УДК 631.3:528.8:681.518

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГНОСТИЧНО КОМПЕНСАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІННИХ НОРМ ВНЕСЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

О. Броварець, канд. техн. наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування України

*У статті наведено техніко-економічне обгрунтування математичного апарату для реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу***.**

Ключові слова: *моніторинг, математичний апарат, змінні норми внесення, прогностично-компенсаційна технологія.*

Суть проблеми. Сільськогосподарське виробництво характеризується нерівномірністю розподілу ресурсів у просторі і часі [1, 2]. Одним з важливих елементів ефективного використання ресурсів сучасного сільськогосподарського виробництва є застосовування технологій точного землеробства. Використання цих технологій дає можливість отримати значний економічний ефект в результаті раціонального використання земельних ресурсів, технологічного матеріалу.

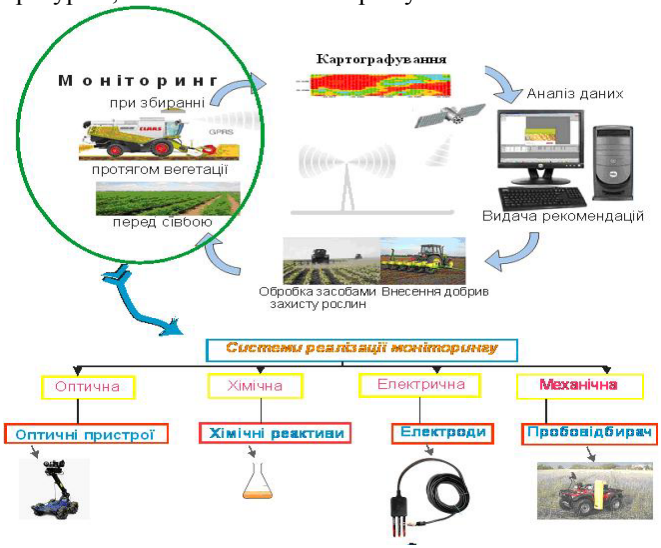

Рисунок 1 – **Схема реалізації технологій точного землеробства**

Суттєве покращення ефективності рослинництва може бути досягнуто при переході від суцільного до локально-дозованого або диференційованого обробітку ґрунту і рослин. При цьому кожна технологічна операція виконується згідно оперативно отриманою інформацією, або відповідною картограмою, яка розробляється попередньо на основі різнопланової інформації.

Розглянемо загальну схему реалізації програмного локально-дозованого обробітку ґрунту і рослин інтегрованими засобами механізації з керованою якістю виконання технологічних процесів. Під час збирання урожаю або виконання технологічної операції мікропроцесорними бортовими засобами комбайна, який рухається за заданою маршрутною картою, знімається інформація про урожайність поля із зазначенням відповідних координат. Ця інформація переноситься в комп'ютер, де за спеціальною програмою будується картограма з виділенням характерних певних ділянок поля. На реальних характерних ділянках поля проводять необхідні агрохімічні, агрофізичні, біологічні та інші дослідження. Результати заносять в комп'ютерну базу даних конкретного поля та за спеціальними програмами розробляють рекомендації з подальшого обробітку ґрунту і рослин на цьому полі у вигляді відповідних тематичних картограм.

Мета дослідження – техніко-економічне обґрунтування математичного апарату для реалізації прогностично компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для реалізації поставлено мети на основі аналізу літературних результатів [1-8] і досліджень визначено існуючі методи і технічні засобів моніторингу стану сільськогосподарських угідь, які визначають якість виконання технологічних процесів у сучасних технологіях рослинництва, встановлено комплекси технічних засобів оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь для цілеспрямованої дії на грунтове середовище робочих органів сучасних сільськогосподарських машин (рис. 1).

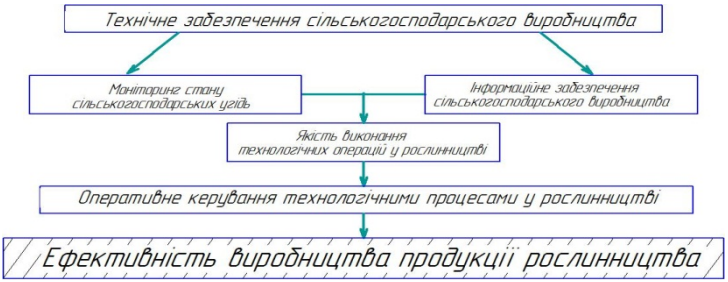

Рисунок 2 – **Вплив на ефективність виробництва**

продукції рослинництва шляхом забезпечення належної якості виконання технологічної операції

Таким чином, необхідна ефективність виробництва продукції рослинництва основних технологічних процесів у рослинництві (рис. 3) забезпечується за рахунок інтегрованого інформаційного забезпечення системи та моніторинг стану сільськогосподарських угідь, що дає можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій у рослинництві шляхом оперативного керування технологічними процесами в рослинництві.

Викладення основного матеріалу. Для реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу необхідно розробити методику реалізації, яка з врахуванням специфіки стану грунтового 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).

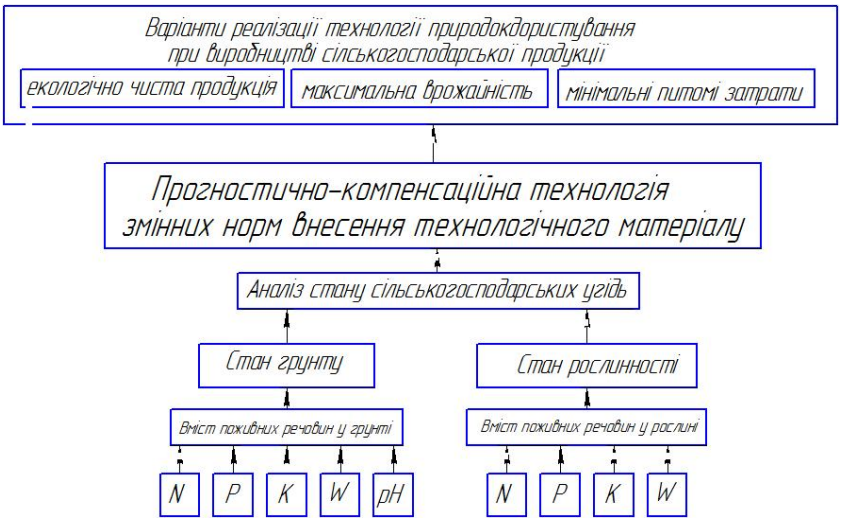

Рисунок 3 – **Реалізація прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу**

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,

про фактичний стан біосфери і прогнози її майбутнього стану. Існує проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю і оцінки стану природного середовища (моніторингу) як в місцях інтенсивної антропогенної дії, так і в глобальному масштабі.

Традиційні системи моніторингу стану сільськогосподарських угідь не забезпечують належної продуктивності та якості моніторингу. Тому виникає необхідність розроблення 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.

Для ефективного регулювання стану грунтового середовища, збереження високої якості біосфери і здатності природи до відтворення значущу роль набувають, у першу чергу, ефективні методи екологічного моніторингу – системи спостережень, оцінювання 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 грунтового середовища;
- прогноз майбутнього стану грунтового середовища і оцінку цього стану.

Для реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу може бути використана для локально-стрічкова диференційована технологія внесення технологічного матеріалу (гранульованих мінеральних добрив, насіння) із застосування спеціальних пристроїв для індивідуального приводу робочих елементів машини та пристроїв з метою 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 на виконанні технологічної операції – внесення мінеральних добрив.

Розвиток технологій точного землеробства нерозривно пов’язаний з розвитком інформаційних систем, які в сільськогосподарському виробництві використовуються для автоматизованого (людино-машинного) розв’язання

економічних задач. Для розв'язання будь-якої задачі за допомогою комп'ютера необхідно створити *інформаційне* (забезпечити розрахунки необхідними даними про партери виконуваного процесу) і *математичне* (створити математичну модель розв'язання задачі) *забезпечення.*

На рисунку 4 показана спрощена схема автоматизованого розв'язання економічної задачі (наприклад, розрахунок оптимальної виробничої програми). Необхідна для розв'язання інформація може надходити безпосередньо (вхідна інформація) або через систему інформаційного забезпечення, яка може поповнюватися і за рахунок нової інформації.

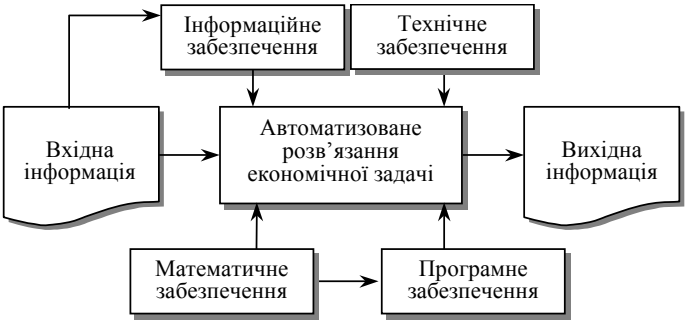

Рисунок 4 – **Схема автоматизованого розв'язання економічної задачі**

Математичні моделі й алгоритми можуть бути подані у вигляді, який передбачає етап програмування, і в формі, придатній для прямого використання при розв'язанні задачі. Вихідна інформація може бути подана в різних варіантах.

Визначальною особливістю інформаційної системи є те, що вона забезпечує користувачів інформацією з декількох організацій. Серед інших особливостей, які зумовлюють значні труднощі в розробленні та побудові інформаційних систем організаційного типу, можна назвати такі:

– середовище, в якому працюють ці системи, досить складне, не - повністю визначене і важко моделюється;

– системи мають складне сполучення із середовищем, що включає багато вхідних і вихідних ланцюгів;

– функціональні взаємозв'язки вхідних і вихідних сигналів складні в структурному, а інколи і в алгоритмічному відношенні;

– вони зазвичай містять у собі великі й складні БД (в перспективі – бази знань);

– організації-замовники завжди нагально потребують постійної й тривалої роботоздатності цих систем, причому установлюються досить стислі строки початкового введення їх в експлуатацію і наступних модифікацій.

У системах опрацювання даних (СОД) головними її компонентами є дані та обчислення. Більшість інформаційних систем управління інформаційними ресурсами в організаціях вміщують і багато інших компонентів, як-от: вимоги, запити, тригери і звіти. І всі вони, зокрема, містять великі описи свого власного змісту в тій чи іншій формі. Ці описи необхідні для інтерпретації і коректного використання наданої інформації (коли в системі відсутній повний опис, то мається на увазі, що користувачі отримують його з іншого джерела).

Для головних компонентів інформації (даних і обчислень) важливе значення має така характеристика, як їх *надмірність*. Визначення надмірності суттєво залежить від одиниці інформації. Коли одиниця вибрана, то надмірність – це просто дублювання однієї й тієї самої одиниці в системі. Суттєвим рішенням при виборі одиниці інформації є вибір її розміру. Вибір занадто малої одиниці приводить не тільки до високого рівня незалежності блоків інформації, але й до збільшення накладних витрат та затрат на підтримку; при прийнятті крупної одиниці буде неможливо уникнути численного дублювання підблоків інформації.

Визначення норм мінеральних добрив можна зробити, скориставшись даними агрохімічного аналізу грунту конкретного поля, показниками забезпеченості грунту елементами живлення, нормативної потреби за формулою:

$$Д = У_п \cdot Н_п \cdot К \qquad (1)$$

де $Д$ – річна норма діючої речовини азоту, фосфору, калію із розрахунку на планову врожайність, кг/га діючої речовини, $кг/га$;

$У_п$ – прогнозована врожайність насінників, $ц/га$

$Н_п$ – нормативна потреба у повних елементах на 1 ц насінників на фоні 30 т/га гною, кг/га діючої речовини, $кг/ц * га$;

К – 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:

$$Д = \frac{(100 \cdot В \cdot У_П) - (30 \cdot Р_Г \cdot К_К)}{К_{МД}} - \frac{Н_{ОД} \cdot Р_{ОД} \cdot К_{ОД}}{10} \qquad (2)$$

де $Д$ – річна розрахункова доза азоту, фосфору, або калію на запланований врожай насінників, кг/га діючої речовини;

$В$ – винесення елементу живлення на 1 тонну врожаю коренеплодів, кг;

$У_П$ – планова врожайність коренеплодів, т/га;

$Р_Г$ – вміст рухомих форм елементу живлення, мг на 100 г грунту;

$P_{ОД}$ – вміст рухомих форм елементу живлення в органічних добривах, %;

30 – постійний перерахунковий коефіцієнт;

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

$K_K, K_{ОД}, K_{МД}$, – коефіцієнти використання елементів живлення відповідно з грунту, органічних та мінеральних добрив.

Необхідно відзначити складність його застосування, яка пов'язана з відсутністю чи відносністю коефіцієнтів використання елементів живлення з різних грунтів, органічних та мінеральних добрив. Тому на практиці широко застосовують дані про забезпеченість грунтів елементами живлення (табл. 1). В результаті багаторічних досліджень в стаціонарних та польових дослідах встановлена зональна нормативна потреба насінників у кожному з елементів живлення мінеральних добрив на формування одиниці врожаю залежно від забезпеченості грунту відповідним елементом живлення (табл. 1).

Таблиця 1 – **Забезпеченість грунтів елементами живлення**

№ п/п	Елементи живлення за різними методами їх визначення	Забезпеченість елементами живлення, мг/кг грунту		
		низька	середня	підвищена
1	Гумус, %	1,2–2,5	2,6–4,8	4,9–7,9
2	Азот легкогідролізований за Тюріним-Кононовою	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 грунту	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 грунти)	20-50	51-90	91–120
	Калій за методом Мачигіна (карбонатні грунти)	30-60	61-100	101-130

Таблиця 2 – **Винесення елементів живлення з грунту (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_2O_5	64	16	80
3	K_2O	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

Слід зазначити, що рівень забезпеченості грунту елементами живлення визначають, скориставшись даними щорічних агрохімічних аналізів, градація цього рівня по кожному з елементів залежить від їх вмісту [2]. При вирощуванні сільськогосподарських культур відбувається винесення елементів живлення сільськогосподарськими культурами. Орієнтоване винесення елементів живлення з грунту наведено в таблиці 2.

Без інформації про потреби рослин в елементах живлення, а також їх наявності в ґрунті неможливо одержувати стабільно високі урожаї. Коли застосовують малі дози добрив (найчастіше при сівбі та на операціях підживлення), цілком 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 нормативним методами, для яких вже необхідні достовірні відомості про поточний агрохімічний склад ґрунтів.

При реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту використано принципи наведені в таблиці 3.

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

Рекомендації для внесення технологічного матеріалу			
Родючість грунту	Відношення ціни на добриво і зерно кукурудзи	Попередня культура	Вміст азоту в грунті
- висока; - середня; - низька.	$\frac{\$/\text{діючої_речовини_N}}{\$/\text{кг_зерна}}$	визначається коефіцієнтом, що змінюється від 0 до 1 залежно від винесення поживних речовин попередником	визначається вміст поживної речовини в грунті

На підставі 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 грунту**

Відношення ціни на діючу речовину N ($/кг) і зерна ($/кг)	Кукуруза-кукуруза		Кукуруза-соя	
	Доза, яка дає максимальний прибуток	Рекомендований діапазон	Доза, яка дає максимальний прибуток	Рекомендо-ваний 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

Розрахунковий ефект від комплексного впровадження машин з керованою якістю виконання технологічних процесів на вирощуванні зернових культур, може становити понад 20% [8].

Тому для реалізації прогностично-компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу необхідно забезпечити локально-стрічкове диференційованого внесення мінеральних добрив за допомогою спеціального пристрою індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення мінеральних добрив шляхом використання 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), які розміщуються спереду на транспортному засобі під час виконання технологічної операції, що дає можливість забезпечити оптимальну норму внесення поживних речовин у грунт з використанням даних від двох систем моніторингу.

Висновки

Запропонована прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту дозволяє реалізувати локально-стрічкове диференційоване внесення мінеральних добрив з пристроями для моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля на основі даних моніторингу фізико-механічного та агробіологічного стану ґрунтового та рослинного середовища з використанням змінних норм внесення технологічного матеріалу, шляхом вимірювання електропровідних властивостей ґрунту та

вимірювання спектрів відбиття рослинного покриву для забезпечення підбору оптимальної площі живлення рослин з врахування просторової неоднорідності ґрунтового покриву та дозволяє зекономити 10-25 % посівного матеріалу і сприяє підвищенню урожайності сільськогосподарських культур в середньому на 10-20 ц/га.

Література

1. Масло І.П., Мироненко В.Г. Автоматизована система моніторингу родючості грунту та локально-дозоване використання хімпрепаратів //Вісник сільськогосподарської науки.-1998.-№5, с.56-58.

2. Пастушенко С.И. Оптимизация сельскохозяйственных технических систем // Техніка АПК. – 1999. - №8. – С. 12-15.

3. Адамчук В.В., Мойсеєнко В.К., Кравчук В.І., Войтюк Д.Г. Техніка для землеробства майбутнього. / В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ „ІМЕСГ”. – 2002. – Вип..86. – С. 20-32.

4. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І.Грицишина, С.М.Коваля. – К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.

5. Myronenko V., Dubrovin V. Rizeni pracovnich procesu ekologicke techniky. Sbornik prednasek VUZT “Zemedelska technika a biomasa 2004”. Том 5,- Praha, 2004.-С.71-75.

6. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинництві. Монографія, НАУ – К.,2005. – 271с.

7. Гром-Мазничевский Л.И., Коваль В.А., Мироненко В.Г. и др. Разработать средства и системы автоматического контроля и управления мобильными сельскохозяйственными машинами с использованием микропроцессорной техники. Научный отчет УНИИМЭСХ, 1990. – 124 с., № гос. регистрации 81096003.

8. 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 // Научно-практический журнал «Хранение и переработка зерна». – 2013. – № 6 (171). – С. 37-42.

Аннотация

В статье приведено технико-экономическое обоснование математического аппарата для реализации прогностически-компенсационной технологии переменных норм внесения технологического материала.

Summary

The technical and economic justification of mathematical device for forecasting and compensative technology of variable norms of technological materials applications realization is presented.