

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ВИЗНАЧЕННІ
ЕФЕКТИВНОСТІ СІВОЗМІН

Н.П. Коваленко
ННЦ «Інститут землеробства УААН»

На основі багаторічних експериментальних досліджень, що стосуються ефективності сівозмін для різних умов Лісостепу, побудовано регресійні показникові моделі, які дають можливість встановити залежність критеріїв ефективності – урожайності зернових культур, виходу кормових, зернових одиниць, перетравного протеїну, собівартості зерна, умовно чистого прибутку, енергоємності та енерговитрат від величини площ сільськогосподарських культур, що вирощують у сівозмінах.

Ключові слова: *сільськогосподарські культури, сівозміни, регресійні показникові моделі, критерії ефективності, урожайність, продуктивність, економічна та енергетична ефективність.*

Вступ. Актуальним на сьогодні постає необхідність вирішення науково-практичного завдання раціонального використання агроландшафтів з одночасним покращанням рівня родючості ґрунту, підвищенням врожайності сільськогосподарських культур та збільшенням і стабілізацією виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції та зниженням економічних і енергетичних витрат на їхнє виробництво [3].

Тому важливим є побудова і впровадження науково обґрунтованих сівозмін з оптимальним насиченням, співвідношенням та розміщенням сільськогосподарських культур для різних ґрунтово-кліматичних умов України [10].

Вирішити ці проблеми можна за допомогою сучасних методів досліджень із застосуванням економіко-математичного моделювання та комп'ютерної техніки, які дають можливість отримати достовірні кінцеві результати в реальному часі та зекономити кошти на проведення експериментів [6].

Математичне моделювання набуває більшого поширення у сільськогосподарських дослідженнях і постає як один з найефективніших методів знаходження найбільш оптимального розв'язку поряд з широким використанням комп'ютерної техніки [2, 3, 6, 10].

Дослідження залежностей та взаємозв'язків між об'єктивно існуючими явищами і процесами відіграє у сільськогосподарській науці важливу роль та дає можливість глибше зрозуміти складний механізм причинно-наслідкових відносин між цими явищами [9]. Для дослідження інтенсивності впливу вирощування сільськогосподарських культур на ефективність одного з факторів екологічної стабілізації та біологічної рівноваги навколишнього середовища – науково обґрунтованої сівозміни, застосували метод економіко-математичного моделювання – регресійного аналізу, який має деякі переваги: порівняну нескладність, економічність розрахунків, можливість автоматичної побудови прогнозів та наявність гарного математичного забезпечення [5].

Для прогнозування врожаю сільськогосподарських культур найчастіше використовують лінійні моделі. Однак, вони не завжди дають необхідну точність. Тому виникає потреба використовувати не тільки лінійні, але й регресійні моделі, які забезпечують більш точний опис факторів, які досліджують [5].

Матеріал і методи досліджень. У проведених дослідженнях використано моделі поверхні відгуку [7]. Такі моделі є апроксимуючими рівняннями вибраного виду, коефіцієнти яких визначено за результатами, одержаних у багаторічних експериментальних дослідженнях. Слід зазначити, що перевага моделей поверхні відгуку у спрощеній структурі, що дозволяє їхнє використання у будь-яких умовах і без застосування громіздких алгоритмів.

Метод регресії – це метод односторонньої стохастичної залежності, який встановлює відповідність між випадковими змінними. Так, цілком очевидно, що існує залежність урожайності сільськогосподарських культур (Y) від їхньої наявності у сівозміні (X_1, X_2, \dots, X_m), де m - кількість сільськогосподарських культур у сівозміні. Отже, потрібно встановити регресію Y від X_1, X_2, \dots, X_m .

Регресійні моделі побудовано на основі багаторічних даних з урожайності, продуктивності, економічної та енергетичної ефективності різноротаційних сівозмін для різних ґрунтово-кліматичних умов Лісостепу України: недостатнього зволоження – 1-ї зернопаропросапної та 11-ти варіантів зернопросапних трипільних сівозмін з насиченням зерновими і зернобобовими культурами від 33.3 до 100%, нестійкого зволоження – 3-х варіантів зернопросапних п'ятипільних сівозмін з насиченням зерновими і зернобобовими культурами від 40 до 60%, достатнього зволоження – 10-ти варіантів зернопросапних п'ятипільних сівозмін з насиченням зерновими і зернобобовими від 20 до 80%.

Серед найбільш поширених рівнянь (лінійне, степеневе, показникове, логарифмічне, зворотне і поліном другого ступеня) вибрали ті, які найбільш адекватно описували вхідні дані. Тип функції регресії у процесі дослідження

визначено поетапно шляхом виключення змінних, що не чинили істотного впливу на залежну змінну.

Метод визначення найефективнішої сівозміни за допомогою регресійного аналізу полягає у застосуванні сформованої групи локальних (показникових) критеріїв:

- 1) урожайність зернових культур, т/га;
- 2) вихід кормових одиниць, т/га;
- 3) вихід зернових одиниць, т/га;
- 4) вихід перетравного протеїну, т/га;
- 5) собівартість зерна, грн./т;
- 6) умовно чистий прибуток, тис. грн./га;
- 7) енергоємність, ГДж/га;
- 8) енерговитрати, ГДж/га.

За допомогою одного з найбільш поширених заходів оцінки невідомих параметрів регресії – методу найменших квадратів [4] знайдено значення змінної Y , які можна було б очікувати у середньому для вищенаведених значень змінних $X_k (k = 1, \dots, m)$. Для знаходження значень змінної Y вважали існування їхньої залежності тільки від тих незалежних змінних $X_k (k = 1, \dots, m)$, які включені до регресії. Вплив інших факторів та випадковостей не враховували.

Приділено увагу тому, щоб оцінку регресії було проведено за достатньої міри надійності, про що свідчить коефіцієнт детермінації [9]. Отримані регресійні моделі повинні бути адекватні за коефіцієнтом детермінації (D) і коефіцієнтами регресії (A_i). Коефіцієнт детермінації вказує, на скільки часток змінюється залежна змінна (функція) від зміни незалежних змінних (аргументів) і знаходиться в межах $0 \leq D \leq 1$. Чим більше він наближається до одиниці, тим краще визначення регресії [4]. Коефіцієнт детермінації можна виразити у процентному відношенні, якщо помножити його на 100%. За його величиною можна зробити висновок про величину частки зміни наявної змінної X_i на зміну функції Y .

Адекватними вважали такі моделі, коефіцієнти детермінації яких склали $D \geq 0.95$ та мають значення за рівня ймовірності $P \geq 0.95$, а коефіцієнти регресії мають значення за рівня ймовірності $P \geq 0.80$ [8]. У дійсності результати від застосування вибраної сівозміни у господарстві можуть відрізнитись від розрахункових, проте, ця різниця не повинна складати більше 5% за дотримання технології вирощування сільськогосподарських культур.

Регресійні моделі отримано для трьох ґрунтово-кліматичних умов Лісостепу за вказаними функціями. Вид усіх рівнянь регресії – показникові. За цього коефіцієнти детермінації, які отримано фактично, становили $D \geq 0.965$, мають значення за рівня ймовірності $P \geq 0.98$, а коефіцієнти регресій мають значення за рівня ймовірності $P \geq 0.80$. Це дає змогу стверджувати, що адекватність рівнянь доведена, а тому їх можна

застосовувати для аналізу сівозмін за вказаними функціями - локальними (показниковими) критеріями. Тобто, зміна залежних показників (функцій) на 96.5 % пояснюється зміною площ культур у сівозміні. Решта – 3.5% пояснюється впливом неврахованих змінних, а також помилкою у досліді.

Результати досліджень. Регресійні моделі отримано методом найменших квадратів за допомогою програмного забезпечення STAT, розробленого для персональних комп'ютерів у ННЦ «Інститут сільськогосподарської механізації та електрифікації УААН» [1], у яких змінні X_i виражають частку величини площі сільськогосподарської культури у сівозміні.

Для умов недостатнього зволоження Лісостепу отримано моделі:

1. За критерієм урожайності зернових культур, т/га:

$$U_{зер} = 0.0004 \cdot 1.1257^{X_1} \cdot 1.1198^{X_2} \cdot 1.1142^{X_3} \cdot 1.1185^{X_4} \cdot 1.1229^{X_5} \cdot 1.1215^{X_6} \cdot 1.1118^{X_7} \cdot 1.1160^{X_8} \cdot 1.1201^{X_9} \cdot 1.1252^{X_{10}} \cdot 1.1154^{X_{11}}.$$

2. За критерієм виходу кормових одиниць, т/га:

$$V_{кор} = 355.5366 \cdot 0.9821^{X_1} \cdot 0.9788^{X_2} \cdot 0.9883^{X_3} \cdot 0.9859^{X_4} \cdot 0.9883^{X_5} \cdot 0.9883^{X_6} \cdot 0.9693^{X_7} \cdot 0.9738^{X_8} \cdot 0.9803^{X_9} \cdot 0.9893^{X_{10}} \cdot 0.9709^{X_{11}}.$$

3. За критерієм виходу зернових одиниць, т/га:

$$V_{зер} = 5.5748 \cdot 1.0185^{X_1} \cdot 1.0199^{X_2} \cdot 1.0337^{X_3} \cdot 1.0219^{X_4} \cdot 1.0258^{X_5} \cdot 1.0249^{X_6} \cdot 1.0123^{X_7} \cdot 1.0162^{X_8} \cdot 1.0209^{X_9} \cdot 1.0488^{X_{10}} \cdot 1.0184^{X_{11}}.$$

4. За критерієм виходу перетравного протеїну, т/га:

$$P_{пр} = 2.7865 \cdot 0.9957^{X_1} \cdot 1.0062^{X_2} \cdot 1.0107^{X_3} \cdot 1.0040^{X_4} \cdot 1.0070^{X_5} \cdot 1.0065^{X_6} \cdot 0.9986^{X_7} \cdot 1.0001^{X_8} \cdot 1.0036^{X_9} \cdot 1.0074^{X_{10}} \cdot 1.0043^{X_{11}}.$$

5. За критерієм собівартості зерна, грн/т:

$$C = 54.7156 \cdot 0.9832^{X_1} \cdot 0.9797^{X_2} \cdot 0.9813^{X_3} \cdot 0.9794^{X_4} \cdot 0.9713^{X_5} \cdot 0.9782^{X_6} \cdot 0.9842^{X_7} \cdot 0.9798^{X_8} \cdot 0.9776^{X_9} \cdot 0.9829^{X_{10}} \cdot 0.9871^{X_{11}}.$$

6. За критерієм умовно чистого прибутку, тис.грн/га:

$$\text{ЧПр} = 0.8651 \cdot 0.9922^{X_1} \cdot 0.9944^{X_2} \cdot 1.0043^{X_3} \cdot 0.9994^{X_4} \cdot 1.0057^{X_5} \cdot 1.0024^{X_6} \cdot 0.9848^{X_7} \cdot 0.9918^{X_8} \cdot 0.9968^{X_9} \cdot 0.9996^{X_{10}} \cdot 0.9850^{X_{11}}.$$

7. За критерієм енергоємності, ГДж/га:

$$E_m = 6.7022 \cdot 1.0140^{X_1} \cdot 1.0221^{X_2} \cdot 1.0270^{X_3} \cdot 1.0192^{X_4} \cdot 1.0238^{X_5} \cdot 1.0224^{X_6} \cdot 1.0147^{X_7} \cdot 1.0187^{X_8} \cdot 1.0222^{X_9} \cdot 1.0311^{X_{10}} \cdot 1.0178^{X_{11}}.$$

8. За критерієм енерговитрат, ГДж/га:

$$E_v = 4.9170 \cdot 1.0136^{X_1} \cdot 1.0157^{X_2} \cdot 1.0359^{X_3} \cdot 1.0146^{X_4} \cdot 1.0167^{X_5} \cdot 1.0161^{X_6} \cdot 1.0116^{X_7} \cdot 1.0122^{X_8} \cdot 1.0160^{X_9} \cdot 1.0257^{X_{10}} \cdot 1.0131^{X_{11}},$$

де X_1 – пар чорний, X_2 – пшениця озима, X_3 – буряки цукрові, X_4 – соя, X_5 – кукурудза на зерно, X_6 – горох, X_7 – гречка, X_8 – просо, X_9 – ячмінь, X_{10} – еспарцет, X_{11} – соняшник.

Для умов нестійкого зволоження Лісостепу отримано моделі:

1. За критерієм урожайності зернових культур, т/га:

$$U_{зер} = 1.9974 \cdot 1.0709^{X_1} \cdot 1.1024^{X_2} \cdot 0.9932^{X_3} \cdot 1.0399^{X_4} \cdot 0.9994^{X_5} \cdot 0.9636^{X_6} \cdot 0.9901^{X_7}.$$

2. За критерієм виходу кормових одиниць, т/га:

$$V_{кор} = 43.9605 \cdot 0.9958^{X_1} \cdot 1.0067^{X_2} \cdot 1.0025^{X_3} \cdot 1.0086^{X_4} \cdot 1.0030^{X_5} \cdot 1.0065^{X_6} \cdot 1.0006^{X_7}.$$

3. За критерієм виходу зернових одиниць, т/га:

$$V_{зер} = 100.9933 \cdot 0.9749^{X_1} \cdot 0.9939^{X_2} \cdot 0.9936^{X_3} \cdot 1.0077^{X_4} \cdot 0.9898^{X_5} \cdot 1.0158^{X_6} \cdot 0.9856^{X_7}.$$

4. За критерієм виходу перетравного протеїну, т/га:

$$P_{пр} = 6.8425 \cdot 1.0227^{X_1} \cdot 0.9968^{X_2} \cdot 1.0010^{X_3} \cdot 0.9999^{X_4} \cdot 1.0081^{X_5} \cdot 0.9908^{X_6} \cdot 1.0037^{X_7}.$$

5. За критерієм собівартості зерна, грн/т:

$$C = 7.5443 \cdot 1.0011^{X_1} \cdot 0.9974^{X_2} \cdot 0.9964^{X_3} \cdot 0.9971^{X_4} \cdot 0.9945^{X_5} \cdot 0.9954^{X_6} \cdot 0.9914^{X_7}.$$

6. За критерієм умовно чистого прибутку, тис.грн/га:

$$ЧПр = 0.7537 \cdot 0.9973^{X_1} \cdot 1.0087^{X_2} \cdot 1.0001^{X_3} \cdot 1.0026^{X_4} \cdot 0.9988^{X_5} \cdot 0.9963^{X_6} \cdot 1.0007^{X_7}.$$

7. За критерієм енергоємності, ГДж/га:

$$E_m = 78.6398 \cdot 0.9998^{X_1} \cdot 1.0023^{X_2} \cdot 1.0006^{X_3} \cdot 0.9984^{X_4} \cdot 1.0044^{X_5} \cdot 1.0046^{X_6} \cdot 1.0019^{X_7}.$$

8. За критерієм енерговитрат, ГДж/га:

$$E_v = 30.5534 \cdot 0.9950^{X_1} \cdot 1.0089^{X_2} \cdot 0.9993^{X_3} \cdot 0.9996^{X_4} \cdot 1.0059^{X_5} \cdot 1.0029^{X_6} \cdot 1.0005^{X_7},$$

де X_1 – еспарцет, X_2 – пшениця озима, X_3 – буряки цукрові, X_4 – кукурудза на зерно, X_5 – кукурудза на силос, X_6 – ячмінь, X_7 – горох.

Для умов достатнього зволоження Лісостепу отримано моделі:

1. За критерієм урожайності зернових культур, т/га:

$$U_{зер} = 485624.5938 \cdot 0.9008^{X_1} \cdot 0.8727^{X_2} \cdot 0.9199^{X_3} \cdot 1.0191^{X_4} \cdot 0.8555^{X_5} \cdot 0.8996^{X_6} \cdot 1.0162^{X_7} \cdot 1.0522^{X_8} \cdot 0.7826^{X_9} \cdot 0.8776^{X_{10}} \cdot 0.8916^{X_{11}} \cdot 0.9165^{X_{12}} \cdot 0.9118^{X_{13}}.$$

2. За критерієм виходу кормових одиниць, т/га:

$$V_{кор} = 0.000024 \cdot 1.1937^{X_1} \cdot 1.2331^{X_2} \cdot 1.1706^{X_3} \cdot 0.9764^{X_4} \cdot 1.2763^{X_5} \cdot 1.1876^{X_6} \cdot 0.9763^{X_7} \cdot 0.9225^{X_8} \cdot 1.5058^{X_9} \cdot 1.2351^{X_{10}} \cdot 1.1868^{X_{11}}.$$

$$1.1606^{X_{12}} \cdot 1.1585^{X_{13}}.$$

3. За критерієм виходу зернових одиниць, т/га:

$$\begin{aligned} \text{Взер} = & 0.1026 \cdot 1.0887^{X_1} \cdot 1.0951^{X_2} \cdot 1.0869^{X_3} \cdot 0.9807^{X_4} \cdot 1.1015^{X_5} \cdot \\ & \cdot 1.0822^{X_6} \cdot 0.9809^{X_7} \cdot 0.9675^{X_8} \cdot 1.2071^{X_9} \cdot 1.0989^{X_{10}} \cdot 1.0777^{X_{11}} \cdot \\ & 1.0695^{X_{12}} \cdot 1.0686^{X_{13}}. \end{aligned}$$

4. За критерієм виходу перетравного протеїну, т/га:

$$\begin{aligned} \text{Ппр} = & 10.9472 \cdot 0.9845^{X_1} \cdot 1.0000^{X_2} \cdot 0.9682^{X_3} \cdot 1.0295^{X_4} \cdot 1.0107^{X_5} \cdot \\ & \cdot 1.0168^{X_6} \cdot 1.0344^{X_7} \cdot 1.0260^{X_8} \cdot 0.9376^{X_9} \cdot 1.0141^{X_{10}} \cdot 0.9632^{X_{11}} \cdot \\ & \cdot 0.9631^{X_{12}} \cdot 0.9615^{X_{13}}. \end{aligned}$$

5. За критерієм собівартості зерна, грн./т:

$$\begin{aligned} \text{С} = & 20915058 \cdot 0.8365^{X_1} \cdot 0.7990^{X_2} \cdot 0.8628^{X_3} \cdot 1.0356^{X_4} \cdot 0.7793^{X_5} \cdot \\ & \cdot 0.8399^{X_6} \cdot 1.0286^{X_7} \cdot 1.0910^{X_8} \cdot 0.6519^{X_9} \cdot 0.8009^{X_{10}} \cdot 0.8396^{X_{11}} \cdot \\ & \cdot 0.8542^{X_{12}} \cdot 0.8556^{X_{13}}. \end{aligned}$$

6. За критерієм умовно чистого прибутку, тис. грн./га:

$$\begin{aligned} \text{ЧПр} = & 1.2441^{X_1} \cdot 1.2916^{X_2} \cdot 1.2023^{X_3} \cdot 0.9722^{X_4} \cdot 1.3542^{X_5} \cdot \\ & \cdot 1.2366^{X_6} \cdot 0.9743^{X_7} \cdot 0.907^{X_8} \cdot 1.6426^{X_9} \cdot 1.2931^{X_{10}} \cdot 1.2353^{X_{11}} \cdot \\ & \cdot 1.1955^{X_{12}} \cdot 1.1929^{X_{13}}. \end{aligned}$$

7. За критерієм енергоємності, ГДж/га:

$$\begin{aligned} \text{Ем} = & 0.0837 \cdot 1.1163^{X_1} \cdot 1.1599^{X_2} \cdot 1.1477^{X_3} \cdot 0.9082^{X_4} \cdot 1.0763^{X_5} \cdot \\ & \cdot 1.0801^{X_6} \cdot 0.9372^{X_7} \cdot 0.8788^{X_8} \cdot 1.4643^{X_9} \cdot 1.1748^{X_{10}} \cdot 1.0765^{X_{11}} \cdot \\ & \cdot 1.1450^{X_{12}} \cdot 1.1382^{X_{13}}. \end{aligned}$$

8. За критерієм енерговитрат, ГДж/га:

$$\begin{aligned} \text{Ев} = & 0.00001 \cdot 1.2154^{X_1} \cdot 1.2045^{X_2} \cdot 1.1529^{X_3} \cdot 0.9901^{X_4} \cdot 1.2824^{X_5} \cdot \\ & \cdot 1.2059^{X_6} \cdot 1.0044^{X_7} \cdot 0.9476^{X_8} \cdot 1.4390^{X_9} \cdot 1.2119^{X_{10}} \cdot 1.2059^{X_{11}} \cdot \\ & \cdot 1.1300^{X_{12}} \cdot 1.1276^{X_{13}}, \end{aligned}$$

де X_1 – конюшина, X_2 – пшениця озима, X_3 – буряки цукрові, X_4 – кукурудза на зерно, X_5 – ячмінь, X_6 – горох, X_7 – кукурудза на силос, X_8 – люцерна 1 року, X_9 – люцерна 2 року, X_{10} – люцерна 3 року, X_{11} – соя, X_{12} – овес, X_{13} – гречка.

Отримані моделі побудовано з метою у практичних умовах об'єктивно проаналізувати і вибрати найбільш ефективний варіант сівозміни, який буде найкращим для конкретного господарства визначених ґрунтово-кліматичних умов.

Перш за все за отриманими моделями визначили показники ефективності сівозмін, за результатами яких побудовано ці моделі.

Для умов недостатнього зволоження Лісостепу результати розрахунку свідчать про те, що за всіма критеріями найкраще зарекомендували себе трипільні сівозміни з 33.3-66.6% насиченням зерновими і зернобобовими та 33.3-66.6% кукурудзою: соя – кукурудза – кукурудза; горох – кукурудза – кукурудза, горох – пшениця озима – кукурудза.

У цих сівозмінах вирощували високоврожайну просапну культуру – кукурудзу, а пшеницю озиму розміщували після кращого попередника – гороху, що сприяло підвищенню врожайності зернових культур, умовно чистого прибутку та інших критеріїв ефективності. Зернопаропросапна сівозміна з полем пару чорного за критеріями ефективності поступається іншим варіантам зернопросапних сівозмін. Відведення 33.3 % ріллі під пар чорний є економічно не вигідним, але повна відмова від нього в умовах недостатнього зволоження можлива лише в господарствах з високою культурою землеробства. У сівозміні з 100% насиченням зерновими і зернобобовими, у тому числі 33.3% гречки, відмічено високу собівартість зерна і енерговитрати. Але, значний попит на продукцію круп'яних культур зумовлює доцільність спеціалізації господарств, де основною продукцією є зерно гречки. У зернопросапній сівозміні з 66.6% зернових і зернобобових та 33.3 сояшника отримано низьку врожайність зернових за досить високої собівартості зерна, що істотно знижує всі критерії ефективності.

Для умов нестійкого зволоження Лісостепу, результати розрахунку свідчать про те, що за всіма критеріями найкраще зарекомендувала себе п'ятипільна сівозміна з 40% насиченням зерновими і зернобобовими та 60% просапними культурами: горох – пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза – кукурудза. За досить високої урожайності зернових культур та найнижчій собівартості зерна у цій сівозміні отримано найбільший умовно чистий прибуток, що зумовлено вирощуванням високоврожайних просапних культур.

У сівозміні з 60% насиченням зерновими культурами, у тому числі 40% пшениці озимої, отримано найвищу врожайність зернових, але за високої собівартості зерна, що істотно знизило всі критерії ефективності.

Для умов достатнього зволоження Лісостепу результати розрахунку свідчать про те, що за всіма критеріями ефективності найкраще зарекомендувала себе п'ятипільна сівозміна з 40 % насиченням зерновими, 40 просапними культурами і 20% багаторічними травами: конюшина на 2

укуси – пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза – ячмінь + конюшина. У цій сівозміні вирощували високоврожайні просапні культури, а всі зернові розміщували після кращих попередників. Це сприяє підвищенню врожайності зернових культур, збільшенню умовно чистого прибутку та інших критеріїв ефективності. Ефективною була також п'ятипільна сівозміна з 60 % насиченням зерновими, 20 просапними культурами і 20% багаторічними травами: конюшина на 2 укуси – пшениця озима + післяжнивні – гречка – кукурудза – ячмінь + конюшина.

У п'ятипільній сівозміні з 40 % насиченням зерновими культурами, вирощуванням люцерни та застосуванням органічної системи удобрення, отримано досить високі критерії енергетичної ефективності. У п'ятипільній сівозміні з 80 % насиченням зерновими і зернобобовими культурами отримано невисокі критерії ефективності, що можна пояснити вирощуванням однойменних культур (по 40 % сої та пшениці озимої), які різко знижують урожайність зернових культур.

Середнє відхилення експериментальних значень від розрахованих за моделями не перевищує 2 %. Отже, одержані моделі у вигляді рівнянь регресії, адекватно відтворюють показники експериментальних сівозмін. Тому, їх можна застосовувати для оцінки будь-яких сівозмін, до складу яких входять сільськогосподарські культури, що вирощували у наведених сівозмінах.

Застосовуючи одержані моделі, проведемо оцінку сівозмін, які впроваджено у господарствах, розташованих у різних умовах зволоження Лісостепу України. Результати розрахунку показників ефективності за описаними вище моделями показані у табл.

Запропоновані моделі було апробовано для умов недостатнього зволоження Лісостепу у фермерському господарстві «Карін» Полтавського району Полтавської області, де проведено оцінку чотиріпільної зернопросапної сівозміни: горох – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь з 75 % насиченням зерновими і зернобобовими культурами (вар 1).

Таблиця 1

Оцінка ефективності сівозмін, впроваджених у господарствах, розташованих у різних умовах зволоження Лісостепу України (за регресійними моделями)

Критерій ефективності	Недостатнє зволоження	Нестійке зволоження		Достатнє зволоження
	1	2	3	4
Зернових, %	75	60	40	60
Урожайність зернових, т/га	3.03	4.80	5.02	5.77
Вихід кормових одиниць, т/га	7.03	5.83	6.56	5.72
Вихід зернових одиниць, т/га	6.48	8.32	7.54	5.92
Вихід перетравного протеїну, т/га	0.55	0.66	0.85	0.64
Собівартість зерна, грн/т	0.67	0.50	0.59	0.65
Умовно чистий прибуток, тис.грн./га	0.82	1.01	0.83	0.93
Енергоємність, ГДж/га	67.88	68.61	88.11	89.44
Енерговитрати, ГДж/га	38.86	26.50	34.20	33.65

Результати розрахунку свідчать про те, що ця сівозміна порівняно з іншими варіантами була менш ефективна, що пояснюється високою собівартістю зерна та великими енерговитратами. На підвищення цих показників вплинуло вирощування інтенсивних сільськогосподарських культур, які вимагають великих витрат.

Для умов нестійкого зволоження Лісостепу в приватному сільськогосподарському підприємстві «Насіння» Драбівського району Черкаської області проведено оцінку двох п'ятипільних зернопросапних сівозмін: горох – пшениця озима – буряки цукрові - кукурудза на зерно - ячмінь; кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові - кукурудза на зерно - ячмінь відповідно з 60 % (вар. 2) та 40 % (вар. 3) насиченням зерновими і зернобобовими культурами.

Результати розрахунку свідчать про те, що найкращою, порівняно з іншими була сівозміна з 60 % насиченням зерновими культурами (вар. 2). У ній отримано досить високу врожайність зернових культур (4.80 т/га),

найвищий чистий прибуток (1.01 тис.грн/га) за найменшої собівартості зерна (0.50 грн/т). Це можна пояснити вирощуванням у цій сівозміні високоврожайних просапних культур. Сівозміна з 40 % насиченням зерновими культурами (вар. 3) поступається їй за економічними показниками, але вона досить енергетично ефективна.

Для умов достатнього зволоження Лісостепу у фермерському господарстві «Трембіта» Ярмолинецького району Хмельницької області проведено оцінку п'ятипільної зернопросапної сівозміни: гречка – пшениця озима – буряки цукрові - картопля, овочі, кукурудза на силос – ячмінь з 60 % насиченням зерновими культурами (вар. 4).

Результати розрахунку свідчать про те, що у цій сівозміні порівняно з іншими варіантами отримано найвищу врожайність зернових культур (5.77 т/га), але за високої собівартості зерна (0.65 грн/т), що вплинуло на зменшення чистого прибутку. Ця сівозміна була найефективнішою за енергетичними показниками.

Дослідження ефективності зернопросапних сівозмін проведене для сільськогосподарських культур, які найбільш поширені для різних умов зволоження Лісостепу. Якщо виникне потреба включення до сівозмін культур, показники яких не входять до одержаних рівнянь регресії, можна отримати результати їхнього вирощування і доповнити запропоновані моделі поверхні відгуку.

Висновки

За допомогою побудованих регресійних моделей можна об'єктивно проаналізувати і визначити науково обґрунтовані сівозміни з оптимальним насиченням, співвідношенням та розміщенням сільськогосподарських культур для впровадження у господарствах різних ґрунтово-кліматичних умовах України.

Вони можуть бути застосовані у двох випадках: для оцінки існуючої сівозміни, що впроваджена в окремому господарстві та для обґрунтування перспективної сівозміни.

У кожному з цих випадків за побудованими моделями можливо визначити ефективність будь-яких сівозмін і вибрати за вказаними критеріями найбільш доцільні. Можна зробити обґрунтований висновок, що одержані регресійні моделі доцільно застосувати для оцінки сівозмін із зміною площ сільськогосподарських культур у межах досліджу ± 10 %. Доступність цього методу полягає у простоті обчислень. Отримавши показники за вказаними критеріями для прийняття рішення, можна визначити обґрунтовані

результати вибору найбільш ефективного розміщення сільськогосподарських культур у різноротаційних сівозмінах для різних ґрунтово-кліматичних умов України.

Це дає можливість раціонально використати агроландшафти з одночасним покращанням рівня родючості ґрунту, підвищенням врожайності сільськогосподарських культур та збільшенням і стабілізацією виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції та зниженням економічних і енергетичних витрат на їхнє виробництво.

Література

1. *Босий М.А.* Прогнозування технології та технічних засобів для сільськогосподарського виробництва // Тези доповідей науково-технічної конференції ІМЕСГ УААН "Енергозберігаючі технології та технічні засоби для виробництва сільськогосподарської продукції" – смт. Глеваха. – 1993. – С.119-120.
2. *Горелов А.А.* Экология - наука - моделирование. - М.: Наука - 1985. - 206с.
3. *Коваленко Н.П.* Оптимізація структури посівних площ і спеціалізованих сівозмін методом економіко-математичного моделювання//Методика, механізація, автоматизація та комп'ютеризація досліджень у землеробстві, рослинництві, садівництві та овочівництві. Зб. наук. праць. – К., 2007. – Вип.9. – С.245-251.
4. *Льюис К.Д.* Методы прогнозирования экономических показателей / Пер. с англ. Е.З.Демиденко. – М.: Финансы и статистика. – 1986. – 133 с.
5. *Лукачев М.И.* Исследование моделей аграрного производства. - М.: Изд-во Моск.ун-та, - 1985. - 136 с.
6. *Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве /* Гатаулин А.М., Гаврилов Г.В., Сорокина Т.М. и др. - М: Агропромиздат. - 1990. - 432 с.
7. *Розен В.В.* Цель – оптимальность – решение (математические модели принятия оптимальных решений). – М.: Радио и связь. – 1982. – 168 с.
8. *Франс Дж., Торнли Дж.Х.М.* Математические модели в сельском хозяйстве: Пер.с англ. - М.: Агропромиздат. - 1987. - 400 с.
9. *Ферстер Э., Ренц Б.* Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов / Пер. с нем. и пред. В.М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика. – 1983. – 302 с.
10. *Юркевич Є.О., Коваленко Н.П.* Агроекологічна оптимізація посівних площ і розміщення соняшника в сівозмінах України. – Одеса: Огмрцян, 2007. – 43 с.

Н.П. Коваленко. Применение методов экономико-математического моделирования при определении эффективности севооборотов.

На основании многолетних экспериментальных исследований, которые касаются эффективности севооборотов для различных условий Лесостепи, построены регрессионные показательные модели, которые дают возможность определить зависимость критериев эффективности – урожайности зерновых культур, выхода кормовых, зерновых единиц, перевариваемого протеина, себестоимости зерна, условно чистой прибыли, энергоемкости и энергозатрат от величины площадей сельскохозяйственных культур, которые выращивают в севооборотах.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, севообороты, регрессионные показательные модели, критерии эффективности, урожайность, продуктивность, экономическая и энергетическая эффективность.

N.P. Kovalenko. Application of methods ekonomiko-mathematical design in determination of efficiency of crop rotations.

On the basis of long-term experimental researches which touch efficiency of crop rotations for the different terms of Forest-steppe, regressive an index models which enable to set dependence of criteria of efficiency are built – to the productivity of grain-crops, output of forage, corn units, digestible protein, prime price of grain, de bene esse net income, to power hungryness and power charges, from the size of areas of agricultural cultures which grow in crop rotations.

Keywords: agricultural cultures, crop rotations, regressive an index models, criteria of efficiency, productivity, economic and power efficiency.