

РОЗВ'ЯЗАННЯ КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ В ЕКОБЕЗПЕЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

У статті представлено особливості використання математичного апарату теорії ігор у аграрному виробництві, що дозволяє суттєво зменшити рівень невизначеності при прийнятті управлінських рішень, з метою забезпечення у рослинництві цілеспрямованих дій за різних (не передбачуваних) природних умов із урахуванням екологічного та економічного факторів виробництва.

Постановка проблеми. За роки незалежності України спостерігається значне загострення екологічної кризи, що є особливо помітним у галузі сільського господарства. Життєво важливим постає необхідність посилення заходів щодо збереження екологічної безпеки регіонів, що зокрема стосується й проблеми дотримання норм та строків внесення добрив, глибини обробітку ґрунту та ін. Але встановлення для кожної окремої ситуації екологічно безпечних норм цих показників є складною справою, що обумовлюється тривалістю процесів спостереження та вимірювання окремих факторів, що характеризують ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Особливо важливим є ефективне поєднання стратегій ґрунтозахисного обробітку із нормами внесення добрив. Визначення оптимальної кількості добрив за різних варіантів обробітку ґрунту іноді вимагає багатьох років польових дослідів. Саме тому особливого значення набуває сьогодні використання апарату математичного моделювання у аграрному виробництві.

Аналіз основних досліджень та публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми. Активізація впливу негативних факторів на земельні ресурси зумовила пошук шляхів підвищення родючості та продуктивності ґрунтів, а також екологізації виробничих процесів у сільському господарстві на основі запровадження екологобезпечних агротехнологій та систем землеробства [3, 7]. У зв'язку з цим набуває актуальності поняття екологобезпечного землекористування, під яким слід розуміти процес оптимізації використання земель людиною на основі екологічних критеріїв, що передбачає збереження і підвищення рівня родючості ґрунтів шляхом впровадження системи заходів, до яких відносяться: вдосконалення структури сільськогосподарських угідь і посівних площ, ґрунтозахисний обробіток земель, науково обґрунтовані норми внесення добрив, застосування переважно біологічних методів захисту рослин та сучасної сільськогосподарської техніки [2].

Теорією і практикою аграрного виробництва розроблено і апробовано значний перелік рекомендацій щодо особливостей проведення різноманітних варіантів ґрунтозахисного обробітку ґрунту та можливостей внесення різних видів мінеральних добрив. Проблема постає саме у виборі найбільш взаємовигідних комбінацій з широкого переліку можливих з метою як найповнішого використання природних можливостей ґрунту за критеріями оптимального еколого-економічного ефекту. Надзвичайно важливим є правильне проведення механічного ґрунтозахисного обробітку ґрунту, завдання якого полягає у наступному [4]:

- зміна будови і структури обробленого шару ґрунту;
- поліпшення поживного режиму;
- забезпечення рівномірної родючості орного шару ґрунту;
- поглиблення орного шару;
- очищення ґрунтового середовища від вегетуючих бур'янів, їх насіння і органів вегетативного розмноження, від збудників хвороб і шкідників;
- загортання у ґрунт рослинної маси, добрив, а при необхідності і пестицидів;
- підвищення протиерозійної здатності ґрунту;
- знищення багаторічної рослинності;
- забезпечення сприятливих умов для якісного проведення сівби, догляду за рослинами, збирання

врожая та інших робіт.

Вцілому ж можна стверджувати, що на даному етапі проблема екологобезпечного використання земельних угідь досліджена та висвітлена у літературі в неповному обсязі, особливо в частині ефективного поєднання ґрунтозахисних способів обробітку та різних норм внесення мінеральних і біологічних добрив, які позитивно впливають на якісний стан ґрунтового покриву та дають змогу знизити витрати на вирощування сільськогосподарських культур.

Досить вдалим, на нашу думку, підходом до раціонального підбору технологій збереження та відтворення ґрунтового покриву за отримання економічно-рентабельних врожаїв є застосування математичного апарату теорії ігор. Її інструменти здатні підібрати оптимальну модель поєднання стратегій удобрення полів та глибини ґрунтозахисного обробітку.

Мета досліджень. Метою проведеного дослідження був підбір оптимальної екологічнобезпечної стратегії проведення сільськогосподарських заходів щодо удобрення ґрунту та механічного обробітку полів під горох на основі можливостей математичного апарату теорії ігор.

Результати досліджень. Використання можливостей сучасного математичного апарату шляхом реалізації його за допомогою комп'ютерної техніки та новітніх програмних середовищ дозволяє досить ефективно змодельовати певні виробничі ситуації у сільському господарстві. І особливо важливим є не тільки економія матеріальних ресурсів в окремих умовах, а й можливість розробки багаторічних стратегій та розгляду різноманітних ситуацій, що при проведенні реальних дослідів вимагають не одного, а кількох років.

Ще однією цікавою особливістю аграрного виробництва, з точки зору його математичного моделювання, є функціонування в умовах невизначеності. Адже невизначеними є не лише нестабільні економічні умови, а й природні. Крім того, у більшості випадків може ставитися багатокритеріальна задача щодо максимізації економічного ефекту та мінімізації екологічного впливу на навколишнє середовище. Саме на основі цих факторів нами було використано апарат теорії ігор для прийняття рішень у конкретній виробничій ситуації.

Теорія ігор – це математична, що займається вивченням ситуацій, пов'язаних із прийняттям рішень, в яких дві або більше конкуруючих сторін мають конфліктуючі цілі [6, 8, 9]. У сільському господарстві теорія ігор може використовуватись при моделюванні умов, в яких антагоністичною силою виступає природа, і коли ймовірність настання тих чи інших подій багатоваріантна чи невідома. Прийняття рішень щодо багатьох процесів у сільському господарстві ускладнюється тим, що вони охоплюють велику кількість суперечливих і часто протилежних інтересів для різних сторін, кожна з яких має власні можливості впливати на ці процеси [5].

Теорія ігор досліджує оптимальні стратегії в ситуаціях, що пов'язані з вибором найвигідніших виробничих рішень в системі наукових та господарських експериментів, з організацією статистичного контролю, господарських стосунків між підприємствами чи окремими частинами. Формалізуючи конфліктні ситуації математично, можна представити їх як гру двох, трьох і т. д. гравців (сторін), кожна з яких переслідує мету максимізації своєї вигоди, свого виграшу за рахунок іншого.

При формалізації певної виробничої ситуації, на етапі створення математичної моделі слід відобразити такі компоненти конфлікту:

- зацікавленість сторін;
- інтереси сторін;
- можливі дії сторін із визначенням правил цих дій.

Розв'язання подібних задач потребує визначеності у формулюванні їх умов: встановлення кількості гравців та правил гри, виявлення переліку можливих стратегій та виграшів (від'ємний виграш розуміється як програш). Важливим елементом в умові задач є поняття стратегії, тобто сукупності правил, які залежно від ситуації в грі визначають однозначний вибір даного гравця. Кількість стратегій кожного гравця може бути скінченною чи нескінченною, в залежності від чого ігри поділяються на скінченні і нескінченні. При дослідженні скінченної гри задається матриця виграшів, а в нескінченній – функція виграшу. Для розв'язання задач можуть бути застосовані алгебраїчні методи, що базуються на розв'язанні системі лінійних рівнянь і нерівностей; ітераційні

методи, а також зведення задачі до деякої системи диференційних рівнянь [10].

Задачу матричної гри досить легко можна звести до задачі лінійного програмування, яку можна розв'язати будь-яким з відомих методів. При розв'язанні задачі симплекс-методом доцільно скористатися надбудовою Поиск решения¹ електронних таблиць Microsoft Excel.

На основі застосування теорії ігор з метою оптимізації норм внесення мінеральних добрив за різних варіантів ґрунтозахисного обробітку під посіви гороху нами досліджено особливості ведення аграрного виробництва за різних температурних режимів в сільськогосподарському підприємстві СК „Дружба” Котелевського району Полтавської області.

Назване підприємство вирощує горох по попереднику озимій пшениці. Підвищення урожайності досліджуваної сільськогосподарської культури залежить від кількості внесених мінеральних добрив, що в свою чергу впливає на поживність цієї культури (ц к. од. з 1 ц), та глибини ґрунтозахисного обробітку. Господарство може вносити під горох мінеральні добрива за наступними нормами: $N_{70}P_{50}K_{50}$, $N_{90}P_{70}K_{70}$, які відповідно забезпечують урожайність цієї культури в залежності від глибини ґрунтозахисного обробітку.

Загальновідомо, що урожайність сільськогосподарських культур серед великого переліку різноманітних зовнішніх умов значною мірою залежить також від суми активних температур у вегетаційний період. Нами досліджувалась залежність урожайності значного переліку сільськогосподарських культур від агрокліматичних умов Полтавського регіону. Так, було встановлено помітну залежність урожайності гороху від правильного підбору технології вирощування за різних температурних умов.

Нами досліджувалися особливості зміни поживності гороху за різних варіантів удобрення та ґрунтозахисного обробітку в різних температурних умовах. Сума активних температур розраховувалася за даними Котелевської метеостанції. Досліди проводилися протягом 20 років. На основі усереднених даних розраховано діапазон коливання суми активних температур. Для подальших розрахунків весь діапазон суми активних температур було поділено на три рівних піддіапазони, кожен з яких відповідно позначено t_1 , t_2 , t_3 .

Шість досліджуваних варіантів вирощування гороху були прийняті за шість стратегій із відповідними позначеннями S_1 , ..., S_6 .

Метою нашого дослідження був підбір оптимальної стратегії (чистої або змішаної) вирощування гороху, яка б за будь-яких непередбачуваних зовнішніх температурних умов забезпечувала б поживність гороху не нижчу певного гарантованого рівня.

Кількісна залежність поживності гороху від дії окремих норм внесення добрив та різної глибини ґрунтозахисного обробітку за трьох температурних режимів наводиться в таблиці 1.

Таблиця 1

Поживність гороху за різних умов вирощування, ц к.о.

Стратегія	Доза внесених добрив / ґрунтозахисний обробіток (см)	Температурний режим		
		t_1	t_2	t_3
S_1	$N_{70}P_{50}K_{50}$, обробка – 20-22 см	21,5	20,9	20,5
S_2	$N_{90}P_{70}K_{70}$, обробка – 20-22 см	22,5	22,2	21,1
S_3	$N_{70}P_{50}K_{50}$, обробка – 10-12 см	21,1	23	21,8
S_4	$N_{90}P_{70}K_{70}$, обробка – 10-12 см	21,9	21,5	21
S_5	$N_{70}P_{50}K_{50}$, обробка – 5-6 см	20,8	19,6	20,4
S_6	$N_{90}P_{70}K_{70}$, обробка – 5-6 см	21,9	22,8	21,2

Задача може бути зведена до парної матричної гри з нульовою сумою. Тоді матриця гри матиме вигляд:

¹ Назви команд, засобів та програмних середовищ наводяться мовою оригіналу

$$A = \begin{pmatrix} 21,5 & 20,9 & 20,5 \\ 22,5 & 22,2 & 21,1 \\ 21,1 & 23,0 & 21,8 \\ 21,9 & 21,5 & 21,0 \\ 20,8 & 19,6 & 20,4 \\ 21,9 & 22,8 & 21,2 \end{pmatrix},$$

де i -й рядок – стратегії вирощування, а j -й стовпчик – температурні режими.

Слід відмітити, що необережне і нерозумне внесення мінеральних чи органічних добрив може лише зашкодити підприємству як з екологічної, так і економічної точки зору. Тому стратегія і завдання господарства полягає в максимальному збільшенні урожайності, враховуючи оптимальні норми внесення добрив. Діючи обережно, не ризикуючи, можна з усіх можливих варіантів обрати той, у якому за будь-яких зовнішніх умов урожайність буде не нижчою гарантованого рівня.

У процесі перевірки видно, що гра не має розв'язку у чистих стратегіях, адже нижня границя гри не дорівнює верхній

$$\underline{V} = \max_{1 \leq i \leq m} \left(\min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \right) = 21,2, \quad \overline{V} = \min_{1 \leq j \leq n} \left(\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij} \right) = 21,8,$$

$\underline{V} < \overline{V}$ – гра не має сідлової точки, тобто відсутній розв'язок у чистих стратегіях.

Тобто, за даних умов для господарства використання тільки однієї з можливих стратегій є нерентабельним, адже пов'язане із значним ризиком і не гарантує потрібного рівня поживності (середньої для всіх посівних площ). У розглядуваному випадку доцільніше використати змішані стратегії, що значно підвищить рівень гарантованої врожайності (в середньому).

Дану задачу легко розв'язати, звівши її до задачі лінійного програмування [8]. Для визначення оптимальної вирощування культури запишемо умову задачі у формалізованому вигляді [1]:

$$F_{\max} = V \text{ за умов } \sum_{i=1}^m a_{ij} x_i \geq V, \quad \sum_{i=1}^m x_i = 1, \quad x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n},$$

де x_1, x_2, \dots, x_m – ймовірності (частоти), з якими підприємство вибирає відповідно першу, другу, ..., m -ту чисті стратегії; V – ціна гри; a_{ij} – відповідні коефіцієнти у матриці.

Тобто набори чисел $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ – змішані стратегії підприємства, серед яких нам слід обрати таку стратегію X^* , щоб за відсутності інформації про стратегії природи (можливі чи прогнозовані температурні режими) максимізувати зиск підприємства.

$$V(X^*) = \max_X \min_Y \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i y_j,$$

де y_i – ймовірності відповідності температурного режиму у вегетаційний період відповідному діапазону, X та Y – множини змішаних стратегій відповідно підприємства та зовнішніх умов.

Процес розв'язання гри можна спростити, якщо перейти до допоміжних змінних $p_i = \frac{x_i}{V}$. Це можливо,

адже $a_{ij} \geq 0$.

Тоді умову задачі можна представити у наступному вигляді:

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^m p_i, \quad \sum_{i=1}^m a_{ij} p_i \geq 1, \quad p_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}$$

У чисельному вигляді задачу можна представити як систему обмежень:

$$\begin{cases} 21,5 p_1 + 22,5 p_2 + 21,1 p_3 + 21,9 p_4 + 20,8 p_5 + 21,9 p_6 \geq 1, \\ 20,9 p_1 + 22,2 p_2 + 23,0 p_3 + 21,5 p_4 + 19,6 p_5 + 22,8 p_6 \geq 1, \\ 20,5 p_1 + 21,1 p_2 + 21,8 p_3 + 21,0 p_4 + 20,4 p_5 + 21,2 p_6 \geq 1, \\ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6 \geq 0, \end{cases}$$

та цільову функцію $Z_{\min} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6$

Для отримання розв'язку скористаємось вбудованим засобом Поиск решения електронних таблиць MS Excel (рис. 1).

Номер стратегії	Доза внесення добрив / ґрунтозахисний обробіток (см)	Температурний режим			Шукані значення	Допоміжні змінні
		1	2	3		
1	N7P10C30, обробка - 20-22 см	21,5	20,9	20,5	x_1	0
2	N9P10C30, обробка - 20-22 см	22,5	22,2	21,1	x_2	0,0154
3	N7P10C30, обробка - 10-12 см	21,1	23	21,8	x_3	0,0309
4	N9P10C30, обробка - 10-12 см	21,9	21,5	21	x_4	0
5	N7P10C30, обробка - 5-6 см	20,8	19,6	20,4	x_5	0
6	N9P10C30, обробка - 5-6 см	21,9	22,8	21,2	x_6	0

Обмеження:	формула	знак	обмеж
	=СУММПРОИЗВ(C3:C8;K3:K8)	>=	1
	=СУММПРОИЗВ(D3:D8;K3:K8)	<=	1
	=СУММПРОИЗВ(E3:E8;K3:K8)	>=	1

Цільова функція допоміжної задачі	формула	значення
	=СУМ(K3:K8)	21,57

Рис. 1. Загальний вид моделі у MS Excel та вікні Поиск решения

На рисунку 1 відображено вхідні дані та наявні у моделі залежності між параметрами.

Далі у вікні Поиск решения² зазначаємо обмеження, сенс цільової функції та адреси чарунок, відведених під шукані значення. У вікні Параметры рекомендується встановити прапорець Неотрицательные значения для виключення від'ємних розв'язків.

В результаті отримано наступні значення: $x_2 = 0,33$, $x_3 = 0,67$, $x_1 = x_4 = x_5 = x_6 = 0$. При цьому ціна гри $V = 21,57$. Це означає, що за будь-яких температурних умов поживність гороху буде не нижчою гарантованого рівня – 21,57 ц кормових одиниць з 1 га за умов, що на 33 % посівних площ буде використано другу стратегію вирощування, а на 67 % площ – третю.

Висновки. Застосування математичного апарату для дослідження гострих проблем агроекології та екологічної безпеки сільськогосподарської продукції дозволяє оптимізувати та покращити екологічний стан регіону, забезпечити населення екобезпечними продуктами харчування, дотримуватись раціонального внесення добрив, оптимізувати глибину ґрунтозахисного обробітку і т.п. Очевидним є також актуальність та доцільність застосування засобів автоматизації при проведенні таких розрахунків.

Література

1. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб. пособие для студентов эконом. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 319 с., ил.
2. Бабміндра Д.І. Еколого-економічні засади реформування землекористування в ринкових умовах: Автореф. дис. ... д-ра екон. наук: 08.08.01 / Рада по вивченню продукт. сил України, НАН України. – К., 2005. – 35 с.
3. Пилипенко О.О. Ефективність екологічно безпечного використання земель у сільському господарстві:

² Засіб Поиск решения викликається командою Сервис → Поиск решения. За відсутності відповідної команди у меню Сервис слід виконати команду Сервис → Надстройки.

Автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.07.02 / Нац. наук. центр "Ін-т аграр. економіки". – К., 2004. – 20 с.

4. Загальне землеробство: Підручник / За ред. В.О. Єщенка. – К.: Вища освіта, 2004. – 336 с.

5. Кутковецький В.Я. Дослідження операцій: Навчальний посібник. – К.: Вид-во ТОВ „Видавничий дім „Професіонал”, 2004. – С. 292-330.

6. Мур Дж., Уэдерфорд Л. Экономическое моделирование в Microsoft Excel, 6-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом „Вильямс”, 2004. – 1024 с.

7. Програма дій "Порядок денний на ХХІ століття" / Переклад з англ. - К.: Інтелсфера, 2000. – С. 95.

8. Ульяновченко О.В. Дослідження операцій в економіці. – Харків: Гриф, 2002. – 580 с.

9. Чемерис А., Юринець Р., Мицишин О. Методи оптимізації в економіці. Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 152 с.

10. Навчальна електронна бібліотека факультету кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка: <http://www.unicyb.kiev.ua/Library/TEA/4%5B1%5D.pdf>.