

УДК 631.153.3:631.582:332

І. І. Садовий,
аспірант, Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

ПРОЕКТУВАННЯ СІВОЗМІН В ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

I. Sadovoy,
graduate student, V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University

USE OF LINEAR PROGRAMMING FOR PLANNING CROP ROTATIONS IN FARMS

Ферми в Україні використовують різні схеми сівозмін. Тому для багатьох фермерських господарств потрібні моделі лінійного програмування, об'єктом досліджень яких є сівозміни. Дослідження показало, що лінійне програмування може забезпечити інформацією поліпшення системи ведення сільського господарства, але модель лінійного програмування повинна бути ретельно відпрацьована і інтерпретуватися так, щоб користувачі мали впевненість у достовірності результатів. Модель, яку ми розробили, в змозі прийняти до уваги наступне: рівень врожайності, дохідність господарства, практику вирощування двох або більше культур на одному полі. Запропонований нами підхід протестований на фермерському господарстві в Краснокутському районі. Результат моделювання — це науково-обґрунтоване чергування культур без заздалегідь запрограмованої послідовності.

Farms in Ukraine employ a variety of crop rotations schemes. This has led to many farm linear programming models which explicitly include crop-rotation considerations. The study concluded that linear programming can provide information to assist with improving farming systems, but the LP model has to be carefully constructed and interpreted so that model users will have confidence in the answers it provides. The model we have developed is able to take into account follows: the crop yields, the yield (finance), the practice of growing two or more crops in the same field. The approach is tested on a farm in Krasnyi Kut district. The model develops a plausible set of rotations and does not require the rotations to be predetermined.

Ключові слова: модель лінійного програмування, сівозміна, фермерське господарство, баланс гумусу.

Key words, linear programming model, crop rotation, farm, humus balance.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ведення товарного сільськогосподарського виробництва проводиться відповідно до затверджених проектів землеустрою [1; 2; 3, с. 85]. При відхиленні від цих проектів користувачі несуть відповідальність згідно статі 55 Кодексу України про адміністративні правопорушення [4]. Тому оптимізація сівозмін є не лише однією з найскладніших завдань у сільському господарстві, а й одне з найважливіших. Для фермерських господарств ефективне управління сівозміною часто має вирішальне значення для всієї їх діяльності.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У вітчизняній та закордонній науковій літературі існує багато публікацій присвячено моделюванню сівозмін. Так запропонували моделі чергування культур El-Nazer T. і McCarl B. A. (1986) [5], S Dogliotti, WAH Rossing, MK Van Ittersum. (2003) [6], Klein Haneveld та Stegeman (2004) [7], Ю.Б. Коробочкин, О. Я. Куций, В. А. Романенков (2013) [8], Надточій, О.В. [9]. Але розроблені моделі сівозмін не повністю відповідають специфіці фермерських господарств: короткостроковість

сівозмін, малий набір сільгоспкультур, наявність збірних полів. У багатьох запропонованих моделях сівозмін не враховано градацію впливу попередників на врожайність основної культури.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Розробити економіко-математичну модель за допомогою лінійного програмування та випробувати її для проектування сівозмін фермерського господарства. Запропонована економіко-математична модель повинна відповідати наступним вимогам:

- диференціація розміщення сільськогосподарських культур відповідно до їх агроекологічних вимог; адаптивно розміщення сівозмін на угрупуваннях екологічно однорідних ділянок;
- відповідність сівозмін рівням забезпеченості агрохімічними та іншими ресурсами;
- максимально можливий захист поверхні ґрунту під покривом рослин або рослинних залишків та інші.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

В основу впровадження оптимальної сівозміни повинен бути покладений принцип еколого-економічної доцільності, максимального використання ґрунтового-кліматичних факторів, виробничого потенціалу рослин, що є найкращим засобом підвищення біопродуктивного потенціалу землі та забезпечення економічної ефективності виробництва. На першому етапі можуть бути розглянуті наступні критерії оптимізації: оптимальний попередник, врожайність, умовний прибуток певної культури. Теоретично можна розширити перелік важливих для сівозмін критеріїв, але аналіз інформації цього спрямування показав, що такі критерії (транспортні витрати, мікроклімат поля тощо) недостатньо інформаційно забезпечені. Дані ґрунтових та просторових факторів отримуємо з проекту організації території земельних часток-паїв та з проектів відведення земель запасу в оренду фермерським господарствам. Дані потенціалу рослин отримуємо з форм 29-ст статистичної звітності за період 2011—2013 рр. Економічні дані отримуємо у фермерському господарстві в розрізі сільськогосподарських культур за 2013 рік: реалізація продукції (робіт, послуг): у фізичній масі, ц; виробнича собівартість, тис. грн.; чистий дохід (виручка) від реалізації, тис. грн. Іншу нормативно-довідкову інформацію конкретної задачі складають дані переважно з літературних джерел, оскільки прямих досліджень з цього питання в регіоні обмаль, і є не безпідставні сумніви щодо їх якості.

Дані про вплив попередників отримуємо з затверджених Міністерством аграрної політики України та Міністерством фінансів України Методичних рекомендацій [10]. В них приведено класифікацію

попередників — поділ попередників сільськогосподарської культури в сівозміні на класи за бальною оцінкою їх ефективності [10]. Класифікація має не лише вербальну оціночну шкалу, а й визначення числових значень градацій шкали. Так, зазначено, що рівень урожайності між хорошим та найкращим попередником не більше 10%. Для запропонованої нами моделі на базовому рівні приймемо цей показник градації для всіх класів.

У спеціальній літературі зазначені різні класифікації попередників. Так, у згаданих методичних рекомендаціях [10] спочатку визначають п'ять назв класів, а потім в таблиці по тексту приводиться чотири назви класів. У Тараріко О.Г., Лобаса М.Г. [11] їх теж чотири, але вони дещо відрізняються за назвою і змістом. Харсун О. виділяє три класи [12]. В запропонованій моделі сівозмін використано наступні три класи попередників: найкращі, хороші, допустимі.

У науковій літературі є відмінні від вищезазначеного впливу попередників на певні культури. Науково доведено, за поганих попередників урожайність пшениці знижується до 40%, озимого жита — до 15% [13]. Родючість залежить не лише від попередників, а параметри стосовно провідних сільськогосподарських культур визначаються генетичними особливостями ґрунтів, їх гранулометричним складом, ступенем зволоження і мають значні відмінності в зонально-регіональному плані. Так, за умов зрошення може різко змінюватись якість попередника. Наприклад, якщо на неполивних землях Степу цукрові буряки для кукурудзи через можливе погіршення водного режиму є не кращим попередником, то в умовах зрошення після буряків отримують чи не найвищі врожаї кукурудзи [14, с. 116].

Детально приклад використання земельних ресурсів та ротації сільськогосподарських культур дослідили на базі фермерського господарства "Авенго" Краснокутського району. Харківської області. Землекористування досліджуваного господарства до 2014 року здійснювалось безсистемно, не дотримуючись сівозмін і нехтуючи підбором задовільного попередника. Але після вивчення картограм агропромислових груп ґрунтів, крутизни схилу з врахуванням оцінювання полів за придатністю для вирощування культур їх поєднують у групи полів, які близькі за умовами рельєфу, ґрунту, зволоження. Визначають доцільне їх використання — схему сівозміни. Та врахувавши наукові і нормативні рекомендації [10; 11; 15; 16; 17, 18] вирішено розробити дві сівозміни: польову зерно-просапну сівозміну на землях крутизою до 3° (перша еколого-технологічна група земель) та польову зернову (без просапних) на землях більше 3° (друга еколого-технологічна група земель).

Математичну модель можна представити в такому вигляді:

Таблиця 1. Варіанти розміщення сільськогосподарських культур в зерно-просапній сівозміні фермерського господарства "Авенго" Краснокутського району Харківської області

Варіанти розміщення культури (q)	Поля								Тип обмеження	Максимально можлива площа посіву (B _l)
	1-ше	2-ге	3-ге	4-ге	1-ше	2-ге	3-ге	4-ге		
	перша половина				друга половина					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
розміщення соняшника (a _{hql})										
1	1	0	0	0	0	0	0	0	<	16,24
2	0	1	0	0	0	0	0	0	<	16,24
3	0	0	1	0	0	0	0	0	<	16,24
4	0	0	0	1	0	0	0	0	<	16,24
5	0	0	0	0	1	0	0	0	<	16,24
6	0	0	0	0	0	1	0	0	<	16,24
7	0	0	0	0	0	0	1	0	<	16,24
8	0	0	0	0	0	0	0	1	<	16,24
розміщення пшениці озимої та проса										
1	1	0	0	1	0	0	0	0	<	32,48
2	1	0	0	0	1	0	0	0	<	32,48
3	1	0	0	0	0	1	0	0	<	32,48
4	0	1	0	0	1	0	0	0	<	32,48
5	0	1	0	0	0	1	0	0	<	32,48
6	0	1	0	0	0	0	1	0	<	32,48
7	0	0	1	0	0	1	0	0	<	32,48
8	0	0	1	0	0	1	0	0	<	32,48
9	0	0	1	0	0	0	0	1	<	32,48
10	0	0	0	1	0	0	1	0	<	32,48
11	0	0	0	1	0	0	0	1	<	32,48
12	0	0	0	0	1	0	0	1	<	32,48

Максимізувати прибуток від реалізації товарної продукції:

$$F_{\max} = \sum_{d=1}^m \sum_{e=1}^n c_{de} x_{de} \quad (1)$$

за таких умов:

1) по площі посівів сільськогосподарських культур на різних полях:

$$\sum_{f=1}^k \sum_{g=1}^l a_{fgj} x_{fg} = P_j, j \in J \quad (2)$$

2) по площі посівів попередників на полі попереднього року та посівів сільськогосподарських культур на полі поточного року:

$$\sum_{f=1}^k \sum_{g=1}^l a_{fgk} x_{fg} = 0, k \in K \quad (3)$$

3) по варіантам вирощування культури на одному і тому самому полі:

$$\sum_{f=1}^k \sum_{g=1}^l a_{fgl} x_{fg} + x_{hq} \leq B_l, l \in L, h \in H, q \in Q, q = l \quad (4)$$

4) по допустимій періодичності вирощування культури на одному і тому самому полі:

$$\sum_{h=1}^m \sum_{q=1}^n a_{hqo} x_{hq} = a_{vio} x_{vi}, o \in O, i \in I, v \in V, i = o \quad (5)$$

5) по допустимій періодичності вирощування культури на одному і тому самому полі:

$$\sum_{v=1}^m \sum_{i=1}^n a_{vir} x_{vi} = 1, r \in R \quad (6)$$

6) по площі посівів d-тої культури після e-того попередника та площі посівів f-тих на g-тої полі:

$$\sum_{d=1}^m \sum_{e=1}^n a_{des} x_{de} = \sum_{f=1}^k \sum_{g=1}^l a_{fgs} x_{fg}, s \in S \quad (7)$$

7) по площі посівів j-тої культури після h'-того попередника та площі посівів h-тих попередників

j'-тої культури по площі посівів j-тих культур після h-тих попередників та площі посівів j-тих культур на k-тих полях:

$$\sum_{f=1}^k \sum_{g=1}^l a_{fgt} x_{fg} = 0, t \in T \quad (8)$$

8) невід'ємність змінних:

$$x_{de} \geq 0, x_{fg} \geq 0 \quad (9)$$

9) змінні, які визначено за допомогою булевої матриці:

$$x_{hq} = \{0,1\}, x_{vi} = \{0,1\} \quad (10)$$

позначення:

F_{max} — максимальне значення умовного доходу;

P_k — площа k-го поля сівозміни;

B_l — максимальна можлива (l-варіант) площа культури в сівозміні згідно з періодичністю повернення на одне і теж місце;

x_{de} — площа посіву e-ї культури після d-го попередника;

x_{fg} — площа посіву g-ї культури на f-му полі сівозміни;

x_{hq} — q-тий варіант розміщення h-ї культури (Булева множина);

x_{vi} — i-тий концентрований варіант розміщення v-ї культури, який складається з взаємодопустимих q-тих варіантів.

S_{hj} — умовний дохід з одиниці площі посіву j-ї культури після h-го попередника, який розраховується на основі середньої урожайності за три роки, впливу попередника на врожайність основ-

Таблиця 2. Результати моделювання сівозмін фермерського господарства "Авенго" Краснокутського району Харківської області

Варіанти	Умовний дохід	Поля	Чергування культур
зерно-просапна польова			
I (10%)	383,9	I	Соя
		II	Озима пшениця+ Просо
		III	Просо + Кукурудза на зерно
		IV	Соняшник + Кукурудза на зерно
II (6-9%)	359,2-377,7	I	Соя
		II	Озима пшениця + Просо
		III	Просо + Соняшник
		IV	Кукурудза на зерно
III (5%)	353,0	I	Соя
		II	Озима пшениця + Просо
		III	Просо + Кукурудза на зерно
		IV	Соняшник + Кукурудза на зерно
IV (0%)	322,1	I	Соя
		II	Озима пшениця + Просо
		III	Просо + Соняшник
		IV	Кукурудза на зерно
зернова польова сівозміна			
I (10%)	286,184	I	Соя
		II	Озима пшениця
		III	Просо
		IV	Ячмінь

ної культури та прибутку з одиниці маси сільськогосподарської культури на час складання проекту. При розрахунку цього економіко-технічного коефіцієнту ми виходимо з припущення, що співвідношення прибутку між сільськогосподарськими культурами на проектний період буде, якщо не стане, то хоча б суттєво не зміниться.

e-ті, g-ті, h-і, v-ті, це одні й ті ж культури сівозмін, але для спрощення математичної обробки продубльовано в групах невідомих: по попередника, по (частинах поля) полях, по допустимим варіантам розміщення, по концентрованим варіантам розміщення; і ув'язані в між собою в системі обмежень. Для скорочення кількості невідомих в моделі було прийнято рішення не включати невідомі, які за класифікатором впливу попередників були б недопустимі (в деяких наукових джерелах — "погані").

q -варіант розміщення культури встановлюється переліком комбінацій згідно допустимій періодичності вирощування культури на одному і тому самому полі. Наприклад, для соняшника в чотирьохпільній сівозміні, де він може займати не більше пів поля [10], буде складена наступна таблиця варіантів розміщення (табл. 1).

Також у таблиці 1 наведено варіант розміщення для озимої пшениці та просо, які для Лісостепу мають періодичність не менше трьох років. Для сільськогосподарських культур (соя, кукурудза тощо) з іншою періодичністю варіанти розміщення на полях чотирьохпільної сівозміни — інші.

Перераховані обмеження — це основні обмеження, необхідні для складання чергування культур. Можуть бути додаткові (ситуативні) обмеження, тому що природні й економічні умови можуть вносити до характеру використання землі відповідні корективи. Багатоваріантність проектування полягає ще в тому, що система сівозмін завжди дуже різноманітна і залежить від ґрунтових, кліматичних та інших умов, а також від ринку.

Наприклад:

— загибель озимих культур спричиняє зміну складу попередників;

— відсутність насіння багаторічних трав і протиерозійної техніки стримує введення ґрунтозахисних сівозмін і вживання агротехнічних протиерозійних заходів;

— зміна планів виробництва продукції зачіпає структуру посівних площ, систему сівозмін і організацію земельних масивів, бригад та ін.

— зміна площі землекористування;

— із-за складних просторових умов необхідно додатково вводити функцію зниження подібності ділянки і т. д.

— на відміну від сільськогосподарських культур, прибуток з парів отримується опосередковано, через майбутній приріст врожайності культур, тому потребує особливого підходу при моделюванні.

Для вирішення ряду слабоформалізованих завдань у сільському господарстві, які мають складну багатofакторну структуру, залучаються висо-

Таблиця 3. Структура посівних площ та ротація сільськогосподарських культур у фермерському господарстві

Культура	Посівні площі та їх структура за досліджуваній період						Посівні площі та їх структура по проекту						Різниця в структурі посівних площ, %
	посівні площі по роках, га				співвідношення культур		польова зерно-просапна		польова зернова		всього		
	2010	2011	2012	2013	нормативи, %	фактично, %	площа посіву культури, га	співвідношення культур, %	площа посіву культури, га	співвідношення культур, %	площа посіву культури, га	співвідношення культур, %	
Зернові – всього	130	105	129	147	0-95	55,2	81,2	62,5	76,2	75	157,4	68	12,8
в т. ч. озимі	60	90	14	57	0-25	23,9	16,2	12,5	25,4	25,0	41,6	18,0	-5,9
озима пшениця	60	90	14	57	0-25	23,9	16,2	12,5	25,4	25,0	41,6	18,0	-5,9
Ярі – всього	70	15	115	90		31,3	65,0	50,0	50,8	50,0	115,8	50,0	+18,7
з них: ячмінь	60	15	35	-	0-50	11,9			25,4	25,0	25,4	11,0	-0,9
кукурудза на зерно	10	-	35	45	0-50	9,7	32,5	25,0			32,5	14,0	+4,3
просо	-	-	45	45	0-25	9,7	32,5	25,0	25,4	25,0	57,9	25,0	+15,3
Технічні – всього	101,4	100	102,4	84,4		41,9	48,7	37,5	25,4	25,0	74,1	32,0	-9,9
з них: соняшник товарний	63	40	65	50	0-14,3	23,6	16,2	12,5	0		16,2	7,0	-7,3
соя	38,4	60	37,4	34,4	0-25	18,4	32,5	25,0	25,4	25,0	57,9	25,0	+6,6
Чистий пар		26,4				2,9							-2,9
Всього	231,4	231,4	231,4	231,4		100,0	129,9	100,0	101,6	100,0	231,4	100,0	0

кокваліфіковані фахівці, що не завжди можливо в сільській місцевості. В даній роботі запропоновано інтуїтивно зрозумілу фермерам модель, яка не потребує постійної трудовитраткової роботи на рівні науково-дослідних установ.

Керівник може сам задавати умови і таким чином моделювати процес. Побудована модель дозволяє:

- поліпшити організацію виробництва сільськогосподарської продукції;
- вибрати найбільш підходящі технології та обладнання;
- визначити асортимент і конкурентоспроможність сільськогосподарської продукції [20, с. 140].

Для менших господарств можна застосовувати дану модель, але ландшафтний підхід дозволяє знайти екологічну нішу тієї чи іншої культури, підібрати близькі за агроекологічними вимогами групи культур для певного типу земель. Там, де площі земель тих чи інших типів не дозволяють розвернути сівозміну в просторі, чергування культур здійснюється в часі.

Модель має 104 невідомих та 119 обмежень. Розрахунок проводився з допомогою програми що входить до складу LibreOffice — вільний та кросплатформовий офісний пакет. Результат моделювання приведено в таблиці 2. В таблиці 2 для польової зерно-просапної сівозміни розрахована декілька варіантів рішень. Це обумовлено різницею впливу попередників на врожайність основної культури: перший варіант — 10%, другий варіант — діапазон 6 — 9 %, третій варіант — 5 %, четвертий варіант — 0 %.

Середній розмір поля чотирьохпільної сівозміни на землях першої еколого-технологічної категорії дорівнює 32,48 га. Середній розмір поля зернової сівозміни на землях другої еколого-технологічної категорії було виконано традиційним способом, із-за маленького набору культур 25,4 га.

Результати розрахунків наступні:

— при зміні у вхідних даних моделювання впливу попередників на врожайність співвідношення культур не змінюється. Тобто на співвідношення культур у більший мірі впливає розмір прибутку ніж добавка врожайності;

— при зміні впливу попередників на врожайність спостерігається циклічність в чергуванні культур. Наприклад, чергування культур однакове для 5% та 10% і для 0% та 6—9% (табл. 2).

Кожен рік результати моделювання будуть коректуватись. У запропонованій моделі сівозмін чергування культур за роками визначене не чітко: конкретне розміщення посівів на полях встановлюють щорічно з врахуванням попередників, кліматичних умов року, стану полів і виробничо-економічних умов. Якщо мета дослідження полягає у конкретних розрахунках зведених показників, то здебільшого реально доступна статистична інформація і наявність відповідних методів її агрегування є "природними" обмежниками обгрунтування. Навпаки, якщо мета дослідження не пов'язана із конкретними розрахунками, то спостерігається інша крайність — в обгрунтування включається практично все, що можна, без будь-яких спроб структурувати цей складний агрегат, не кажучи вже про взаємозв'язок його елементів.

Таблиця 4. Баланс поживних речовин ґрунту та потреба елементів живлення в сівозмінах фермерського господарства "Авенго" Краснокутського району Харківської області за проектний період

Варіанти	Сільськогосподарські культури	Баланс гумусу		Потреба елементів живлення					
		Всього, т	з 1 га, т	На всю площу			На 1 га		
				N	P ² O ⁵	K ² O	N	P ² O ⁵	K ² O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
зерно-просапна польова									
I (10%)	Соя	-34,4	-1,1	314,9	656,8	287,9	9,7	20,2	8,9
	Озима пшениця	2	0,1	126	115,1	76,7	7,8	7,1	4,7
	Соняшник	-14,7	-0,9	271,4	332,7	253,9	16,7	20,5	15,6
	Кукурудза на зерно	-14,7	-0,5	268,4	255	241,5	8,3	7,9	7,4
	Просо	2,6	0,1	233,4	169,7	148,5	7,2	5,2	4,6
	Всього	-59,2	-0,5	1214,1	1529,3	1008,6	9,3	11,8	7,8
II (5%)	Соя	-36	-1,1	298	621,6	272,5	9,2	19,1	8,4
	Озима пшениця	0,6	0	115,5	105,5	70,3	7,1	6,5	4,3
	Соняшник	-14,7	-0,9	253,7	311	237,3	15,6	19,2	14,6
	Кукурудза на зерно	-15,9	-0,5	258,4	245,5	232,6	8	7,6	7,2
	Просо	0	0	219,6	159,7	139,8	6,8	4,9	4,3
	Всього	-66	-0,5	1145,4	1443,4	952,5	8,8	11,1	7,3
III (0%)	Соя	-25,7	-0,8	281,2	586,4	257,1	8,7	18,1	7,9
	Озима пшениця	-0,8	-0,1	105	95,9	63,9	6,5	5,9	3,9
	Соняшник	-26,6	-1,6	236	289,3	220,8	14,5	17,8	13,6
	Кукурудза на зерно	-17,1	-0,5	248,5	236,1	223,7	7,7	7,3	6,9
	Просо	-2,7	-0,1	205,9	149,8	131	6,3	4,6	4
	Всього	-72,8	-0,6	1076,6	1357,5	896,5	8,3	10,5	6,9
польової зернової									
II	Соя	-57,6	-2,3	314,9	656,8	287,9	12,4	25,9	11,3
	Оз. пшениця	-27,6	-1,1	126	115,1	76,7	5	4,5	3
	Ячмінь	-40,3	-1,6	158,4	150,5	142,6	6,2	5,9	5,6
	Просо	-28,6	-1,1	233,4	169,7	148,5	9,2	6,7	5,8
	Всього	-154,2	-1,5	832,7	1092,1	655,7	8,2	10,7	6,5

У фермерському господарстві "Авенго" Краснокутського району Харківської області у сівозміні було зібрано урожай зернових із площі 127,8 га (табл. 3). Після моделювання структура посівних площ змінилась в сторону збільшення площі під зерновими культурами на 12,8% та зменшення площі під технічними культурами на 9,9% (до законодавчо допустимої нормі [10]). Протягом 2010—2013 років площа соняшнику перевищувала рекомендовані норми майже в двічі. Натомість площі посіву інших культур відповідали рекомендованим розмірам. По проекту питома вага озимої пшениці буде складати 18 %, ячменю — 11 %,

кукурудза на зерно — 14 %, просо — 25 %, соняшник товарний — 7 %, соя — 25 %. Площа чистого пару в рішення оптимізаційної задачі не ввійшла. На відміну від інших сільськогосподарських культур з площі чистого пару безпосередньо прибуток не утримується. В даному випадку прибуток отримується з доданої врожайності культур, для яких чистий пар є попередником.

Одним із ефектів впроваджені проектною зерно-просапної сівозміни стало збільшення частки культур, культивованих по раціональним попередникам до 76,7% та до 23,3% по допустимим, для зернової сівозміни відповідно до 77,8% та до 22,2%.

Таблиця 5. Обсяги органічних та мінеральних добрив, які необхідно застосувати відповідно різним варіантам економіко-математичної моделі сівозмін фермерського господарства "Авенго" Краснокутського району Харківської області в 2015 році

Варіанти	Необхідно органічних добрив, т		Знаходиться в мінеральних добр., т						Необхідно нести додатково, т					
	з всієї площі	з 1 га	з всієї території			з 1 га			з всієї території			з 1 га		
			N	P ² O ⁵	K ² O	N	P ² O ⁵	K ² O	N	P ² O ⁵	K ² O	N	P ² O ⁵	K ² O
зерно-просапна польова сівозміна														
I	1095,9	8,4	5,5	2,7	6,6	42,2	21,1	50,6	3,3	7,8	0,4	25,7	60,0	3,3
II	1222,5	9,4	6,1	3,1	7,3	47,1	23,5	56,5	2,0	6,7	-	15,8	51,4	-
III	1349,1	10,4	6,7	3,4	8,1	51,9	26,0	62,3	0,7	5,5	-	5,6	42,6	-
зернова польова сівозміна														
I	2856,1	28,1	14,3	7,1	17,1	140,7	70,4	168,9	-	0,3	-	-	2,6	-

Таблиця 6. Економічна оцінка проекту сівозмін фермерського господарства "Авенго" Краснокутського району Харківської області

Варіанти	Сільськогосподарські культури	Валовий вихід продукції, ц	Площа посіву, га	Врожайність, ц/га	Умовний прибуток	
					з усієї площі, тис грн.	з 1 га, грн.
1	2	3	4	5	6	7
зерно-просапної польової сівозміни						
I (10%)	Соя	626,1	32,5	19,3	121,1	3729
	Озима пшениця	444,9	16,2	27,4	35,7	2200,6
	Соняшник	370,9	16,2	22,8	101,5	6249,7
	Кукурудза на зерно	887,7	32,5	27,3	28,9	890
	Просо	1215,9	32,5	37,4	96,7	2976,9
	Всього	-	129,9	-	383,9	2955,4
II (5%)	Соя	574	32,5	17,7	111	3418,2
	Озима пшениця	407,8	16,2	25,1	32,8	2017,2
	Соняшник	340	16,2	20,9	93	5728,9
	Кукурудза на зерно	847,4	32,5	26,1	27,6	849,5
	Просо	1114,6	32,5	34,3	88,6	2728,8
	Всього	-	129,9	-	353	2717,5
III (0%)	Соя	521,8	32,5	16,1	100,9	3107,5
	Озима пшениця	370,8	16,2	22,8	29,8	1833,8
	Соняшник	309,1	16,2	19	84,6	5208,1
	Кукурудза на зерно	807	32,5	24,9	26,3	809,1
	Просо	1013,2	32,5	31,2	80,6	2480,7
	Всього	-	129,9	-	322,1	2479,6
зернової польової сівозміни						
I (10%)	Соя	489,7	25,4	19,3	94,7	3729
	Озима пшениця	696	25,4	27,4	55,9	2200,6
	Ячмінь	447	25,4	17,6	60	2360,6
	Просо	951	25,4	37,4	75,6	2976,9
	Всього	-	101,6	-	286,2	2816,9

Не менш важливим критерієм еколого-економічної оцінки сівозміни є баланс поживних речовин ґрунту та потреба елементів живлення сільськогосподарських культур. Вміст елементів живлення на момент складання проекту вказано в агрохімічних паспортах полів фермерського господарства "Авенго".

Потреби елементів живлення по проекту розраховано за рекомендаціями по раціональному використанню добрив у Харківській області, які розроблені Державним проектно-технологічним центром охорони родючості ґрунтів і якості продукції "Облдержродючість" (табл. 4). Вихідні дані для зазначених розрахунків: нормативна потреба елементів живлення на 1 центнер урожаю на богарних землях Харківської області, кг; картограма агропромислових груп ґрунтів; довідкові коефіцієнти на вміст рухомих поживних речовин у ґрунтах Харківської області; агрохімічні паспорти полів.

У таблиці 4 та наступних таблицях за аналогією з таблицею 2 розраховано декілька варіантів рішень: перший варіант — 10% різниця впливу на врожайність, другий варіант — 5%, третій варіант — 0%.

Мішутіна І.М. зазначив, що ефективність сівозмін визначається не тільки схемою чергування культур. Головне завдання полягає в тому, щоб забезпечити позитивний баланс органічних речовин в ґрунті, підвищити його родючість [20, с. 245]. Розрахунок балансу гу-

мусу по проекту був виконаний по методиці, описаній в "Методичні вказівки з охорони ґрунтів" [22, с. 86—92].

Розрахунки, наведені в таблиці 4 свідчать про те, що для всіх варіантів моделювання характерний від'ємний баланс гумусу. Покрити нехватку гумусу можливо, наприклад, за рахунок гною, обсяг внесення якого розраховано з використанням коефіцієнта гуміфікації [21, с. 88]. Гній містить поживні речовини, тому обсяг мінеральних добрив дещо зменшується. Для розрахунку використано дані вмісту поживних речовин в органічних добривах (середнє для Харківської області) (табл. 5).

Ще одна частина еколого-економічної оцінки проекту землеустрою лежить у просторі визначення економічного ефекту від впроваджених у господарстві змін сівозміни, в порівнянні результатів поточного та минулого періодів ротації (табл. 6).

Після проведеної оптимізації структури посівних площ та розміщення культур у сівозміні по раціональних та допустимих попередниках, найвагомим ефектом стало підвищення урожайності у розрізі всіх культур, що вирощуються у господарстві. Валовий збір дозволяє визначити оптимальний набір культур та лежить в основі економічної ефективності виробництва продукції рослинництва. Однак збереження або збільшення валового виходу продукції нововведеною сівозміною ще не свідчить про збільшен-

ня еколого-економічної ефективності. Як видно з таблиці 6, чим більше вплив попередників на врожайність культур, тим більше вихід валової продукції та умовний прибуток. Для першого варіанту зерно-просапної сівозміни умовний прибуток на 8 % більше другого, другий на 8,7 % більше третього.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ В ЦЬОМУ НАПРЯМІ

Запропонована модель сівозмін дозволить встановити наукове чергування культур з отриманням максимального прибутку та дотриманням основних правил: по попередникам, по поверненню культури на одне і теж поле. Фермер самостійно зможе коректувати кожен рік модель згідно з агрокліматичними умовами та кон'юнктури ринку. При цьому у фермерського господарства буде декілька варіантів сівозмін (в залежності рівня впливу попередників) та інформація про обсяги поживних речовин і органічних добрив, які необхідно вносити.

Розробка і впровадження моделі, дасть змогу позбутися фактору суб'єктивізму притаманну традиційному плануванню, коли від кваліфікації фахівця значно залежить той чи інший вибір попередника. Моделювання і автоматизація розрахунків дозволяють як спростити вирішення цієї проблеми, так і дадуть змогу кількісно визначити оптимальність вибраного варіанту.

Фермерські господарства на основі історії полів повинні в майбутньому уточнювати зазначених вище показників впливу попередників на врожайність. І враховувати вплив не тільки попередників, а й рівень внесення добрив, агротехнічних, меліоративних та інших заходів. Для цього можна використовувати дисперсійний аналіз при групуванні даних за декількома факторами, бо, як зазначають науковці [19]: фактична цінність моделі управління фермерськими господарствами безпосередньо залежить від достовірності і повноти інформації, від того, наскільки правильно в ній виражені взаємозв'язки виробництва, враховані тенденції його розвитку [19, с. 139]. Однак незадовільна інформатизація підприємств сільського господарства перешкоджає розповсюдженню ефективних методів моделювання сівозмін.

На сучасному етапі розвитку аграрних відносин перешкодою до запровадження сівозмін є слабка матеріально-технічної бази невеликих за площами фермерських господарств та орієнтації на високотоварні сільськогосподарські культури.

Література:

1. Земельний кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III (поточна редакція від 01.07.2015) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>

2. Закон України "Про землеустрій" від 21.09.2006 р. № 185-V (поточна редакція від 27.06.2015 р.) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/858-15>

3. Крисак А.І. Еколого-економічне обґрунтування сівозмін та впорядкування угідь як інституціональний чинник забезпечення екологічної політики / А. І. Крисак // Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. — 2011. — № 12. — С. 83—87.

4. Кодекс України про адміністративні правопорушення від 07.12.1984 № 8073-X (Редакція станом на 12.08.2015) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/go/80731-10

5. El-Nazer T. The choice of crop rotation: A modeling approach and case study / T. El-Nazer, B. A. McCarl // American Journal of Agricultural Economics. — 1986. — № 68. — P. 127—136.

6. Dogliotti S. ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations / S. Dogliotti, W. A. H. Rossing, M.K. Van Ittersum // European Journal of Agronomy. — 2003. — № 19. — P. 239—250.

7. Klein Haneveld W. K. Crop succession requirements in agricultural production planning / W.K. Klein Haneveld, A. W. Stegeman // European Journal of Operations Research In press. — 2004. — P. 406—429.

8. Коробочкин Ю.Б. Дискретная модель севооборота с учетом затрат на поддержание плодородия / Ю.Б. Коробочкин, О.Я. Куцый, В.А. Романенков // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. — 2013. — № 2. — С. 31—40.

9. Надточій О.В. Оптимізація вибору попередників для динамічних сівозмін / О.В. Надточій // Науковий вісник НУБіП України. — 2010. — № 144. — Ч. 3. — С. 291—299.

10. Безуглого М.Д. Методичні рекомендації щодо оптимального співвідношення сільськогосподарських культур у сівозмінах різних ґрунтово-кліматичних зон України [Електронний ресурс] / М.Д. Безуглого, А.С. Заришняк // Сайт Законів України. Інформаційно-правовий портал. — 2008. — Режим доступу до ресурсу: http://uzakon.com/documents/date_cp/pg_gbcgsg/index.htm

11. Тараріко О. Г. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства / О.Г. Тараріко, М.Г. Лобас. — К.: УААН, Держкомзем, Інститут агроекології та біотехнології, Аграрний інститут НВАТ "Агроінком", 1998. — 158 с.

12. Харсун О.С. Методика оцінки майбутнього урожаю для кредитування господарств виробників зернових та олійних сільгоспкультур [Електронний ресурс] / О.С. Харсун // сайт "Зерно.org.ua". — 2009. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.zerno.org.ua/download/file/18-kredituvannya-pid-zastavu-mabutnogo-vrozhayu>

13. Лебідь Є.М. Сівозміни з урахуванням агробіологічної доцільності розміщення сільськогосподарських культур / Є.М. Лебідь, Л.М. Десятник // Збірник наук. праць ННЦ "Інститут землеробства НААН". — Київ, 2004. — С. 19—22.

14. Загальне землеробство: Підручник / За ред. В.О. Єщенко. — К.: Вища освіта, 2004. — 336 с.

15. Третяк А.М. Землепорядне проектування: теоретичні основи і територіальний землеустрій: навчальний посібник / А.М. Третяк. — К.: Вища освіта, 2006. — 528 с.

16. Панас Р. М. Раціональне використання та охорона земель: Навчальний посібник / Р.М. Панас. — Львів: Новий Світ-2000, 2008. — 352 с.

17. Кривов В.М. Екологічно безпечне землекористування Лісостепу України. Проблема охорони ґрунтів / В.М. Кривов. — 2-ге вид., допов. — К.: Урожай, 2008. — 304 с.

18. Тараріко О.Г. Ґрунтозахисна контурно-меліоративна система землеробства / О.Г. Тараріко // Посібник українського хлібороба. — 2011. — № 1. — С. 7—10.

19. Тишков О.И. Интеллектуальная система моделирования севооборота / О.И. Тишков, П.П. Кудрявцев, А.С. Авдеев // Ползуновский альманах., — 2008, — № 2. — С. 139—140.

20. Мішутіна І. М. Теоретичні аспекти еколого-економічної ефективності використання земель / І.М. Мішутіна. // Вісник ПДАБ та А. — 2009. — № 22/2. — С. 244—250.

21. Методичні вказівки з охорони ґрунтів / [В.О. Греков, В.А. Дацько, М.І. Жилкін та ін.]. — К.: Мінагропрод, Центрдержродючість, 2011. — 108 с.

References:

1. The Verkhovna Rada of Ukraine (2001), The Land Code of Ukraine, available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (Accessed 1 July 2015).

2. The Verkhovna Rada of Ukraine (2006), The Law of Ukraine "On Land Management", available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/858-15> (Accessed 27 June 2015).

3. Krysak, A.I. "Ecological and economic assessment of crop rotation and streamline land as an institutional factor ensuring environmental policy", *Nauk. visn. Volyn. nats. un-tu im. Lesi Ukrainky*, vol. 12, pp. 83—87.

4. The Verkhovna Rada of the Ukrainian SSR (1984), The Code of Ukraine on Administrative Offences, available at: zakon.rada.gov.ua/go/80731-10 (Accessed 12 August 2015).

5. El-Nazer, T. and McCarl, B.A. (1986), "The choice of crop rotation: A modeling approach and case study", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 68, pp. 127—136.

6. Dogliotti, S. Rossing, W. A. H. and Van Ittersum, M. K. (2003), "ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations", *European Journal of Agronomy*, vol. 19, pp. 239—250.

7. Klein Haneveld, W.K. and Stegeman, A.W. (2004), "Essential categories and factors of using labor resources potential of the population", *Economic Theory*, vol. 1, pp. 406—429.

8. Korobochkin, Yu.B. Kutsiy, O.Ya. and Romanenkov, V.A. (2013), "The Discrete model of crop rotation in consideration of costs for soil fertility maintenance", *Land management, land monitoring and cadaster*, vol. 2, pp. 31—40.

9. Nadtochij, O.V. (2010), "Optimization choice of predecessors for a dynamic crop rotation", *Scientific Reports of NULES of Ukraine*, vol. 144, pp. 291—299.

10. The site "Laws Ukrainy. Informatsionno legal portal" (2008), "Guidelines for the optimum ratio crops in crop rotations of different soil-climate zones in Ukraine", available at: http://uazakon.com/documents/date_cp/pg_gbcgs/index.htm (Accessed 27 June 2015)

11. Tarariko, O.H. Lobas, M.H. (1998), *Normatyvy hruntozakhysnykh konturno-melioratyvnykh system zemlerobstva* [The ratios of soil reclamation contour farming systems], UAAN, Derzhkomzem, Instytut ahroekolohii ta biotekhnolohii, Ahrarnyj instytut NVAT "Ahroinkom", Kyiv, Ukraine.

12. The site "Zerno.org.ua" (2008), "Methods of assessing future crop loans to households producers of grain and oilseed crops", available at: <http://www.zerno.org.ua/download/file/18-kredituvannya-pid-zastavu-mabutnogo-vrozhayu> (Accessed 1 July 2015).

13. Lebid, E.M. (2004), "Crop rotation based Agrobiological feasibility of crops placemen", *Zbirnyk naukovykh prats' NNTs "Instytut zemlerobstva NAAN"*, vol. spetsvypusk, pp. 19—26.

14. Yeschenka, V.O. (2004), *Zahal'ne zemlerobstvo* [General agriculture], Vyscha osvita, Kyiv, Ukraine.

15. Tretiak, A.M. (2006), *Zemlevporiadne proektuvannia: Teoretychni osnovy i terytorial'nyj zemleustrij* [Land management planning: theoretical fundamentals and territorial land planning], Vyscha osvita, Kyiv, Ukraine.

16. Panas, R.M. (2008), *Ratsional'ne vykorystannya ta okhorona zemel'* [Rational use and protection of land], Novyy Svit-2000, Lviv, Ukraine.

17. Kryvov, V. M. (2008), *Ekolohichno bezpechne zemlekorystuvannia lisostepu Ukrainy. Problema okhorony gruntiv* [Wooded Steppe of Ukraine Environmentally Safe Land-use. Soil Protection Problem], 2nd ed, Urozhai, Kyiv, Ukraine.

18. Tarariko, O.H. (2011), "The soil reclamation contour farming systems", *Posibnyk ukrains'koho khliboroba*, vol. 1, pp. 7—10.

19. Tishkov, O.I. Kudrjavcev, P.P. and Avdeev, A.S. (2008), "Intelligent system to model crop rotations" *Polzunovskij Al'manah*, vol. 2, pp. 139—140.

20. Mishutina, I.M. (2009), "The theoretical aspects of ecology-economic efficiency land use", *Visnyk PDAB ta A*, vol. 22, pp. 244—250.

21. Hrekov, V.O. Dats'ko, L.V. Zhylykin, V.A. and Majstrenko, M.I. (2011), *Metodychni vказivky z okhorony gruntiv* [Guidelines for soil conservation], *Tsentrderzhrodiuchist'*, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 21.08.2015 р.