



УДК 004.891

DOI: <https://doi.org/10.17721/AIT.2021.1.02>

О. В. Федусенко, orcid.org/0000-0002-5782-5922,
Н. Ю. Шкурпела,
І. М. Доманецька, orcid.org/0000-0002-8629-9933,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
А. О. Федусенко, orcid.org/0000-0002-5782-5922,
ВЧ-К1410, Київ, Україна

Інтелектуальна система підтримки прийняття агротехнологічних рішень для посіву полів

У сучасному сільському господарстві України наявні проблеми, пов'язані з плануванням посівів. За допомогою запропонованої авторами інтелектуальної системи підтримки прийняття агротехнологічних рішень можливе спрощення процесу планування за рахунок використання концепції точного землеробства. Авторами проведено аналіз сучасних досліджень і публікацій, які пов'язані з концепцією точного землеробства і з проблемою впровадження сучасних інноваційних інформаційних систем у сільське господарство України. Проведено декомпозицію інтелектуальної системи та виокремлено шість основних підсистем, до кожної з яких розроблено функціональні вимоги. Проаналізовано сучасні методи моніторингу полів і визначено методи, що будуть використовуватися в інтелектуальній системі, одним з яких є метод *k*-середніх, який застосовуватиметься до кластеризації полів. На основі вже розроблених вимог авторами запропоновано загальну архітектуру системи, для графічного відображення якої використано нотацію TOGAF. Базуючись на запропонованій архітектурі, створено програмне забезпечення інтелектуальної системи. У результаті проведеного тестування програмного забезпечення інтелектуальної системи можна зробити висновок про її працездатність і готовність до впровадження. Спроектвана та розроблена система надає змогу здійснювати інтелектуальний аналіз історичних даних посівних, відображати результати у вигляді таблиць і графіків, виконувати планування посівів, агротехнологічних операцій і внесення добрив. Упровадження зазначеної системи дозволить підвищити якість прийняття управлінських рішень і продуктивність сільськогосподарської діяльності.

Ключові слова: інтелектуальна система, точне землеробство, кластерний аналіз, агротехнологічні рішення.

Для цитування (for citation): О. В. Федусенко, Н. Ю. Шкурпела, І. М. Доманецька, А. О. Федусенко. "Інтелектуальна система підтримки прийняття агротехнологічних рішень для посіву полів", *Сучасні інформаційні технології*, vol. 1, p. 15–22, 2021.

ВСТУП

Постановка проблеми. Сільське господарство є однією з провідних галузей економіки України, одним зі стратегічних напрямів розвитку якої є впровадження інноваційних технологій, зокрема адаптивних систем землекористування. Адаптивність у процесі прийняття виробничих та управлінських рішень забезпечує підвищення ефективності землеустрою та родючості ґрунту, продуктивності сільського господарства, а також зростання врожайності сільськогосподарських культур й істотне зниження виробничих витрат на сільськогосподарську продукцію.

Реалізація концепції точного землеробства спрямована на помітне підвищення ефективності аграрної галузі за рахунок організації своє-

часного та систематичного обліку, контролю й аналізу даних посівних площ за допомогою інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, які забезпечують їхню систематизацію та візуалізацію. Отримані результати дозволяють оптимізувати та здешевити процеси, пов'язані з плануванням посівів, розрахунком внесення норм добрив, прогнозуванням врожаю тощо. Тому актуальною науково-технічною задачею є дослідження та створення інтелектуальної системи підтримки прийняття агротехнологічних рішень для аналізу та візуалізації сільськогосподарських даних із використанням сучасних мов програмування та засобів візуалізації історичних даних щодо врожайності, агрохімічних досліджень ґрунту.

© Федусенко О. В., Шкурпела Н. Ю., Доманецька І. М., Федусенко А. О., 2021



Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упровадження новітніх інформаційних технологій в аграрному секторі є важливою складовою оптимального управління та планування. Такий підхід дозволяє максимізувати прибутки та покращити організацію виробництва шляхом оптимізації використання господарських і природних ресурсів, електронного обліку посівів і зборів урожаїв, що дозволяє проводити точніше прогнозування майбутньої врожайності. Отже, унаслідок упровадження інновацій вдається отримати приріст виробництва сільськогосподарської продукції з одиниці площі без загрози довкіллю. За таких умов концепція традиційного землеробства вже не є ефективною.

Нині широкого розповсюдження набула концепція точного землеробства (precision agriculture). Упродовж кількох десятиліть вона успішно використовується та вдосконалюється країнами з високим рівнем розвитку аграрного виробництва, а саме: Канада, США, Нідерланди, Австралія тощо.

Наукова концепція точного землеробства базується на понятті про існування неоднорідностей у межах одного поля. Для оцінювання та визначення цих неоднорідностей використовують такі новітні технології: глобальні системи позиціонування (GPS, ГЛОНАСС), спеціальні датчики, аерофотознімки та супутникові знімки. Зібрані дані використовують для планування посіву, розрахунку внесення добрив і засобів захисту рослин згідно з нормами, більш точного прогнозування врожаю та фінансового планування. Ця концепція вимагає врахування локальних особливостей ґрунту (інформація про кількісну та якісну оцінку родючого шару), кліматичних умов [1].

Технологічні рішення є фундаментальною основою, яка дозволяє впроваджувати наукові дослідження та розроблення в аграрному секторі та в інших сферах розвитку промисловості. Тому питання планування й управління інноваційними засобами стали предметом наукових досліджень [2]. Проблеми, пов'язані з упровадженням цифрових технологій у виробничі та управлінські процеси сільського господарства, досліджували в наукових статтях такі українські й іноземні фахівці: М. І. Ромащенко, О. В. Шубравська, С. А. Володін, М. М. Кропивко, Tiziano Gomiero, E. C. Leonard, Keith Paustian, Ludwig Theuvsen та ін. [2–8].

Проте у зв'язку з динамічним розвитком інновацій в аграрній сфері можна стверджувати, що не всі проблеми пов'язані з управлінням інноваційним розвитком сільського господарства

знайшли широке відображення в наукових публікаціях. Багато аспектів упровадження точного землеробства, зокрема в сучасних умовах аграрного сектора України, досі обговорюються, оскільки спостерігається дефіцит усебічних досліджень. Це пов'язано з тим, що публікації, в яких досліджено переваги впровадження прецизійного землеробства, зосереджені лише на декількох аспектах, і, як правило, не містять практичної інформації.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою роботи є проєктування та розроблення ефективної інтелектуальної системи підтримки прийняття агротехнологічних рішень для посіву полів для оптимального планування сівозмін і прийняття своєчасних управлінських рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- дослідити основні методи моніторингу посіву полів та обрати ті, що будуть використовуватися в інтелектуальній системі;
- розробити архітектуру інтелектуальної системи підтримки прийняття агротехнологічних рішень для посіву полів;
- розробити програмне забезпечення інтелектуальної системи та провести його тестування.

Проведемо декомпозицію розроблюваної інтелектуальної системи, вона буде складатися з 6 підсистем. Для кожної з підсистем наведемо основні функціональні вимоги:

1. **Підсистема прогнозування та статистичного аналізу.** Система має забезпечувати функціональність прогнозування та статистичного аналізу з виконанням таких вимог:

- наявність функціонала кластерного аналізу;
- наявність функціонала статистичного аналізу;
- побудова прогнозування врожайності сільськогосподарських культур на основі історичних даних.

2. **Підсистема роботи з базою даних, а саме з основними довідниками.** Підсистема повинна забезпечувати можливість роботи з даними довідкового характеру з виконанням вимог:

- можливість додавання, видалення та редагування даних;
- можливість візуалізації даних у табличному вигляді;
- можливість налаштування користувачем правил відбору та сортування.

3. **Підсистема обліку врожайності сільськогосподарських культур.** Наведемо функціональні вимоги до системи щодо обліку врожайності сільськогосподарських культур:



- можливість ведення реєстру врожаїв сільськогосподарських культур за допомогою візуальних форм;
- можливість візуального відображення реєстру;
- забезпечення формування витягів із реєстру врожаю до звітів у розрізі років і видів сільськогосподарських культур;
- формування звітів про врожайність;
- можливість налаштування користувачем правил відбору, сортування у процесі формування аналітичних, звітних та інших таблиць;
- можливість імпорту/експорту даних.

4. Підсистема управління внесенням добрив. Ця підсистема має проводити моніторинг і надавати рекомендації щодо внесення добрив. Основними функціональними вимогами є:

- можливість ведення реєстру внесення добрив;
- розрахунок норм внесення добрив;
- можливість перегляду історії внесення добрив за полем і датою;
- формування рекомендацій щодо оптимізації розподілу добрив;
- можливість формування документа за результатами формування рекомендацій, що зберігаються у базі даних.

5. Підсистема обліку результатів фізико-хімічних аналізів ґрунту. Система повинна забезпечувати можливість обліку результатів фізико-хімічних аналізів ґрунту з виконанням таких вимог:

- ведення списку результатів фізико-хімічних аналізів ґрунту з прив'язкою до списку полів;
- можливість формування звіту фізико-хімічного стану ґрунту з вибором потрібного поля;
- визначення якості ґрунту шляхом розрахунку показника родючості.

6. Підсистема управління посівом полів.

Запишемо функціональні вимоги до системи щодо управління посівом полів:

- ведення списку полів із можливістю візуального відображення у вигляді таблиці;
- можливість ведення реєстру посівів із прив'язкою до списку полів;
- формування плану посівів;
- формування рекомендацій щодо оптимального засіву ріллі сільськогосподарськими культурами;
- можливість формування документа за результатами формування рекомендацій, які зберігаються у базі даних.
- можливість друку рекомендацій.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз методів моніторингу полів. Для оптимізації планування посіву полів спочатку бажано побудувати план розподілу ділянок і посіву полів. Одним із методів, який можна застосувати для розв'язання цієї задачі, є кластерний аналіз. Застосування методів кластерного аналізу даних дозволяє пришвидшити виконання процесу інтеграції посівних площ з аналогічними властивостями. Тобто, на основі даних фізико-хімічних властивостей ґрунту або врожайності сільськогосподарських культур, вдається виконати розподіл полів на групи за критерієм найбільшої подібності. Усі методи кластерного аналізу можна поділити на ієрархічні та неієрархічні. Неієрархічні методи виявляють вищу стійкість щодо шумів і викидів, некоректного вибору метрики, введення незначущих змінних у набір, що бере участь у кластеризації [9]. Основним недоліком цієї групи методів є те, що необхідно заздалегідь визначити кількість кластерів. Ієрархічні методи не потребують визначення точної кількості кластерів, тому що вони будують повне дерево вкладених кластерів. Проте застосування ієрархічних методів для великих наборів даних досить складне. З урахуванням проведеного порівняльного аналізу авторами прийнято рішення про використання неієрархічних методів кластеризації, а саме методу *k*-середніх [10], який є найпоширенішим серед групи неієрархічних методів. Указаний метод доцільно застосовувати для кластеризації полів, оскільки його застосування вимагає гіпотезу про кількість кластерів. Для побудови плану розподілу полів попередньо визначена кількість кластерів є важливим чинником, тому що надає можливість установити обмеження на кількість груп, яка не може бути невизначеною або мати дуже великий розмір.

Одним із найважливіших показників, які визначають рівень ефективності ведення сільськогосподарського виробництва, є врожайність сільськогосподарських культур. Цей показник використовується як вхідна інформація для побудови планів, прогнозів і прийняття управлінських рішень, а також є одним з основних результуючих показників сільськогосподарського виробництва. Отримання достовірного прогнозу врожаю забезпечує оптимізацію об'ємів і структури резервних фондів і запасів, поліпшення ведення політики зовнішньої торгівлі, ефективне маневрування структурою та розміщенням виробництва.

Найуспішніші прогнози реалізуються, коли побудована адекватна математична модель об'єкта.



Для моделювання динаміки врожайності найбільше поширення здобули лінійні стохастичні моделі, основою яких є аналіз часових рядів. Раніше проведені дослідження показали, що часовим рядам урожайності притаманні короткі цикли тривалістю 4 роки і середні цикли тривалістю 16–20 років [11]. Короткий цикл швидше за все викликаний циклічністю погоднокліматичних факторів, середній може бути пояснений у межах моделі «врожайність–родючість», яка є моделлю типу «хижак–жертва» [11].

Автори пропонують використовувати два методи для прогнозування врожайності, а саме: метод багатofакторної лінійної регресії, використання якого докладніше описано у [12], та алгоритм ARIMA.

Алгоритм ARIMA – це реалізація процесу обчислення авторегресивного інтегрованого ковзного середнього, описаного в роботі Бокса – Дженкінса. Методологія ARIMA дозволяє визначити залежності в результатах спостережень у формі послідовних часових рядів, за умови, що модель включає опис випадкових стрибків [12].

Оптимальне внесення добрив для живлення рослин є ще одним із найважливіших чинників системи землеробства. Внесення необхідних норм добрив забезпечує отримання високих урожаїв хорошої якості у разі підвищення або збереження досягнутого рівня родючості ґрунту, і не завдаючи шкоди навколишньому природному середовищу. Окрім того, оптимальний розподіл добрив сприяє економічній ефективності сільськогосподарського виробництва. Чинниками, що формують родючість ґрунтів є сукупність фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунтів. Якраз хімічні властивості родючості ґрунтів урахують під час розрахунку й оптимізації внесення добрив у інтелектуальній системі, а саме: вміст у ґрунті азоту, фосфору і калію, а також інших поживних елементів.

Норми внесення добрив визначають такими методами:

- 1) використання результатів польових дослідів із добривами;
- 2) балансово-розрахунковий;
- 3) комплексний;
- 4) економіко-математичний.

Найбільшого поширення набули балансово-розрахункові методи, зокрема розрахунок норм добрив за запасами поживних речовин у ґрунті на запланований урожай і розрахунок норм добрив на приріст урожаю [13–16]. Зазначені методи і будуть використані у розроблюваній системі підтримки прийняття рішень для розрахунку оптимальних норм унесення добрив під основні сільськогосподарські культури.

Розроблення архітектури інтелектуальної системи. Перед побудовою архітектури опишемо основні структурні компоненти системи підтримки прийняття рішень агротехнологічних рішень для посіву полів.

Інтерфейс користувача – дозволяє наочно продемонструвати різні довідники, що зберігаються в системі, переглянути звітні матеріали, а також переглянути інформацію, отриману за допомогою інформаційно-пошукового модуля, відобразити дані, отримані в результаті інтелектуального аналізу даних; забезпечує зручність введення даних користувачем у базу даних.

Підсистема управління даними – зберігає інформацію про посівні ріллі, урожайність, результати фізико-хімічного аналізу ґрунтів, дані стосовно норм внесення добрив і довідкові значення та показники, необхідні для розрахункових операцій. Окрім того, передбачена можливість збереження рекомендацій щодо посіву полів. Уся інформація для кращого візуального сприйняття передається у програмну оболонку. Ця підсистема складається з БД певної структури та СУБД, яка забезпечує швидке виконання аналітичних запитів.

У зазначеній підсистемі використовують два типи джерел даних:

- довідкові дані, які містять значення коефіцієнтів та інших стандартних показників, необхідних для проведення розрахункових операцій. Джерелом даних є нормативні документи у галузях ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів.
- внутрішні дані, які вводяться безпосередньо користувачем, а саме: показники врожайності, результати фізико-хімічного аналізу ґрунту тощо. Тобто це дані, які є результатом сільськогосподарської діяльності. Джерелом даних є нормативні документи у галузях ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів і дані конкретного сільськогосподарського підприємства.

Інформаційно-аналітична підсистема – дозволяє проводити розгорнутий аналіз даних і складається з таких компонентів: підсистема інтелектуального аналізу даних, підсистема управління внесенням добрив і підсистема управління посівними площами.

Підсистема інтелектуального аналізу – реалізує методи й алгоритми здобуття даних Data Mining, а саме: метод k -середніх, який належить до методів неієрархічного кластерного аналізу, та лінійну багатofакторну регресію. Інструменти інтелектуального аналізу дозволяють виявити закономірності в діяльності сільськогосподарського виробництва, використовувані надалі для обґрунтування стратегічних або тактичних рішень. Ця підсистема складається з двох модулів: модуль



прогнозування врожайності сільськогосподарських культур і модуль кластерного аналізу полів із метою оптимального планування їхнього посіву.

Модуль прогнозування врожайності сільськогосподарських культур – дозволяє прогнозувати врожай у майбутньому на основі даних, які зберігаються в БД.

Модуль кластерного аналізу полів з метою оптимального планування їх посіву – дозволяє виконати перерозподіл посівних площ задля оптимального планування їх посіву, враховуючи дані врожайності, результати фізико-хімічних аналізів ґрунтів.

Підсистема управління внесенням добрив – забезпечує введення та обробку даних стосовно добрив.

Підсистема управління посівними площами – забезпечує процес обробки даних щодо врожайності, результатів фізико-хімічних аналізів ґрунтів, формування звітної документації та рекомендацій щодо посіву полів. Зазначена підсистема складається з наступних підсистем:

- підсистема обліку врожайності – містить модуль ведення реєстру врожайності та модуль формування звітів по врожайності;
- підсистема обліку результатів фізико-хімічних аналізів ґрунту;
- підсистема управління посівом полів.

Графічне представлення загальної архітектури розроблюваної системи підтримки прийняття рішення представлено у нотатції архітектурного фреймворку TOGAF наведено на рис. 1.

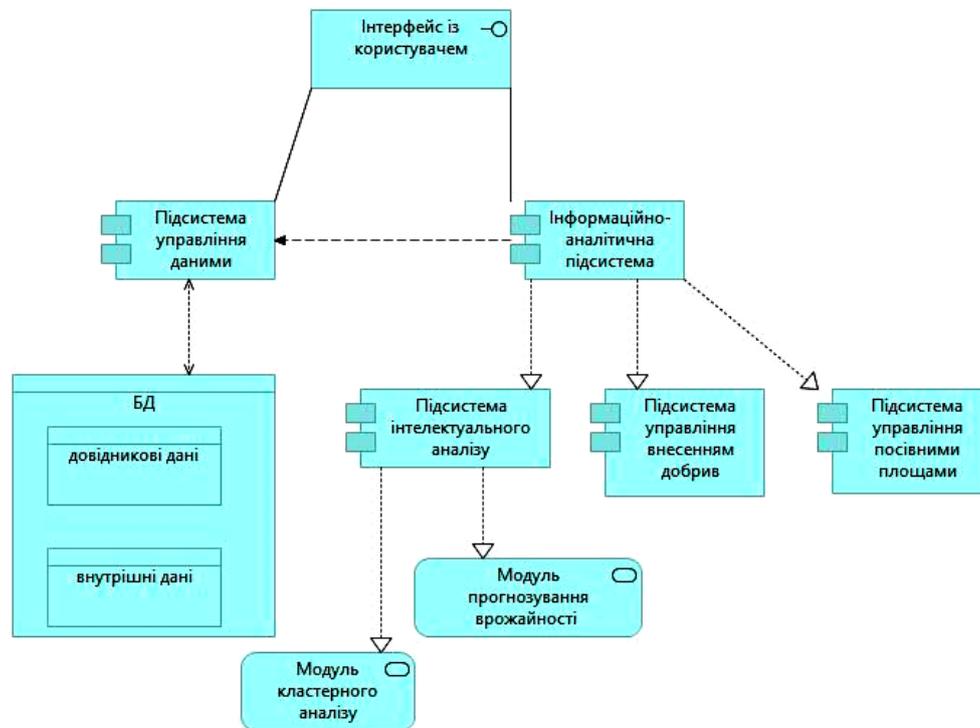


Рис. 1. Загальна архітектура інтелектуальної системи

Розроблення програмного забезпечення інтелектуальної системи. Програмне забезпечення інтелектуальної системи підтримки прийняття агротехнологічних рішень складається з набору програмних модулів, які за змістом є ідентичними до архітектурних компонентів, представлених на рис. 1.

Модулі мають трирівневу архітектуру, яка передбачає наявність презентаційного рівня, тобто клієнтської програми, рівня управління бізнес-логікою та рівня доступу до даних за рахунок системи управління базою даних. Тому задля зручного управління об'єктами у процесі розроблення сис-

теми, відповідно до заданої моделі архітектури, було виділено чотири простори імен (рис. 2).

Розглянемо `AgricultureDataSetTableAdapters` та `Precision_agriculture` детальніше. `AgricultureDataSetTableAdapters` містить об'єкти `TableAdapters`, які забезпечують зв'язок між модулями підсистем і базою даних.

Простір імен `Precision_agriculture` реалізує одразу два рівні архітектури: оброблення даних і взаємодію з користувачем. Взаємодію з користувачем реалізовано за допомогою графічного інтерфейсу `Windows Forms`.

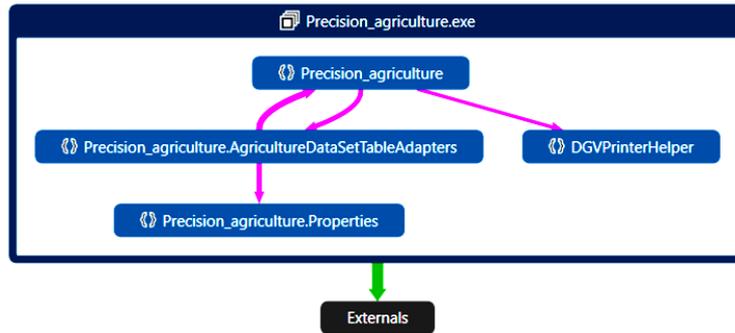


Рис. 2. Схема взаємодії між просторами імен інтелектуальної системи

Тестування програмного забезпечення інтелектуальної системи. Розглянемо приклад роботи з програмним забезпеченням інтелектуальної системи.

Спочатку проведемо аналіз роботи підсистеми управління внесенням добрив, що дозволяє виконувати операції з маніпулювання даними в реєстрі добрив, а саме: додавання нових, редагування існуючих, видалення. Передбачає візуальне їхнє відображення у табличному вигляді та можливість налаштування користувачем правил відбору й сортування. Надає можливість розрахунків із визначення норм поживних речовин, необхідних для внесення з метою отримання запланованого врожаю, та відповідних доз мінеральних добрив, а також визначити насиченість ґрунту органічними добривами та записати отримані дані до плану внесення добрив. Усі обчислення виконують за допомогою модуля «Розрахунок річних доз добрив».

Показники розраховують для обраних зі списку номера поля та року врожаю. За потреби є можливість внесення даних про органічні добрива, доза внесення яких впливає на визначення норм внесення мінеральних добрив.

Розглянемо результат розрахунку описаних вище показників за допомогою системи (рис. 3) та порівняємо їх зі значеннями, розрахованими за допомогою програми MS Excel (рис. 4). Для тестування використовуватимемо реальні сільськогосподарські дані, які наведено в [17].

Отримані результати є однаковими для обох випадків, що свідчить про правильну та коректну роботу інтелектуальної системи.

Проведемо тестування роботи модуля кластерного аналізу. Інструменти модуля надають можливість проводити аналіз для двох видів даних: агрохімічні показники ґрунтів і врожайність сільськогосподарських культур. Початкові дані та результати кластерного аналізу відображаються на відповідних графіках.

Проведемо тестування модуля кластеризації полів за агрохімічними характеристиками ґрунтів. За результатами аналізу дані поділено на

три кластери. На осі X відображаються дані вмісту азоту, а на осі Y – фосфору. Розріз даних по кластерах можна переглянути для кожного окремого показника, вибравши на вкладці СТАТИСТИКА для іншого показника значення 0 (рис. 5).

+ додати 📊 розрахувати норми
 Норма внесення поживних речовин, кг/га:
 Азот Фосфор Калій
 248 -13,043 -34,521
 📊 розрахувати дози
 Визначення обсягів мінеральних добрив (кг/га):
 Мінеральне добриво:
 Коефіцієнт коригування: Азот Фосфор Калій
 0,7 0,8 0,85 496 -10,434 -29,343

Рис. 3. Результати розрахунку системи

Попередник:	Горox	0,7	0,8	0,85
Культура:	Озима пшениця			
Мінеральне добриво:	Аміачна селітра			
Необхідно внести поживних речовин мінеральних добрив з урахуванням коефіцієнта їх використання, кг/га		248,00	-13,04	-34,52
Вміст поживних речовин у мінеральних добривах, %		0,35	1,00	1,00
Необхідно внести мінеральних добрив для одержання запланованого врожаю, ц/га		496	-10,4348	-29,3425

Рис. 4. Результати розрахунку системи за допомогою програми MS Excel

Результати кластерного аналізу

Кластер: 0		
1	1,4	8
8	1,3	7
13	1,3	10
14	1,5	7
Кластер: 1		
2	1,5	7
7	1,5	7
9	1,2	8

Надрукувати результати

Рис. 5. Результати роботи модуля кластеризації



Проведемо порівняльний аналіз результатів прогнозування врожайності сільськогосподарських культур, отриманих за допомогою інтелектуальної системи, та реальної врожайності цих культур, відповідно до даних, що наведені у [18] на прикладі Дніпропетровської області. Результати аналізу наведено у таблиці.

ТАБЛИЦЯ
РЕЗУЛЬТАТИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ

Назва культури	Прогнозоване інтелектуальною системою значення врожайності 2021 р., ц/га	Фактичне значення 2021 р., ц/га	Різниця, ц/га	Похибка, %
Кукурудза	43,06	45,9	2,84	-5,5
Пшениця	43,24	44,22	0,98	-2,3
Ячмінь	30,28	33,79	3,51	-11,6
Горох	22,38	24,01	1,63	-7,3

Як можна побачити з таблиці, результати прогнозу отримано з використанням інтелектуальної системи, майже відповідають фактичним результатам урожайності відповідних сільськогосподарських культур, наявна різниця є невеликою і складає менше, ніж 4 ц/га, а точність прогнозу складає приблизно 90 %, що є досить високим показником.

За результатами тестування визначено високу якість функціональних характеристик та атрибутів системи. Система проста у використанні, має зручний користувацький інтерфейс, реалізовує багато функціональних можливостей.

ВИСНОВКИ

Упровадження інноваційних інформаційних технологій у сільське господарство України є актуальною проблемою, для вирішення якої можуть бути використані адаптивні системи землекористування. Розроблена авторами інтелектуальна система підтримки прийняття агротехнологічних рішень реалізує концепцію точного землеробства та призначена для використання фермерськими господарствами для планування та моніторингу посівів полів.

Упровадження зазначеної системи дозволить підвищити якість прийняття управлінських рішень і продуктивність сільськогосподарської діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Федірець О. В. «Управління інноваціями при впровадженні технологій точного землеробства в Україні», *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії*, т. 3, № 2 (7), с.302–308, 2013

[1] Зеліско Н. Мельник В. «Розвиток інноваційного потенціалу аграрного сектору економіки України». *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Економіка АПК* 2018. Вип. 25. С. 40–43.

[2] Tiziano Gomiero. (2019) Soil and crop management to save food and enhance food security. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00002-X>

[3] E.C.Leonard. (2015) Precision Agriculture. Reference Module in Food Science [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00203-1>

[4] Diego de la Rosa, Francisco Mayol, Elvira Díaz-Pereira, Miguel Fernandez, Diego de la Rosa. (2004) A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection: With special reference to the Mediterranean region. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.10.006>

[5] D. de la Rosa, F. Mayol, E. Diaz-Pereira, M. Fernandez and D. de la Rosa Jr. (2003) A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection. 2003. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.10.006>

[6] (2018) Requirement types. QAInfo [Online]. Available: <https://www.quality-assurance-group.com/requirement-types/>

[7] Чубукова І.А., *Data Mining*, М.: Інтернет-Університет інформаційних технологій, БІНОМ. Лабораторія знань, 2006.

[8] І. І. Глаголева, А. Ю. Берко «Застосування кластерного аналізу для опрацювання даних земельного кадастру». *Вісник Львівського національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі*. 2014. Вип.743. С. 420–429

[9] Nathan Landman, Hannah Pang, Christopher Williams, Eli Ross. (2017) k-Means Clustering. [Online]. Available: <https://brilliant.org/wiki/k-means-clustering/>

[10] Вітлінський В. В., Грицюк П. М. «Дослідження динаміки урожайності озимої пшениці для областей України». *Моделювання та інформаційні системи в економіці: Зб. наукових праць*. 2007. Вип. 76. С. 275–295.

[11] Gorban A.N., Zinovyev A.Y. «Principal Graphs and Manifolds», *Ch. 2 in: Handbook of Research on Machine Learning Applications and Trends: Algorithms, Methods, and Techniques*, IGI Global. Hershey. PA. USA., p.28–59 2009.

[12] Грицюк П.М. «Прогнозування врожайності зернових культур: особливості і методика», *Вчені записки зб. наук. пр. ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»*, №11, с. 294–300, 2009

[13] Якимчук В. Г., Жолобак Г. М., Порушкевич А. Ю., Сахацький О. І. «Використання космічних і метеорологічних даних для оцінки врожайності озимої пшениці», *Космічна наука і технологія*, Т. 17, № 5, с. 64–67, 2011.

[14] А.С. Заришняк, *Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмінах*, Київ: Аграрна наука, 2015.

[15] С.А. Балюк, Б.С. Носко, В.В. Шимель, Л.В. Стеревська, Г.Ф.Момот «Оптимізація живлення рослин у системі факторів ефективної родючості ґрунтів», *Вісник аграрної науки*, Т.7, №3, с.12–19, 2019

[16] (2021). Державна служба статистики України [Online]. Available: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

[17] (2021). Врожай онлайн [Online]. Available: <https://latifundist.com/urozhaj-online-2021#>

Стаття надійшла до редколегії

06.10.2021



Intelligent support system for agro-technological decision-making for field sowing

The are crop planning problems exist in a modern agriculture of Ukraine. With the help of the intelligent support system for agro-technological decisions proposed by the authors, it is possible to simplify the planning process by using the concept of precision farming. Modern fields monitoring methods were analyzed and methods that will be used in the intelligent system are identified. The k-means method is one of them and will be applied to field clustering. The authors analyzed modern research and publications related to the concept of precision farming and the problem of implementing modern innovative information systems in agriculture of Ukraine. The decomposition of the intelligent system was carried out. Six main subsystems were identified, functional requirements were developed for each of them. Modern methods of fields monitoring are analyzed and methods that will be used in the intelligent system are identified, one of which is the k-means method, which will be applied to field clustering. Based on the already developed requirements, the authors have developed the general architecture of the system. The notation TOGAF was applied for the graphical display of the architecture. Based on the proposed architecture, intelligent system software was created. As a result of testing the soft-ware of the intelligent system, it is possible to draw a conclusion about its efficiency and readiness for implementation. The designed and developed system allows to carry out intellectual analysis of historical data of crops, to display results in the form of tables and graphs, to carry out planning of crops, agrotechnological operations and fertilizer application. The introduction of this system will improve the quality of management decisions and productivity of agricultural activities.

Keywords: intelligent system, precision farming, cluster analysis, agro-technological solutions.



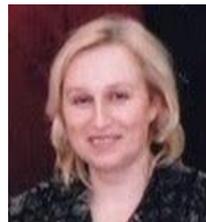
Олена Федусенко. Працює доцентом кафедри інтелектуальних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, канд. техн. наук у галузі інформаційних технологій з 2006 р. Є автором понад 60 наукових праць. Наукові інтереси: системи адаптивного навчання, генетичні алгоритми, методи Data Mining.

Olena Fedusenko. Works as an associate professor of the Department of Intellectual Technologies of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine. She got degree of candidate of technical sciences in the field of information technologies in 2006. He is the author of more than 60 scientific works. Research interests include adaptive learning systems, genetic algorithms and their application, Data Mining methods.



Наталія Шкурпела. Отримала освітній ступінь «бакалавр» та освітню кваліфікацію «Бакалавр комп'ютерних наук та інформаційних технологій» у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. Київ, Україна.

Natalia Shkurpela. She graduated with a bachelor's degree in Computer Science from Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.



Ірина Доманецька. Працює на посаді доцента кафедри інтелектуальних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, канд. техн. наук. Київ, Україна. Сфера наукових досліджень – системотехнічні дослідження в галузі ІТ, нейромережні технології та їхнє застосування, адаптивні системи навчання.

Iryna Domanetska. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, works as an associate professor of the Department of Intellectual Technologies of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine. Areas of research are system-technical research in the field of IT, neural network technologies and their application, adaptive learning systems.



Анатолій Федусенко. Військовослужбовець. Закінчив Київський національний університет будівництва та архітектури у 2000 р., отримавши кваліфікацію інженер з автоматизації, канд. техн. наук у галузі інформаційних технологій з 2016 р. Є автором багатьох наукових праць. Наукові інтереси: генетичні алгоритми та їхнє прикладне застосування, методи Data Mining і візуалізації даних, адаптивні системи навчання.

Anatoliy Fedusenko. Serviceman. He graduated from Kyiv National University of Construction and Architecture in 2000 with a degree in automation engineering. He received the degree of Candidate of Technical Sciences in the field of information technology in 2016. He is the author of many scientific works. Research interests include genetic algorithms and their application, Data Mining and data visualization methods, adaptive learning systems