

## ЗАДАЧА ТА НЕЙРОМЕРЕЖНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ПОСІВНИХ ПЛОЩ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

*А. І. Білоног, студентка*

*Д. І. Бромот, студентка*

*Г. М. Гнатієнко, кандидат технічних наук*

*В. Є. Снитюк, доктор технічних наук, професор*

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

*Email: [g.gna5@ukr.net](mailto:g.gna5@ukr.net)*

**Анотація.** Оптимізація сільського господарства стає пріоритетним напрямом у розвитку сучасної економіки. Нині актуальним є проведення заходів щодо формування та розвитку в Україні як великих сільськогосподарських підприємств, так і малих фермерських господарств. Керівники сільськогосподарських підприємств постійно шукають раціональні та ефективні засоби зниження витрат, що й передбачає процес проведення оптимізації сільського господарства. Однак раніше сформовані традиційні засоби обліку витрат стають малоефективними, займають багато часу і не є доступними для керівників підприємства, оскільки для оптимізації сільського господарства необхідні якісно інші засоби фіксування витрат.

Метою цієї роботи є збільшення прибутковості продукції рослинництва шляхом розробки нейромережної технології оптимізації структури посівних площ фермерського господарства.

Завданням роботи є:

- визначити фактори впливу на прибутковість продукції рослинництва та структуру навчального набору даних посівів за попередні роки;
- визначити структурні елементи та побудувати модель для розв'язання задачі збільшення прибутковості продукції рослинництва з урахуванням сівозмін;
- експериментальна верифікація розробленої технології з використанням набору навчальних та контрольних вибірок даних.

Для досягнення поставленої мети роботи було використано: методи математичного моделювання, методи теорії прийняття рішень, еволюційні алгоритми, нейронні мережі.

Для вирішення зазначених завдань цієї роботи було досліджено поняття сівозміни та розроблено допоміжні таблиці даних, які містили інформацію про рівень недоцільності посівів тієї ж культури, про рівень недоцільності посівів однієї культури після іншої. На основі цих даних розраховано коефіцієнт ймовірної врожайності культури. Сформовано набір даних, який містив інформацію про 10 полів, кожне з яких було випадковим чином «засіяне» сільськогосподарською

культурою, а на основі вартості цієї культури та коефіцієнту ймовірної врожайності культури вирахований ймовірний прибуток.

*Розроблено генетичний алгоритм, значення фітнес-функції в якому визначалось з використанням нейронної мережі, навченої на сформованому наборі даних.*

*На сформованому наборі даних проведено тестування роботи алгоритму, який засвідчив ефективність запропонованої технології.*

**Ключові слова:** *сівозміна, генетичний алгоритм, нейромережна залежність, оптимізаційна задача, нейронна мережа, нормалізований диференційний вегетаційний індекс*

**Актуальність.** Ведення сільськогосподарського виробництва є одним з найважливіших видів економічної діяльності, який грає важливу роль для виробництва харчових продуктів та забезпечення прибутків. Нераціональна сільськогосподарська діяльність та непрограмоване використання ґрунтів призводить до їх виснаження та збільшення собівартості продукції. Нині набуває популярності концепція сталого розвитку, одним з напрямків якої є прибутковість виробництва та захист навколишнього середовища. Важливим інструментом досягнення цілей сталого розвитку є сівозміна. Сівозміна – інтенсивна система землеробства, науково обґрунтоване чергування сільськогосподарських культур та пару в часі і на території або тільки в часі (ротація) за заздалегідь визначеним планом. Сівозміна здатна покращити стан ґрунту та збільшити його віддачу. Її можна використовувати для покращення фізичного, хімічного та біологічного стану ґрунтів, зменшення ерозії, для боротьби зі шкідниками та зменшення внесення добрив у ґрунт, що зменшує витрати на їх закупівлю та збільшує екологічність виробництва, що є актуальним в сучасних умовах.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Нині країни Європейського Союзу проводять спільну сільськогосподарську політику, спрямовану на гарантування своєї продовольчої безпеки та надання продовольчої допомоги країнам, де є проблеми з продовольством [1, 2]. Активним учасником таких процесів є і Україна. Головним аспектом продовольчої політики є прогнозування майбутніх врожаїв основних сільськогосподарських культур та забезпечення своєчасних заходів у

випадку негативних перспектив, а саме балансування продовольчих запасів шляхом реалізації процедур імпорту та експорту.

Оскільки виробництво сільськогосподарських культур значною мірою залежить від якості ґрунтів, кліматичних умов та поширення шкідників, то своєчасна інтелектуалізована діагностика стану посівів дозволить приймати обґрунтовані рішення щодо їх поливання та проведення диференційованої фітосанітарної обробки, що сприятиме, крім підвищення врожайності рослин, ще і зменшенню шкідливого впливу на навколишнє середовище та сприятиме покращенню його екологічного стану [3 – 5].

Найбільш вагомими результатами, отриманими вітчизняними вченими і технологами при вирішенні проблеми розробки цифрових технологій та їх активному впровадженні у виробництво продукції рослинництва, є:

- дослідження та розробка цифрових інструментів інформування користувача про зміну стану вегетації з урахуванням ризиків поширення захворювань у позначених зонах інтересів відповідно до заданих критеріїв з використанням NDVI карт із супутників та дронів (ТОВ «Сингента Україна»);

- розроблено польовий спектрометр, який можна використовувати в багатьох напрямках моніторингу в рослинництві за підтримки Українського науково-технічного центру та співпраці із заводом «Арсенал»;

- розробляються методи дистанційної діагностики стану рослин у посівах на основі вдосконалення спектрів відбиття в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України;

- дослідження з дистанційного зондування лісів і агрофітоценозів, які проводяться у «Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України».

У зв'язку із проблемою забезпечення людства продовольчими продуктами і непрогнозованою зміною клімату збільшилась увага наукової спільноти до локального землеробства та автоматизації агровиробництва.

Сучасні програми обліку витрат, що застосовуються в основних галузях аграрної економіки, ґрунтуються на узагальненні витрат за технологічними

процесами, пов'язаними з етапами виконання робіт з виробництва продукції. Такий складний облік витрат складно представляти, аналізувати та фіксувати без відповідного програмного забезпечення (ПЗ) [6].

Одним із прикладів такого ПЗ для можливості контролю та управління системою оптимізації сільського господарства є Універсальна Система Обліку [7]. Серед можливостей програми слід зазначити високоточний облік у сільськогосподарських підприємствах, який дозволяє:

- відстежувати врожайність сільгоспугідь та основні напрями витрат;
- здійснювати аналіз та підрахунок прибутку після реалізації вирощеної продукції;
- ефективно вести облік у фермерських господарствах, зокрема, засіяних полів;
- забезпечувати повну звітність у всіх важливих напрямках, а також оптимізацію процесів виробництва.

Доцільним для оптимізації сільськогосподарського виробництва є також використання супутникового моніторингу для підтримки прийняття рішень, пов'язаних з сівозміною.

Оскільки врожайність культури прив'язана до конкретного поля, географічна інформаційна система (ГІС) допомагає фермерам приймати своєчасні та обґрунтовані рішення протягом ротації сівозміни, використовуючи різне програмне забезпечення на основі ГІС для управління господарствами. Наприклад, цифрова агроплатформа Crop Monitoring [8], на додаток до комплексної оцінки поля, також надає фермерам прогнози погоди, карти диференційованого внесення добрив, аналіз проблемних зон, а також багато інших функцій, що значно зменшують витрати.

Слід зазначити, що кожне господарство має свої основні культури. Стійкість поля для вирощування конкретних сільськогосподарських культур або рішення про ґрунтозахисну сівозміну базується на всебічному моніторингу та повноцінному ретроспективному аналізі стану рослинності, а також даних про погодні умови.

Crop Monitoring дозволяє відстежувати рівень вегетації, погодні умови, такі як добові опади, погодні ризики для вибраного вегетаційного періоду, які можуть

вплинути на прийняття рішень, пов'язаних з сівозміною. На різних етапах сівозмін рослинність можна ефективно відстежувати за допомогою індексів:

- NDVI (Нормалізований диференційний вегетаційний індекс);
- MSAVI (Модифікований коректований ґрунтовий індекс);
- NDRE (Нормалізований диференційний RedEdge індекс);
- NDMI (Нормалізований диференційний індекс вологи);
- ReCI (Хлорофільний RedEdge індекс).

Провівши аналіз наявних рішень поставленого завдання, можна дійти до висновку, що однією із особливостей цієї роботи є її унікальність. Існує ПЗ для зберігання та використання отриманих результатів про посіви різних культур, а також для коригування сівозміни, але реального додатку для прогнозу посіву з урахуванням всіх критеріїв досі не було створено.

**Мета дослідження** – збільшення прибутковості продукції рослинництва шляхом розробки нейромережної технології оптимізації структури посівних площ фермерського господарства.

**Матеріали та методи дослідження.** Раціональне природокористування в сільському господарстві починається з організації території – створення оптимізованого агроландшафту з екологічного обґрунтованим і доцільним співвідношенням сільськогосподарських угідь, лісових насаджень, земель захисного і природоохоронного значення.

Ефективність господарювання сільськогосподарських підприємств значною мірою залежить від набору культур, які вирощуються, та їх співвідношення, тобто від структури посівних площ. Структура посівних площ – співвідношення площі посівів різних польових культур.

Головним критерієм науково обґрунтованої структури посівних площ є максимальний вихід продукції (в грошовій формі, у врожайності чи інших формах) з одиниці площі при найменших витратах праці і коштів. Іншими критеріями можуть бути: прибуток з 1 га, окупність витрат, собівартість 1 ц кормопротейнової одиниці тощо. Раціональна структура посівних площ має забезпечувати:

- виконання договірних зобов'язань щодо реалізації продукції;

- сприяти вирішенню внутрішніх потреб підприємства в продукції рослинництва;
- підтримувати раціональне використання трудових ресурсів і засобів виробництва;
- виконання вимог щодо чергування культур у сівозмінах відповідно до ґрунтово-кліматичних умов та спеціалізації підприємства.

У методичних рекомендаціях щодо оптимального співвідношення сільськогосподарських культур у сівозмінах різних ґрунтово-кліматичних зон України зазначено, що сівозміна – чергування сільськогосподарських культур (і пару) у часі і на території згідно з науково обґрунтованими для певних культур нормами періодичності, що базуються на особливостях біологічної взаємодії культур та впливу їх на родючість ґрунту. Наукові принципи побудови сівозмін передбачають правильний підбір попередників та оптимальне поєднання одновидових культур із дотриманням допустимої періодичності їх повернення на одне й те ж поле [9].

Оптимальна сівозміна є складовою агротехнології: головною метою сівозміни є створення якомога більш сприятливих умов для вирощування сільськогосподарських культур. Правильна сівозміна з врахуванням сумісності культур і дотримання необхідних пауз при вирощуванні однієї і тієї ж культури на заданому полі є запорукою здорових посівів.

У сучасних умовах господарювання в Україні визначальними факторами формування сівозмін є ринковий попит на якісну сільськогосподарську продукцію та економічна доцільність її вирощування. Таким чином, завдання полягає в тому, щоб на фіксованій кількості полів посіяти (розподілити) фіксовану кількість культур, так, щоб прибуток від їх реалізації був найбільшим. При цьому потрібно врахувати баланс між культурами, забезпечивши оптимальну сівозміну.

**Результати досліджень та їх обговорення. Постановка задачі.** Нехай деяке фермерське господарство спеціалізується на рослинництві і має сільськогосподарські угіддя, які складаються з  $n$  полів однакової площі.

На сільськогосподарських угіддях цього господарства традиційно засівається  $k$  видів культур. Множину культур, які вирощуються фермерським господарством, позначимо через  $P = \{p_1, \dots, p_{k+1}\}$ , причому через  $p_{k+1}$  позначено ситуацію, коли поле знаходиться під паром, тобто на ньому не засіяна жодна культура. З метою формалізації задачі оптимізації засівання полів та уніфікації вхідних даних застосуємо кодування сільськогосподарських культур натуральними числами, які відповідають назвам цих культур з множини  $P$ .

Відома також статистика господарської діяльності цього господарства за  $t$  попередніх років: які культури вирощувалися на кожному конкретному полі протягом кожного сезону та який прибуток був одержаний в результаті такої діяльності. Будемо вважати, що дані за  $t$  років щодо посівів культур на полях, врожайності сільськогосподарських культур, щорічних прибутків господарства тощо є достовірними.

Необхідно на основі аналізу прибутковості фермерського господарства за попередні роки визначити оптимальну конфігурацію посівів на поточний сезон з урахуванням природних обмежень на сівозміни та необхідності бережливого ставлення до землі – недопущення виснаження ґрунтів.

*Математична модель.* Для побудови математичної моделі задачі оптимізації посівів на заданих полях, для знаходження розв'язку цієї задачі та для прозорості досягнення мети дослідження будемо користуватися апаратом введення евристик, який добре зарекоментував себе у слабо структурованих та неструктурованих предметних областях.

Евристика Е1. Для створення ідеалізованої математичної моделі на першому етапі дослідження можна вважати, що прибуток фермерського господарства залежить від того, які культури посіяно на полях та від дотримання сівозмін.

Зазначимо, що продуктивність сільськогосподарських культур значною мірою залежить від порядку їх розміщення у сівозміні. Максимально високий урожай можна отримати по кращих культурах-попередниках. Пріоритетність сівозмін можна визначати за дискретною шкалою від 0 до 9:

$$Q = \{q_{ij}\}, \quad q_{ij} \in (0,9], \quad j = 1, \dots, k + 1, \quad (1)$$

причому випадок, коли  $j = k + 1$ , відповідає ситуації, коли поле було під паром. Наприклад, застосування чистого пару, який у зоні степу є єдиним попередником пшениці озимої, що гарантує отримання високого врожаю зерна незалежно від погодних умов осені.

У цьому випадку число, яке є значенням елемента матриці виду (1), вказує на пріоритетність посіву  $j$  – ї культури на наступний рік після  $i$  – ї культури. Такі дані є відомими агротехнічними показниками і успішно застосовуються на практиці. Подібна градація успішно застосовується у теорії прийняття рішень при використанні методу аналізу ієрархій [10, 11].

Як правило, для побудови матриці виду (1) вербальне формулювання співвідношень між сільськогосподарською культурою-попередником та поточною культурою має такі градації:

- відмінний попередник;
- гарний попередник;
- задовільний попередник;
- хороший, але не завжди можливий попередник;
- недопустимий попередник.

Такі формулювання відповідають п'ятибальній шкалі Лайкерта, яка успішно застосовується у різних напрямках досліджень для широкого кола предметних областей [12]. Для агротехнічного напрямку інколи використовуються чотириохвальна шкала, формулювання тверджень у якій щодо культури-попередника можуть варіюватися таким чином:

- найкращий попередник;
- допустимий попередник;
- недопустимий попередник;
- недоцільний попередник.

Основними завданнями та вимогами, які висовуються до попередників у сівозміні є: своєчасне звільнення поля, недопущення розвитку забур'яненості,



покращення фітосанітарного стану, збільшення ефективності системи живлення культур, покращення структури ґрунту, відсутність негативних впливів на сходи наступних культур.

Зазначимо, що для спрощення задачі на першому етапі дослідження будемо виходити з кількох припущень, які також сформулюємо у вигляді евристик.

Евристика Е2. Ціни на вирощену продукцію на ринках та валютний курс були стабільними.

Для поглибленого аналізу та урахування динаміки цін на сільськогосподарську продукцію, динаміки курсу гривні, банківські відсотки тощо можна побудувати математичну модель, яка буде враховувати залежність прибутків від цих величин.

Евристика Е3. Погодні умови у всі роки господарської діяльності фермерського господарства були однаковими.

Для достовірного прогнозування майбутнього врожаю необхідно визначити функціональну залежність між сільськогосподарськими культурами, посіяними на полях, та фінансовими результатами, одержаними від їх реалізації. Ця залежність може бути знайдена у аналітичному вигляді або з допомогою застосування нейромережі.

Позначимо нейромережну залежність між вирощуваними сільськогосподарськими культурами та прибутковістю усіх полів фермерського господарства через

$$N(\tau, z_{1\tau-1}, \dots, z_{n\tau-1}, z_{1\tau}, \dots, z_{n\tau}, S_t),$$

де  $\tau$  – рік господарювання,  $z_{i\tau}$  – назва культури, посіяної у минулому на  $i$  – му полі у році  $\tau$ ,  $\tau = 1, \dots, t$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $z_{i\tau} \in P$ .

Для дотримання вимог здійснення сівозмін вводиться матриця виду (1), яка регулює пріоритетність засівання полів культурами за роками. Обмеження, які у неявному вигляді задаються матрицею (1), забезпечують дотримання вимоги сівозмін та недопущення вибору варіантів засівання полів, які призводять до неприпустимого рівня виснаження ґрунту.

Отже, задача оптимізації засіювання сільськогосподарськими культурами полів фермерського господарства формалізується так:

$$N(\tau, z_{1\tau-1}, \dots, z_{n\tau-1}, z_{1\tau}, \dots, z_{n\tau}, S_t) \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$z_{i\tau} \in P, \quad i = 1, \dots, n, \quad \tau = 0, \dots, t. \quad (3)$$

Цільова функція виду (2) відображує нейромережну залежність між варіантами засіювання полів чи тримання полів під паром та інтегральною прибутковістю фермерського господарства від посівів.

Обмеження виду (3) є множиною вибору сільськогосподарських культур, на яких спеціалізується фермерське господарство.

Визначення оптимального значення цільової функції виду (2) для чергового періоду планування  $\tau = \tau + 1$  на області допустимих значень, які задаються обмеженням (3), з урахуванням евристик Е1-Е3, будемо здійснювати шляхом застосування генетичного алгоритму для визначення нейромережної залежності між параметрами оптимізаційної задачі (1)-(3).

**Висновки і перспективи.** У роботі запропоновано оптимізаційну математичну модель визначення оптимальної структури виробництва для будь-якого сільськогосподарського підприємства, що враховує наявні виробничі ресурси і умови, в яких функціонує господарство. Застосування результатів оптимізації структури виробництва дозволяє найефективніше використати виробничий потенціал підприємства. У моделі передбачено елементи, які дають можливість враховувати врожайність культур, ціну, ресурсний потенціал, продуктивність полів тощо. Така модель може використовуватися для проведення аналізу діяльності щодо посівів різних культур будь-якого сільськогосподарського підприємства за різні періоди часу, а також дає можливість прогнозувати рішення щодо структури посівів для покращення функціонування виробництва.

За результатами роботи було створено повноцінний веб-сайт з дружним та нескладним для користувача інтерфейсом. Дані, одержані від користувача, подаються на вхід генетичного алгоритму, де роль функції пристосованості виконує тандем з нейронної мережі та модифікації для сівозміни. Було проведено декілька

прогнозів майбутніх посівів зернових культур за допомогою побудованої математичної моделі з точністю 96 %.

До переваг зазначеної програмної реалізації можна віднести:

- унікальність: такої реалізації не існує аналогів в Україні та світі;
- універсальність: оскільки нейронна мережа навчається на наборі даних користувача, то не існує прив'язки до виду культур, тому користувачем програмного забезпечення може стати людина з будь-якої точки світу;
- швидкість: нейронна мережа і генетичний алгоритм знаходять прийнятні розв'язки практично в режимі реального часу.

### **Список використаних джерел**

1. Shirzadifar A., Bajwa S., Mireei S. A., Howatt K., Nowatzki J. Weed species discrimination based on SIMCA analysis of plant canopy spectral data. *Biosystems Engineering*. 2018. № 171. P.143–154.

2. Thenkabail P. S., Lyon G. J., Huete A. (Eds.). *Hyperspectral remote sensing of vegetation*. (2 ed.). Boca Raton, London, New York: CRC Press- Taylor and Francis group. four-volume-set, 2019. P. 112-131.

3. Thomasson J. A., Wang T., Wang X., Collett R., Yang C., Nichols R. L. Disease detection and mitigation in a cotton crop with UAV remote sensing. In *Proc. SPIE*, 10664. 106640L. 2018. P. 567-581.

4. Robson A., Rahman M., Muir J. Using Worldview Satellite Imagery to Map Yield in Avocado (*Persea americana*): A case study in Bundaberg, Australia. *Remote Sensing*. 2018. 9(12), 1223. 20 p.

5. Cohen Y., Alchanatis V. Spectral and spatial methods for hyperspectral and thermal image analysis to estimate biophysical and biochemical properties of agricultural crops. In P. S. Thenkabail, G. J. Lyon, & A. Huete (Eds.), *Hyperspectral remote sensing of vegetation* (2nd ed.). Boca Raton, London, New York: CRC Press-Taylor and Francis Group, 2019. Four-Volume-Set. P.546-550.

6. Оптимізація структури посівних площ сільськогосподарських культур на регіональному рівні [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://npcz-rivne.ucoz.ua/II\\_NET\\_conferen/khomich.pdf](http://npcz-rivne.ucoz.ua/II_NET_conferen/khomich.pdf)

7. Оптимізація сільського господарства, облік сільськогосподарських процесів, робота з постачальниками та замовленнями, автоматизація аналізу підприємства, прогнозування продуктів [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://usu.kz/optimizatsiya\\_selskogo\\_hozyaystva.php](http://usu.kz/optimizatsiya_selskogo_hozyaystva.php)

8. Nataliia Kussul, Andrii Shelestov, Bohdan Yailymov, Hanna Yailymova, Mykola Lavreniuk, Leonid Shumilo, Yuliia Bilokonska. Crop monitoring technology based on time series of satellite imagery. *IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies*. 2020. P. 346-350. DOI: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125031

9. Формування оптимальних співвідношень земельних угідь як основа сталого природокористування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://eco.com.ua/content/formuvannya-optimalnikh-spivvidnoshen-zemelnikh-ugid-yak-osnova-stalogo-prirodokoristuvannya>

10. Саати Т. Л. Относительное измерение и его обобщение в принятии решений. Почему парные сравнения являются ключевыми в математике для измерения неосязаемых факторов. Cloud of Science. 2016. Т. 3, № 2. С. 171–262.

11. Саати Т. Л. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений. Cloud of Science. 2015. Т. 2, № 1. С. 5–39.

12. Малхотра, Нереш К. Маркетингові дослідження. Практичний посібник. Пер. з англ. 3-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. 960 с.

### References

1. Shirzadifar, A., Bajwa, S., Mireei, S. A., Howatt, K., Nowatzki, J. (2018). Weed species discrimination based on SIMCA analysis of plant canopy spectral data. Biosystems Engineering, 171, 143–154.

2. Thenkabail, P. S., Lyon, G. J., Huete, A. (Eds.), (2019). Hyperspectral remote sensing of vegetation. (2 ed.). Boca Raton, London, New York: CRC Press- Taylor and Francis group. four-volume-set, 112-131.

3. Thomasson, J. A., Wang, T., Wang, X., Collett, R., Yang, C., Nichols, R. L. (2018). Disease detection and mitigation in a cotton crop with UAV remote sensing. In Proc. SPIE, 10664. 106640L., 567-581.

4. Robson, A., Rahman, M., Muir, J. (2017). Using Worldview Satellite Imagery to Map Yield in Avocado (*Persea americana*): A case study in Bundaberg, Australia. Remote Sensing, 9(12), 1223, 20.

5. Cohen, Y., Alchanatis, V. (2019). Spectral and spatial methods for hyperspectral and thermal image analysis to estimate biophysical and biochemical properties of agricultural crops. In P. S. Thenkabail, G. J. Lyon, & A. Huete (Eds.), Hyperspectral remote sensing of vegetation (2nd ed.). Boca Raton, London, New York: CRC Press-Taylor and Francis Group. Four-Volume-Set, 546-550.

6. Optimization of the structure of sown areas of agricultural crops at the regional level. Available at: [http://npcz-rivne.ucoz.ua/II\\_NET\\_conferen/khomich.pdf](http://npcz-rivne.ucoz.ua/II_NET_conferen/khomich.pdf)

7. Optimization of agriculture, accounting of agricultural processes, work with suppliers and orders, automation of enterprise analysis, product forecasting. Available at: [http://usu.kz/optimizatsiya\\_selskogo\\_hozyaystva.php](http://usu.kz/optimizatsiya_selskogo_hozyaystva.php)

8. Nataliia Kussul, Andrii Shelestov, Bohdan Yailymov, Hanna Yailymova, Mykola Lavreniuk, Leonid Shumilo, Yuliia Bilokonska. (2020). Crop monitoring technology based on time series of satellite imagery. IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, 346-350. DOI: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125031

9. Formation of optimal ratios of land as a basis for sustainable nature. Available at: <http://eco.com.ua/content/formuvannya-optimalnikh-spivvidnoshen-zemelnikh-ugid-yak-osnova-stalogo-prirodokoristuvannya>

10. Saaty, T. L. (2016). Relative dimension and its generalization in decision making. Why pairwise comparisons are key in mathematics for measuring intangible factors. Cloud of Science, 3 (2), 171–262.

11. Saaty T. L. (2015). About measuring the intangible. Approach to relative measurements based on the main eigenvector of the matrix of pairwise comparisons. Cloud of Science, 2 (1), 5–39.

12. Malhotra, Neresh, K. (2002). Marketing research. A practical guide. Per. from English, 3rd ed. Moskow: Williams Publishing House, 960.

## **ЗАДАЧА И НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**А. И. Билоног, Д. И. Бромт, Г. Н. Гнатиенко, В. Е. Снитюк**

**Аннотация.** *Оптимизация сельского хозяйства становится приоритетным направлением развития современной экономики. Сегодня актуальным является проведение мероприятий по формированию и развитию в Украине как крупных сельскохозяйственных предприятий, так и малых фермерских хозяйств. Руководители сельскохозяйственных предприятий постоянно ищут рациональные и эффективные средства для снижения затрат, что и предполагает процесс проведения оптимизации сельского хозяйства. Однако ранее сложившиеся традиционные средства учета затрат становятся малоэффективными, занимают много времени и не доступны для руководителей предприятия, поскольку для оптимизации сельского хозяйства необходимы качественно другие средства фиксирования затрат.*

*Целью этой работы является увеличение доходности продукции растениеводства путем разработки нейросетевой технологии оптимизации структуры посевных площадей фермерского хозяйства.*

*Задачами работы являются:*

- определить факторы влияния на прибыльность продукции растениеводства и структуру учебного набора данных посевов за предыдущие годы;*
- определить структурные элементы и построить модель для решения задачи увеличения прибыльности продукции растениеводства с учетом севооборотов;*
- экспериментальная верификация разработанной технологии с использованием набора обучающих и контрольных выборок данных.*

*Для достижения поставленных целей работы были использованы методы математического моделирования, методы теории принятия решений, эволюционные алгоритмы, нейронные сети.*

*Для выполнения указанных задач были исследованы понятия севооборота и разработаны вспомогательные таблицы данных, содержащие информацию об уровне нецелесообразности посевов той же культуры, об уровне нецелесообразности посевов одной культуры после другой. На основе этих данных рассчитан коэффициент предполагаемой урожайности культуры. Сформирован набор данных, содержащий информацию о 10 полях, каждое из которых было случайным образом «засеяно» сельскохозяйственной культурой, а на основе стоимости этой культуры и коэффициента вероятной урожайности культуры рассчитана вероятная прибыль.*

*Разработан генетический алгоритм, значение фитнес-функции в котором определялось с использованием нейронной сети, обученной на сформированном наборе данных.*

*На сформированном наборе данных проведено тестирование работы алгоритма, который показал эффективность предлагаемой технологии.*

**Ключевые слова:** *севооборот, генетический алгоритм, нейросетевая зависимость, оптимизационная задача, нейронная сеть, нормализованный дифференциальный вегетационный индекс*

## **THE PROBLEM AND NEURAL NETWORK MODEL OF OPTIMIZATION OF THE FARM SOWN AREAS STRUCTURE**

**A. Bilonog, D. Bromot, G. Gnatienko, V.. Snityuk**

**Abstract.** *Optimization of agriculture is becoming a priority for the modern economy. Today it is important to take measures to form and develop in Ukraine both large agricultural enterprises and small farms. Managers of agricultural enterprises are constantly looking for rational and effective means to reduce costs, which involves the process of optimizing agriculture. However, previously established traditional cost accounting tools are becoming inefficient, time-consuming and inaccessible to business leaders, as qualitatively different means of fixing costs are needed to optimize agriculture.*

*The purpose of this work is to increase the profitability of crop production by developing neural network technology to optimize the structure of sown areas of the farm.*

*The objectives of the work are:*

- to determine the factors influencing the profitability of crop production and the structure of the training set of crop data for previous years;*
- to determine the structural elements and build a model to solve the problem of increasing the profitability of crop production, taking into account crop rotations;*
- experimental verification of the developed technology using a set of training and control data samples.*

*To achieve the goals of the work were used: methods of mathematical modeling, methods of decision theory, evolutionary algorithms, neural networks.*

*To perform these tasks, the concepts of crop rotation were studied and auxiliary data tables were developed, containing information on the level of inexpediency of crops of the same crop, the level of inexpediency of crops of one crop after another. Based on these data, the coefficient of estimated crop yield was calculated. A set of data was formed containing information on 10 fields, each of which was randomly "sown" with agricultural crops, and based on the value of this crop and the coefficient of probable yield of the crop, the probable profit was calculated.*

*A genetic algorithm has been developed in which the value of fitness function was determined using a neural network trained in the generated data set.*

*On the generated data set, the operation of the algorithm was tested, which showed the effectiveness of the proposed technology.*

**Key words:** *crop rotation, genetic algorithm, neural network dependence, optimization problem, neural network, normalized differential vegetation index*