

УДК 51-74
© 2016

*Лєві Л. І., доктор технічних наук,
Петровський О. М., кандидат технічних наук*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОД СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ З ІНТЕРВАЛЬНОЮ НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ

Рецензент – доктор економічних наук А. М. Онищенко

У статті запропоновано математичну модель для аналізу і прогнозування агрокліматичних даних методом сингулярного спектрального аналізу (ССА) з інтервальною невизначеністю. Математична модель призначена для визначення оптимальних погодних умов у випадку посіву насіння пшениці попередньо стимульованого електромагнітним полем високої частоти. Показано, що передпосівна стимуляція насіння призводить до збільшення поглинання води, поживних речовин і відповідно вимагає оптимальних умов для проростання і подальшої вегетації рослин. Математичне моделювання дало змогу прогнозувати необхідні оптимальні агрокліматичні умови за показниками вологості і температури ґрунту.

Ключові слова: математична модель, сингулярний спектральний аналіз, стимуляція, високочастотне випромінювання, агрокліматичні умови.

Постановка проблеми. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур, виробництво достатньої кількості екологічно чистої сільськогосподарської продукції є вкрай важливими питаннями як в Україні, так і в усьому світі. Проблема росту населення планети вимагає збільшення виробництва продуктів харчування в умовах постійного зменшення придатних сільськогосподарських угідь. Значна частка продукції рослинництва (близько 25–30 %) втрачається за рахунок неякісного посівного насіння та недотримання оптимальних режимів висіву. Часткове вирішення цієї проблеми полягає у впровадженні сучасних, економічно вигідних, енергозберігаючих, екологічно безпечних технологій.

Діагностика агрокліматичних умов представляє досить складний процес, і правильне визначення параметрів залежить від великої кількості різноманітних факторів, а саме: прогнозування опадів, температури та вологості повітря, механічного складу, щільності, вологості ґрунту тощо. Досконалої методики, яка дала б змогу повною мірою комплексно охопити всі означені фактори під час діагностування, нині не існує. Складність розв'язання проблеми прийняття рішень

істотно зростає у випадках, коли вхідні параметри, які саме визначають стан системи, не можуть бути виміряні точно. Водночас на практиці у більшості випадків невизначеність стану не може бути описана з використанням теоретико-ймовірнісного підходу. Це відбувається внаслідок того, що параметри не є випадковими величинами і для них не існує можливості побудувати функції розподілення. Розглянуті обставини змушують шукати нових підходів, які дали б змогу вирішити завдання побудови багатовимірної залежності з нечітко заданими вхідними параметрами та нечисловою (лінгвістичною) інформацією.

Сучасні агротехнічні методи вирощування культурних рослин пов'язані з розвитком новітніх технологій, які дають змогу покращувати врожайність за рахунок автоматизації людської праці та більш раціонального використання ресурсів. Складність та специфіка керування в землеробстві полягає у великій сукупності стохастичних факторів, які впливають на головний показник ефективності сільськогосподарської діяльності – врожайність. Особливе значення мають саме ті фактори, якими можна керувати. Отже, виникає підвищений інтерес до передпосівної стимуляції насіння та зрошення як одних з пріоритетних методів підвищення продуктивності землеробства [1].

Різноманітні процеси і явища у землеробстві, які виникають у системі ґрунт-рослина-атмосфера, належать до різних областей знань та часто навіть не мають чіткої аналітичної моделі. Крім того, сама модель такого складного об'єкта лише наближається до відповідної реальної системи, тому неминуче несе в собі невизначеності, які пов'язані з невідомими коефіцієнтами, параметрами виразів або самими функціональними виразами. Також часова і просторова залежність більшості процесів значно ускладнює моделювання.

Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Існує багато технологій передпосівної обробки

насіннєвого матеріалу, які включають хімічні, біологічні, фізичні фактори впливу на стан насіння з метою стимуляції фізіологічних процесів проростання і розвитку [2, 3]. Зміна біофізичних властивостей насіння, стимуляція обміну речовин, інтенсифікація проростання, збільшення поглинання води і добрив є вирішальними задачами передпосівної обробки. Проведення передпосівної обробки насіння відповідними чинниками впливу позитивно позначається на процесах його проростання, вегетації рослин і, як наслідок, покращує формування колосу, плодів, підвищує врожайність.

Найбільш прогресивними технологіями передпосівної обробки є застосування електрофізичних способів стимуляції як найбільш економічно вигідних, технічно досконалих і екологічно безпечних. Дослідження в цій галузі активізувалися лише останнім часом. Запропоновано низку передових рішень щодо передпосівного опромінення насіння електромагнітними полями. На основі фізико-математичних моделей частково обґрунтовано електромагнітну взаємодію насіння та його структурних елементів із зовнішніми полями.

Метою дослідження є розробка теоретичних аспектів проблеми ідентифікації та керування складними технічними системами в умовах невизначеності під час використання алгоритму дослідження часових рядів агрокліматичних даних за допомогою сингулярного спектрального аналізу, коли у даних присутня інтервальна невизначеність. Це надає можливість визначення оптимальних строків і агрокліматичних умов посіву насіння після передпосівної стимуляції високочастотним електромагнітним полем.

Об'єктом досліджень є процеси прийняття рішень за наявності нечіткої вхідної інформації під час визначення параметрів режимів зрошення.

Предмет дослідження – математичні алгоритми і програми автоматичного керування гідромеліоративними системами в умовах інформаційної невизначеності.

Методи досліджень базуються на сингулярному спектральному аналізі з інтервальною невизначеністю даних у разі використання теорії ідентифікації для постановки завдання діагностики стану; теорії нечітких множин, нечіткої логіки – для моделювання процесу прийняття рішень щодо висіву попередньо стимульованого насіння.

Результати досліджень. Для проведення досліджень впливу передпосівної стимуляції використовувалося насіння пшениці сорту Коломак-5 3-го класу, врожаю 2008 року, з середньою схо-

жістю 70 %. Метою експерименту було визначення зміни поглинання води під впливом високочастотного (ВЧ) електромагнітного (ЕМ) опромінення з вихідною потужністю опромінювача 60 Вт за різної тривалості опромінення [4].

Було вибрано 16 партій насіння масою 0,05 кг кожна. Кількість насіння в кожній партії становила близько 1000 штук. Перша партія була контрольною, вона не опромінювалась. Інші 15 партій були оброблені ВЧ полем потужністю 60 Вт. Тривалість обробки – від 1 до 15 хвилин із кроком 1 хвилина.

Під час обробки насіння поміщалося в пластикову кювету. Для опромінення використовувалися пластини круглої форми діаметром 0,12 м, які під'єднувалися до ВЧ генератора. Відстань між пластинами становила 0,05 метра. Кювета з насінням поміщалося між пластинами, після чого вмикався опромінювач. Попередньо опромінювач налагоджувався на певну потужність і тривалість роботи.

Під час пророщування на зволоженому папері насіння поглинає воду і його маса збільшується. З метою визначення ступеня водопоглинання було проведено зважування кожних 100 насінин відповідних партій до опромінення і через одну добу після опромінення і пророщування. Результати визначення маси насіння до обробки і після однієї доби пророщування наведено в таблиці.

З таблиці бачимо, що оброблене насіння більш інтенсивно поглинає воду. Найбільше водопоглинання спостерігається за тривалості обробки насіння 5–7 хвилин. Порівняно з контрольною партією, його маса збільшилася на 25 %, а кількість поглинутої води досягала 43 % від початкової маси насіння, що свідчить про високу інтенсивність обмінних процесів. Тож, виявлено позитивний вплив ВЧ опромінення на інтенсивність водопоглинання, а відповідно, і на фізіологічний стан насіння [5, 6].

Сучасні інформаційно-вимірні системи, доповнені алгоритмами по обробці і добуванню корисної інформації, є тією платформою, на основі якої відбувається автоматизація керування складними технологічними процесами та розробка експертних систем. Необхідність використання таких систем у зрошуваному землеробстві продиктована бажанням одержувати високу врожайність культур за мінливих кліматичних й агротехнічних умов.

Щоб створити сприятливі умови для росту сільськогосподарських рослин, ведеться постійне спостереження таких параметрів, як вологість ґрунту, температура повітря, швидкість вітру та сонячна радіація.

Визначення маси насіння до і після обробки через одну добу пророщування

Маса насіння до опромінення, г			Тривалість опромінення, хв	Маса насіння після опромінення і пророщування на вологому папері через одну добу, г			$\frac{m_2}{m_1}$
Перша чашка	Друга чашка	Середнє значення маси, m_1		Перша чашка	Друга чашка	Середнє значення маси, m_2	
5,2	5,1	5,15	0	5,7	5,8	5,75	1,12
4,9	5,1	5,0	1	5,6	5,9	5,75	1,15
5,2	5,3	5,25	2	5,9	6,2	6,05	1,16
4,8	5,1	4,95	3	6,5	6,2	6,35	1,28
4,9	5,3	5,1	4	6,8	6,9	6,85	1,35
5,0	5,2	5,1	5	7,1	7,3	7,2	1,41
5,1	4,7	4,9	6	7,2	6,9	7,05	1,43
5,1	5,3	5,2	7	7,3	7,1	7,2	1,38
4,9	5,2	5,15	8	7,0	7,2	7,1	1,37
4,8	5,2	5,0	9	6,9	6,8	6,85	1,37
4,9	5,1	5,0	10	6,8	7,1	6,95	1,39
5,3	4,7	5,0	11	6,7	6,9	6,8	1,36
5,2	5,1	5,15	12	6,5	7,0	6,75	1,31
4,8	5,0	4,9	13	6,8	6,6	6,7	1,36
5,1	4,8	4,95	14	7,0	6,7	6,85	1,38
5,3	5,0	5,15	15	6,6	6,8	6,7	1,3

Моніторинг цих факторів навколишнього середовища допомагає підтримувати оптимальне значення вологості в кореневій зоні, скорочуючи витрату зрошувальної води.

Це виключає можливість зайвого перезволоження й засолення ґрунту. Як правило, рішення завдання керування поливом і оптимізації графіків поливних робіт пов'язано з аналізом, класифікацією і виявленням функціональних залежностей у масиві даних.

Сингулярний спектральний аналіз (ССА) дає змогу вивчати структурні особливості даних, згладжувати і прогнозувати часові ряди, заповнювати пропуски.

Фактично, він дає розкладання вихідного часового ряду у вигляді безлічі складових, які мають характерні властивості. У такий спосіб з ряду можна виділити тренд або шум і використати їх під час порівняння рядів.

Якщо ж додатково врахувати невизначеність, властиву будь-якій вимірюваній величині, то складність таких обчислень значно зростає. Невизначеність у даних має на увазі собою безліч припустимих значень замість одного точного. Залежно від методів математичного опису характеристик цієї безлічі виділяють ймовірнісний, нечіткий та інтервальний підходи. Останній підхід має широке розповсюдження у комп'ютерних

обчисленнях як метод контролю точності розрахунків. Невизначеність у цьому випадку виражається в діапазоні значень між верхньою і нижньою границею інтервалу. Серед публікацій у цьому напрямі слід зазначити статтю [7], де розглядається метод аналізу головних компонентів на прикладі інтервальних даних.

Деякі математичні аспекти цього питання розглядаються авторами [8], які вирішують завдання пошуку границь сингулярних чисел для інтервальних матриць.

Як приклад розглядається низка коливань добових температур [3], значення яких мають верхню і нижню межі та приймають вид відрізків на кожному часовому відрізку (1):

$$Y_s^l = ([y_1, \bar{y}_1], [y_2, \bar{y}_2], \dots, [y_n, \bar{y}_n]), \quad (1)$$

де y_l, y_n – значення на відповідних відрізках.

Щоб побудувати траєкторну матрицю, обираємо розмір довжини рухомого вікна L , що циклічно просувається на один відрізок уздовж ряду даних (1).

Одержуваний у такий спосіб вектор, записується, як ряд матриці (2). У випадку $L = (n/2)$ матриця буде ганкелевою.

$$Y^I = \begin{bmatrix} [y_1, \bar{y}_1] & [y_2, \bar{y}_2] & \dots & [y_L, \bar{y}_L] \\ [y_2, y_2] & [y_3, y_3] & \dots & [y_{L+1}, y_{L+1}] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [y_L, y_L] & [y_{L+1}, y_{L+1}] & \dots & [y_n, y_n] \end{bmatrix} \quad (2)$$

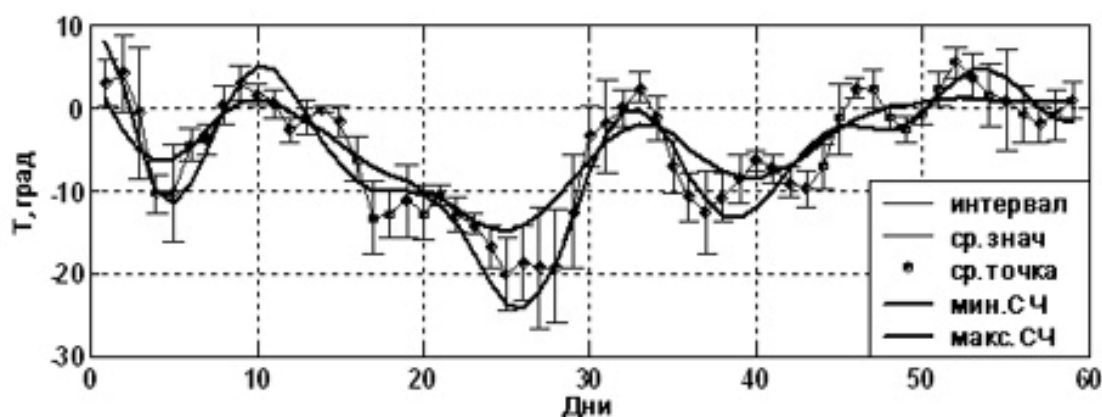


Рис. Інтервальний графік та його відновлені значення

Надалі рішення зводиться до завдання знаходження власних чисел і власних векторів матриці коваріації R . Один із варіантів спрощення цього завдання полягає в переході до середніх значень. Тоді пошук власних чисел виконується звичайними методами факторизації матриці R . Очевидно, що для інтервальних значень матриці вектор власних чисел буде мати такий вигляд:

$$\Lambda^I = \left([\underline{\lambda}_1, \bar{\lambda}_1], [\underline{\lambda}_2, \bar{\lambda}_2], \dots, [\underline{\lambda}_L, \bar{\lambda}_L] \right) \quad (3)$$

Пошук граничних значень власних чисел для цього випадку проводився за допомогою методів оптимізації, де критерієм якості виступали дві цільові функції.

Попередня оцінка границь сингулярних чисел для симетричної матриці визначалася за умови:

$$\Lambda^I \subseteq [\lambda(R_m) - \rho(\Delta R), \lambda(R_m) + \rho(\Delta R)] \quad (4)$$

де $\rho(\Delta R) = \|\text{rad}(R)\|_2$ – спектральний радіус матриці.

На рисунку показаний інтервальний ряд добових температур і його значення, які були відновлені по 5 складовим для верхньої й нижньої гра-

ниці сингулярного розкладання.

Використовуючи коефіцієнт Тейла як критерій близькості рядів, виконано порівняльний аналіз по обраних структурних компонентах ряду і пошук подоби в базі даних.

Висновок. Проведення передпосівної стимуляції насіння призводить до інтенсивного поглинання води і розчинених у ній речовин, що обумовлено підвищенням обмінних процесів. Поглинання води насінням, що опромінене за оптимальних умов, підвищилось на 43%. Інтенсифікація обмінних процесів вимагає проводити висів за оптимальних агрокліматичних умов, насамперед за достатньої вологості ґрунту і відповідному температурному режимові.

Розробка алгоритмів аналізу і порівняння часових рядів по структурних ознаках з обліком інтервальної невизначеності даних на основі методу ССА дала можливість аналізувати і прогнозувати агрокліматичні умови за основними факторами, а також визначати оптимальні строки посіву.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Березін О. В. Ефективне функціонування сільськогосподарського виробництва / О. В. Березін // Економіка АПК. – 2010. – №2. – С. 26–31.
2. Бобрышев Ф. И. Эффективные способы предпосевной обработки семян / Ф. И. Бобрышев, Г. П. Стародубцева, В. Ф. Попов // Земле-

делие. – 2000. – №3. – С. 45.

3. Леви Л. И. Обработка агроклиматических данных с интервальной неопределенностью методом ССА / Л. И. Леви, А. В. Чичикалов // Информационные процессы и технологии «Информатика – 2012»: материалы Всеукраїнської науково-

практичної конференції молодих вчених та студентів. – Севастополь, 2012. – С. 13–15.

4. Пат. 51700 UA МПК (2009) A01C 1/00 (2010.07). Спосіб передпосівного опромінення насіння зернових / Петровський О. М., Смердов А. А., Жемела Г. П., Волков С. І., Ландар А. А. ; власник – Петровський О. М. – патент на корисну модель №51700 ; заявл. 15.02.2010 ; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14 за 2010 р.

5. Савельев В. А. Физические способы обработки семян и эффективность их использования / В. А. Савельев // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1981. – №5. – С. 26–29.

6. Смердов А. А. Вплив УВЧ опромінення на схожість і енергію росту пшениці / А. А. Смердов, О. М. Петровський : VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція [«Фізичні процеси

та поля технічних і біологічних об'єктів». Тези наукових доповідей]. – Кременчуцький державний університет ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2009. – С. 178–179.

7. Gioia F. Principal component analysis on interval data / F. Gioia, C. N. Lauro // Comput. Stat. – 2006. – №21(2). – P. 343–363.

8. Hladik Milan Bounds on eigenvalues and singular values of interval matrices / Milan Hladik, David Daney, Elias P. Tsigaridas // INRIA. – 2009. – P. 1–18.

9. Smerdov Andrey, Petrovsky Alexander Biotechnical system of irradiating crop seeds / A. Smerdov, A. Petrovsky : матеріали X Міжнародної конференції [«TCSET – 2010. Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії»]. – Львів, 2010. – С. 135.