можуть бути суттєво удосконалені за рахунок використання інформації, заключеної у контексті образів. Інформація, що міститься в контексті, може бути вимірювана за допомогою умовної ймовірності, лінгвістичних статистик та близьких варіантів. У деяких додатках просто необхідно використовувати певну інформацію для точного розпізнавання.

Об'єкти (образи), що підлягають розпізнаванню і класифікації за допомогою автоматичної системи розпізнавання образів, повинні мати набір вимірюваних характеристик. Коли для цілої групи образів результати відповідних вимірювань виявляються аналогічними, вважається, що ці об'єкти належать до одного класу. Ціль роботи розпізнавання об'єктів полягає в тому, щоб на основі зібраної інформації визначити клас об'єктів з характеристиками, аналогічними вимірам у розпізнаваних об'єктах. Вірність розпізнавання інформації залежить від об'єму ідентифікованої інформації, що міститься у вимірюваних характеристиках, і ефективності використання цієї інформації. Якби ми могли виміряти всі можливі характеристики і мати необмежений час для обробки зібраної інформації, то можна було б досягнути цілком адекватного рівня розпізнавання, використовуючи самі примітивні методи. У звичайній практиці обмеження по часу, простору та затратах вимагають розвитку реалістичних підходів.

Для кластерної моделі оцінки даних моніторингу варіабельності параметрів стану сільськогосподарських угідь запропоновано два методи її визначення.

Перший метод. Результатом багатовимірною групування у кластерному аналізі є розподіл сукупності спостережень на однорідні групи. Техніка кластерного аналізу базується на поняттях подібності об'єктів. Підбором найбільш схожих одиниць виконується розподіл сукупності на групи (кластери). На відміну від комбінаційних угруповань, кластерний аналіз потребує поділу на групи з урахуванням відповідних ознак. Чіткі межі кожної групи та їх кількість у досліджуваній сукупності визначаються програмою.

Однорідність сукупності задається правилом обчислення певної метрики, що характеризує ступінь подібності одиниць сукупності. Її вибір є вузловим моментом кластерного аналізу, від якого головним чином залежить кінцевий варіант поділу сукупності на групи у разі даного алгоритму розподілу. Найпоширенішою є Евклідова метрика, за якою відстань між об'єктами обчислюється за формулою [6]

$$C_{jk} = \left[\sum_{i=1}^m (z_{ij} - z_{ik})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де z_{ij} і z_{ik} – стандартизовані значення i -ї в j -ї та k -ї одиниць сукупності.

Якщо ознаки x_i рівновагомі, то розраховується зважена Евклідова відстань з вагами ω_i :

$$C_{jk} = \left[\sum_{i=1}^m \omega_i (z_{ij} - z_{ik})^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Оскільки наближеність об'єкта, який підлягає класифікації, до аналогів певного класу буде використовуватися як критерій для її здійснення, то такий підхід називається класифікацією об'єктів за критерієм мінімуму відстані [6].

Таким чином, для дослідження ефективності використання трудових ресурсів сільськогосподарських товариств з обмеженою відповідальністю регіону необхідним є проведення класифікації за сукупністю вищенаведених показників для визначення типових господарств.

Для побудови кластерної моделі для оцінки даних моніторингу варіабельності параметрів стану сільськогосподарських угідь вибрано алгоритм Isodata (Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques) [6]. Він має досить широкий набір допоміжних евристичних процедур, які включені у схему ітерації.

Для виконання алгоритму необхідно визначити набір N_c вихідних центрів кластерів z_1, z_2, \dots, z_{N_c} . Цей набір, кількість елементів якого не обов'язково повинна дорівнювати кінцевій кількості кластерів, може бути вибіркою образів із даної множини даних.

При роботі з набором X_1, X_2, \dots, X_N , утвореним із N елементів, алгоритм Isodata виконує такі основні етапи:

Етап 1. Визначаються параметри процесу кластеризації:

K – необхідна кількість кластерів;

θ_N – параметр, з яким порівнюється кількість вибіркового образів, включених у кластер;

θ_s – параметр, який характеризує середньоквадратичне відхилення;

θ_c – параметр, який характеризує компактність;

L – максимальна кількість пар центрів кластерів, які можна об'єднати;

I – необхідна кількість ітерацій.

Етап 2. Задані N образи розподіляються по кластерах, які відповідають вибраним початковим центрам. За правилом X належить класу S_j , якщо

$$\|X - Z_j\| < \|X - Z_i\|, \quad i = 1, 2, \dots, N_c; \quad i \neq j,$$

яке застосовується до всіх образів X вибірки; через S_j позначимо підмножину образів вибірки, які включені в кластер із центром Z_j .

Етап 3. Якщо для деякого j виконується умова $N_j < \theta_N$, то множина S_j виключається з подальшого розгляду, і значення N_c зменшується на одиницю.

Етап 4. Кожний центр кластера z_j , $j = 1, 2, \dots, N_c$ локалізується і коригується через порівняння його з вибірковою середньою, яка обчислюється за відповідною підмножиною S_j , тобто

$$Z_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} x, \quad j = 1, 2, \dots, N_c, \quad (3)$$

де N_j – кількість об'єктів, які утворили множину S_j .

Етап 5. Розраховується середня відстань \bar{D}_j між об'єктами, які входять у підмножину S_j , та відповідним центром кластера за формулою

$$\bar{D}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} \|x - Z_j\|, \quad j = 1, 2, \dots, N_c. \quad (4)$$

Етап 6. Обчислюється узагальнена середня відстань між об'єктами, які входять в окремі кластери, і відповідними центрами кластерів за формулою

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_c} N_j \bar{D}_j. \quad (5)$$

Етап 7. Передбачає наявність: а) якщо поточний цикл ітерації останній, то задається $\theta_c = 0$ перехід до етапу 11; б) якщо умова $N_c \leq K / 2$ виконується, то відбувається пе-

рехід до етапу 8; в) якщо поточний цикл ітерації має парний порядковий номер або виконується умова $N_c \geq 2K$, то переходимо до етапу 11, а в іншому випадку процес ітерації продовжується.

Етап 8. Для кожної підмножини вибірових образів за допомогою формули

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} (x_{ik} - z_{ij})^2}, \quad (6)$$

$i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, N_c$ обчислюється вектор середньоквадратичного відхилення $\sigma_j = (\sigma_{1j}, \sigma_{2j}, \dots, \sigma_{nj})$, де n – розмірність образу, $x_{ik} \in i$ -а компонента k -го об'єкта в підмножині S_j , $z_{ij} \in i$ -а компонента вектора, яка відображає центр кластера z_j , і N_j – кількість вибірових образів, які увійшли в підмножину S_j . Кожна компонента вектора середньоквадратичного відхилення σ_j характеризує середньоквадратичне відхилення образу, який входить в підмножину S_j по одній із головних осей координат.

Етап 9. У кожному векторі середньоквадратичного відхилення $\sigma_j, j = 1, 2, \dots, N_c$ знаходиться максимальна компонента σ_{jmax} .

Етап 10. Якщо для будь-якого $\sigma_{jmax}, \sigma_j, j = 1, 2, \dots, N_c$ виконується умова $\sigma_{jmax} > \theta_s$ і 1) $\bar{D}_i > \bar{D}$ і $N_j > 2(\theta_N + 1)$ або 2) $N_c \leq K / 2$, то кластер із центром z_j поділяється на два нових кластери відповідно з центрами Z_j^+ і Z_j^- . Кластер з центром Z_j ліквідується, а значення N_c збільшується на одиницю. Для визначення центру кластера Z_j^+ до компоненти вектора, яка відповідає максимальній компоненті вектора σ_j , додається величина y_j . Центр кластера Z_j^- визначається відніманням величини y_j із компоненти вектора Z_j . Величина y_j визначається співвідношенням

$$\gamma_j = k\sigma_{jmax}, \quad (7)$$

де $0 < k \leq 1$.

При виборі y_j потрібно керуватися в основному тим, щоб її величина була досить великою для того, щоб відрізнити різницю у відстані довільного образу до нових центрів кластерів, але досить малою, щоб загальна структура кластеризації суттєво не змінилась.

Якщо розщеплення відбувається на цьому етапі, то потрібно перейти до етапу 2, в іншому випадку продовжити виконання алгоритму.

Етап 11. Обчислюється відстань D_{ij} між усіма парами центрів кластерів:

$$D_{ij} = \|z_i - z_j\|, \quad (8)$$

$i = 1, 2, \dots, N_c - 1, j = i + 1, \dots, N_c$.

Етап 12. Відстань D_{ij} порівнюється з параметром θ_c . Відстані L , що виявилися меншими θ_c , групуються за збільшенням:

$$[D_{i_1 j_1}, D_{i_2 j_2}, \dots, D_{i_L j_L}], \quad (9)$$

до того ж $D_{i_1 j_1} < D_{i_2 j_2} < \dots < D_{i_L j_L}$, а L – максимальна кількість пар центрів кластерів, які можна об'єднати. Наступний етап передбачає процес об'єднання кластерів.

Етап 13. Кожну відстань $D_{i_l j_l}$ розраховано для визначеної пари кластерів із центрами z_{i_l} і z_{j_l} . До цих пар у послідовності за порядком їх збільшення, що відповідає зростанню відстані між центрами, застосовують процедуру об'єднання, яка виконується на основі такого правила: кластери з центрами z_{i_l} і z_{j_l} , $l = 1, 2, \dots, L$ об'єднуються за умови, що в поточному циклі процедура об'єднання не застосовувалася ні до того, ні до другого кластера. Новий центр кластера визначається за формулою

$$Z_l^* = \frac{1}{N_{i_l} + N_{j_l}} [N_{i_l}(Z_{i_l}) + N_{j_l}(Z_{j_l})]. \quad (10)$$

Центри кластерів z_{i_l} і z_{j_l} ліквідуються, а значення N_c зменшується на одиницю.

Слід зазначити, що допускається тільки попарне об'єднання кластерів і центр отриманого в результаті кластера розраховується, виходячи з позицій, які займали центри об'єднаних кластерів, пропорційно кількості вибірових образів у відповідних кластерах.

Етап 14. Якщо поточний цикл ітерації – останній, то виконання алгоритму завершується. В іншому випадку слід повернутися до етапу 1, якщо необхідно змінити параметри процесу кластеризації, або до етапу 2, якщо параметри не змінюються. Завершенням циклу ітерації вважається кожний перехід до етапів 1 або 2.

Було визначено такі параметри класифікації: початкова кількість кластерів $K = 4$; необхідна кількість ітерацій $I = 50$. Параметри визначалися, виходячи з обсягу вибірки, середніх значень показників у всій сукупності об'єктів.

Другий метод. Результатом багатовимірного групування у кластерному аналізі є розподіл сукупності спостережень на однорідні групи. Техніка кластерного аналізу базується на поняттях подібності об'єктів. Підбором найбільш схожих одиниць (елементів) виконується розподіл сукупності на групи (кластери). На відміну від комбінаційних угруповань, кластерний аналіз потребує розбивки на групи з урахуванням ознак, які групуються. Чіткі межі кожної групи і їх кількість у досліджуваній сукупності визначаються програмою.

Однорідність сукупності задається правилом обчислення певної метрики, що характеризує ступінь подібності одиниць сукупності. Вибір метрики є вузловим моментом кластерного аналізу, від якого головним чином залежить кінцевий варіант розмежування сукупності на групи у разі даного алгоритму розподілу.

Для проведення кластерної моделі оцінки даних моніторингу варіабельності параметрів стану сільськогосподарських угідь вибрано алгоритм, представлений нижче, який мінімізує показник якості, визначений як сума квадратів відстаней всіх точок, що входять в кластерну область, до центру кластера. Ця процедура, яку часто називають алгоритмом, заснованим на обчисленні K внутрішньогрупових середніх, складається з таких кроків [6].

Крок 1. Вибираються K вихідних центрів кластерів $z_1(1), z_2(1), \dots, z_k(1)$. Цей вибір робиться довільно і зазвичай, як вихідні центри, використовуються перші K результатів вибірки із заданої безлічі образів.

Крок 2. На k -му кроці ітерації задана кількість образів $\{x\}$ розподіляється по K кластерів за таким правилом (11):

$$k \in S_j \quad k, \text{ якщо } \|x - z_j(k)\| < \|x - z_i(k)\| \quad (11)$$

для всіх $i = 1, 2, \dots, K, i \neq j$, де $S_j(k)$ – множина образів, що входять у кластер з центром $z_j(k)$. У разі рівності в (11) рішення приймається довільним чином.

Крок 3. На основі результатів кроку 2 визначаються нові центри кластерів $z_j(k+1)$, $j = 1, 2, \dots, K$, виходячи з умови, що сума квадратів відстаней між усіма образами, що належать множині $S_j(k)$, і новим центром кластера має бути мінімальною. Іншими словами, нові центри кластерів $z_j(k+1)$ вибираються таким чином, щоб мінімізувати показник якості (12):

$$J_j = \sum_{x \in S_j(k)} \|x - z_j(k+1)\|^2, \quad j = 1, 2, \dots, K. \quad (12)$$

Центр $z_j(k+1)$, що забезпечує мінімізацію показника якості, ϵ , по суті, вибіркоким середнім, визначеним по множині $S_j(k)$. Отже, нові центри кластерів визначаються як (13):

$$z_j(k+1) = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j(k)} x, \quad j = 1, 2, \dots, K, \quad (13)$$

де N_j – число вибірових образів, що входять у множини $S_j(k)$. Очевидно, що назва алгоритму « K внутрішньогрупових середніх» визначається способом, прийнятим для послідовної корекції призначення центрів кластерів.

Крок 4. Рівність $z_j(k+1) = z_j(k)$ при $j = 1, 2, \dots, K$ є умовою подібності алгоритму, і при його досягненні виконання алгоритму закінчується. Інакше алгоритм повторюється від кроку 2.

Якість роботи алгоритмів, заснованих на обчисленні K внутрішньогрупових середніх, залежить від числа обраних центрів кластерів, вибору вихідних центрів кластерів, послідовності огляду образів і, звичайно, від геометричних особливостей даних. У більшості випадків практичне вживання цього алгоритму потребує проведення експериментів, пов'язаних з вибором різних значень параметра K і вихідного розташування центрів кластерів.

Прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу полягає у розрахунку доз добрив на заплановану врожайність, її починають з визначення рівня у конкретних умовах, враховуючи врожайність при природній родючості ґрунту та можливий приріст від внесених добрив.

Дози мінеральних добрив слід вносити на фоні рекомендованих норм органічних добрив, зволоження, при середньому рівні забезпеченості ґрунту рухомими формами елементів живлення.

Визначення норм мінеральних добрив можна зробити, скориставшись даними агрохімічного аналізу ґрунту конкретного поля, показниками забезпеченості ґрунту елементами живлення, нормативною потребою за формулою

$$D = Y_n \cdot H_n \cdot K, \quad (14)$$

де D – річна норма діючої речовини азоту, фосфору, калію із розрахунку на планову врожайність, кг/га діючої речовини, $\frac{kg}{ca}$;

Y_n – прогнозована врожайність насінників, $\frac{ц}{га}$;

H_n – нормативна потреба у повних елементах на 1 ц насінників на фоні 30 т/га гною, кг/га діючої речовини, $\frac{кг/га}{ц}$;

K – поправочний коефіцієнт на внесення поживних елементів з додатковою нормою (понад 30 т/га) гною, кг/га діючої речовини.

Повну річну норму внесення азотних, фосфорних і калійних добрив можна також розраховувати балансовим методом за такою формулою:

$$D = \frac{(100 \cdot B \cdot Y_{II}) - (30 \cdot P_G \cdot K_K)}{K_{MD}} - \frac{H_{OD} \cdot P_{OD} \cdot K_{OD}}{10}, \quad (15)$$

де D – річна розрахункова доза азоту, фосфору або калію на запланований урожай насінників, кг/га діючої речовини;

B – винос елемента живлення на 1 тону врожаю коренеплодів, кг;

Y_{II} – планова врожайність коренеплодів, т/га;

P_G – вміст рухомих форм елемента живлення, мг на 100 г ґрунту;

P_{OD} – вміст рухомих форм елемента живлення в органічних добривах, %;

30 – постійний перерахунковий коефіцієнт;

H_{OD} – доза запланованого внесення органічних добрив, т/га;

K_K, K_{OD}, K_{MD} – коефіцієнти використання елементів живлення відповідно з ґрунту, органічних та мінеральних добрив.

Необхідно відзначити складність застосування методу, пов'язану з відсутністю чи відносністю коефіцієнтів використання елементів живлення з різних ґрунтів, органічних та мінеральних добрив. Тому на практиці широко застосовують дані про забезпеченість ґрунтів елементами живлення (табл. 1).

Таблиця 1. Забезпеченість ґрунтів елементами живлення

№ п/п	Елементи живлення за різними методами їх визначення	Забезпеченість елементами живлення, мг/кг ґрунту		
		низька	середня	підвищена
1	Гумус, %	1,2–2,5	2,6–4,8	4,9–7,9
2	Азот легкогідролізований за Тюріним-Коновою	Менше 40	41-50	Більше 50
3	Азот лужногідролізований за методом Конфільда	Менше 150	151–200	Більше 200
4	Азот нітратний	Менше 10	11–20	Більше 20
5	Нітрифікаційна здатність ґрунту	Менше 8	9–15	Більше 20
6	Фосфор за методом Кірсанова	30–80	81–150	151–200
7	Фосфор за методом Чирікова	20–50	51–100	101–150
8	Фосфор за методом Мачигіна	10–15	16–30	31–45
9	Калій за методом Кірсанова (карбонатні ґрунти)	20–50	51–90	91–120
	Калій за методом Мачигіна (карбонатні ґрунти)	30–60	61–100	101–130

У результаті багаторічних досліджень у стаціонарних та польових дослідах встановлена зональна нормативна потреба насінників у кожному із елементів живлення мінеральних добрив на формування одиниці врожаю залежно від забезпеченості ґрунту відповідним елементом живлення (табл. 1).

Слід зазначити, що рівень забезпеченості ґрунту елементами живлення визначають, скориставшись даними щорічних агрохімічних аналізів. Градація цього рівня по кожному із елементів залежить від їх вмісту [2]. При вирощуванні сільськогосподарських культур відбувається винос елементів живлення сільськогосподарськими культурами. Орієнтований винос елементів живлення з ґрунту наведено у табл. 2.

Без інформації про потреби рослин в елементах живлення, а також їх наявність у ґрунті неможливо одержувати стабільно високі урожаї. Коли застосовують малі дози добрив (найчастіше при сівбі та на операціях підживлення), можна скористатися існуючими агрохімічними паспортами полів 5–7-річної давності. Але якщо в господарстві працюють за інтенсивними технологіями (більше 120 кг д.р./га), розрахунки норм внесення добрив проводять балансовими і нормативними методами, для яких вже необхідні достовірні відомості про поточний агрохімічний склад ґрунтів.

Таблиця 2. Вміст елементів живлення з ґрунту (кг/га) при урожайності кукурудзи 9,4 т/га

№ п/п	Елемент живлення	Зерно, кг/га	Стебло, кг/га	Всього, кг/га
1	N	134	57	191
2	P ₂ O ₅	64	16	80
3	K ₂ O	41	168	209
4	Ca	1,1	32,5	33,6
5	Mg	9,0	23,5	32,5
6	S	10,1	7,8	17,9
7	Zn	0,11	0,17	0,28
8	B	0,03	0,11	0,14
9	Mn	0,08	0,37	0,45
10	Fe	0,07	1,23	1,30
11	Cu	0,02	0,10	0,12

При реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту використано такі принципи (табл. 3).

Таблиця 3. Принципи реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу

Рекомендації для внесення технологічного матеріалу			
Родючість ґрунту	Відношення ціни на добриво і зерно кукурудзи	Попередня культура	Вміст азоту у ґрунті
Висока Середня Низька	$\frac{\$/\text{діючої речовини} - N}{\$/\text{кг зерна}}$	Визначається коефіцієнтом, що змінюється від 0 до 1 залежно від виносу поживних речовин попередником	Визначається вміст поживної речовини у ґрунті

На підставі проведених розрахунків розробляються рекомендації щодо внесення технологічного матеріалу з використанням прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу (табл. 4).

Таблиця 4. Рекомендації по внесенню азоту на поверхні ґрунту

Відношення ціни на діючу речо- вину N (\$/кг) і зерна (\$/кг)	Кукурудза-кукурудза		Кукурудза-соя	
	Доза, яка дає максимальний прибуток	Рекомендо- ваний діапазон	Доза, яка дає максимальний прибуток	Рекомендований діапазон
	N кг/га			
2,8	174	146–202	134	112–157
5,6	157	134–185	123	101–140
8,4	146	123–168	112	90–129
11,2	134	112–157	95	78–112

Для реалізації даної технології прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу необхідно розробити методику реалізації, яка з урахуванням специфіки стану ґрунтового середовища дає можливість вибрати стратегію управління агробіологічним станом сільськогосподарських угідь, спрямовану на виробництво органічної продукції рослинництва, зменшення питомих енергетичних витрат, отримання максимального прибутку, отримання максимальної урожайності тощо (рис. 2).

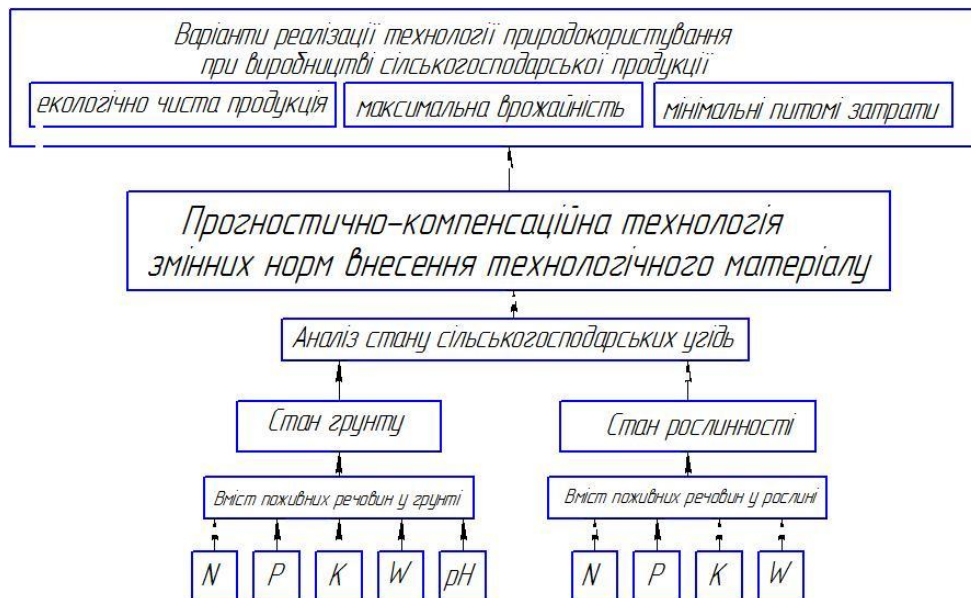


Рис. 2. Реалізація прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу

Очевидно, що для правильної організації управління якістю виконання технологічних операцій необхідною умовою є організація системи моніторингу. Для оцінки стану навколишнього середовища важлива об'єктивна оперативна інформація про критичні чинники антропогенної дії, фактичний стан біосфери і прогнози її майбутнього стану. Існує проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю й оцінки стану природного середовища (моніторингу) як у місцях інтенсивної антропогенної дії, так і у глобальному масштабі.

Традиційні системи моніторингу стану сільськогосподарських угідь не забезпечують належної продуктивності та якості моніторингу. Тому виникає необхідність розробки нових сенсорних систем моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Найбільшу ефективність моніторингу варіабельності параметрів ґрунтового середовища на сучасному етапі показали сенсорні системи вимірювання електропровідності та електромагнітної індукції стану сільськогосподарських угідь та системи технічного зору (реалізація за допомогою

спектрометрів). Показники, отримані з використанням даних таких систем, можна використовувати як опосередковані дані про варіабельність параметрів стану ґрунтового середовища.

У зв'язку з цим виникає нагальна необхідність у розробці та дослідженні технічних систем моніторингу стану сільськогосподарських угідь у сучасних технологіях рослинництва, використання даних яких дає можливість забезпечити задану якість при виконанні технологічної операції.

Одним із таких напрямів є використання опосередкованої інформації про стан ґрунту з надійним алгоритмом перерахунку такої інформації в об'єктивно необхідні дані, наприклад, таких, як рівень поживних речовин, гумусу, вологості, мікроелементів тощо у ґрунті. Ефективними опосередкованими даними стану ґрунту можуть бути показники електричної провідності ґрунту, величина діелектричної проникності, магнітні властивості тощо. Важливим аспектом, також, є вимірювання властивостей і встановлення складу ґрунтових газів як можливих індикаторів стану ґрунту.

Для ефективного регулювання стану ґрунтового середовища, збереження високої якості біосфери і здатності природи до відтворення значущу роль набувають у першу чергу ефективні методи екологічного моніторингу – системи спостережень, оцінки і прогнозу стану природного середовища. Таким чином, прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу включає такі основні напрями діяльності:

- спостереження за чинниками, що впливають на навколишнє природне середовище, і за станом середовища;
- оцінку фактичного стану ґрунтового середовища;
- прогноз майбутнього стану ґрунтового середовища і оцінку цього стану.

Для реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу може бути використана локально-стрічкова диференційована технологія для внесення технологічного матеріалу (гранульованих мінеральних добрив, насіння) із застосуванням спеціальних пристроїв для індивідуального приводу робочих елементів машини та пристроїв для моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля на основі даних, отриманих вимірюванням вмісту поживних речовин у ґрунті (реєстрація електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами) та вимірювання вмісту поживних речовин у рослині (реєстрація оптичної спектрометрії рослинності – спектрів відбиття рослинності в натуральних умовах при варіюючих рівнях освітленості з різноколірною температурою), що дозволить проводити тестування великих площ сільськогосподарського поля за короткий час під час виконання технологічної операції – внесення мінеральних добрив.

3. Висновки

Для ефективного регулювання стану ґрунтового середовища значну роль набувають у першу чергу ефективні методи екологічного моніторингу – системи спостережень, оцінки і прогнозу стану природного середовища. Таким чином, прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу включає такі основні напрями діяльності: спостереження за чинниками, що впливають на стан ґрунтового середовища; оцінку фактичного та прогноз майбутнього стану ґрунтового середовища. Запропонована прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту дозволяє реалізувати локально-стрічкове диференційоване внесення мінеральних добрив, зекономити 10–25% посівного матеріалу і сприяє підвищенню урожайності сільськогосподарських культур у середньому на 10–20 ц/га.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.с. СРСР №209878, МПК5 А01С 15/12.
2. http://www.yara.de/doc/39944_Broschuere_N-Sensor_201206.pdf.
3. Пат. № 55582, МПК А01С 15/00; опубл. 15.04.03, Бюл. № 4.
4. Масло І.П. Автоматизована система моніторингу родючості ґрунту та локально-дозоване використання хімпрепаратів / І.П. Масло, В.Г. Мироненко // Вісник сільськогосподарської науки. – 1998. – № 5. – С. 56 – 58.
5. Пастушенко С.И. Оптимизация сельскохозяйственных технических систем / С.И. Пастушенко // Техніка АПК. – 1999. – № 8. – С. 12 – 15.
6. Техніка для землеробства майбутнього / В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, В.І. Кравчук [та ін.] // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2002. – Вип. 86. – С. 20 – 32.
7. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.
8. Гуков Я.С. Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений / Я.С. Гуков, Н.К. Линник, В.Г. Мироненко // Труды 2-й МНПК по проблемам дифференциального применения удобрений в системе координатного земледелия. – Рязань, 2001. – С. 48 – 50.
9. Myronenko V. Rizeni pracovnich procesu ekologicke techniky / V. Myronenko, V. Dubrovin // Sbornik prednasek VUZT “Zemedelska technika a biomasa 2004”. – Praha, 2004. – Т. 5. – Р. 71 – 75.
10. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинництві / Мироненко В.Г. – К., 2005. – 271 с.
11. Разработать средства и системы автоматического контроля и управления мобильными сельскохозяйственными машинами с использованием микропроцессорной техники / Гром-Мазничевский Л.И., Коваль В.А., Мироненко В.Г. [и др.] // Научный отчет УНИИМЭСХ, 1990. – № гос. регистрации 81096003. – 124 с.
12. Броварець О.О. Інформаційні технології та технічні засоби нового покоління для моніторингу й забезпечення якості виконання технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур / О.О. Броварець // Хранение и переработка зерна. – 2013. – № 6 (171). – С. 37 – 42.

Стаття надійшла до редакції 26.08.2014