

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ПОСІВНИХ ПЛОЩ КОРМОВИХ КУЛЬТУР ГОСПОДАРСТВА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНОЇ ЗОНИ

Чернобильська катастрофа заподіяла не тільки величезних збитків економіці України, Росії, Білорусі та інших країн, але ї викликала істотні зміни в практиці природокористування, структури сільськогосподарського виробництва, як основного виробника продуктів харчування. Тому в умовах глибокої економічної кризи, яка погіршується наслідками аварії на АЕС та подальшою деградацією сільськогосподарських ландшафтів, реально постає проблема загрози продовольчої безпеки держави.

Після трагедії був виконаний цілий комплекс контрзаходів, який сумісно з дією механізмів розпаду, природного “розчинення” радіонуклідів в агроландшафтах дозволив поліпшити радіологічну безпеку продуктів харчування. Проте на сьогодні не можна гарантувати, що ліквідована загроза виникнення повторного забруднення сільськогосподарської продукції. Більшість з проведених контрзаходів відносились до агротехнічних та агрохімічних і були спрямовані на блокування або обмеження міграції основних дозоутворюючих радіонуклідів – радіоцезію (^{137}Cs) та радіостронцію (^{90}Sr) в харчових ландшафтах. Здійснення таких заходів вимагало великих витрат грошово-матеріальних та трудових ресурсів, оскільки передбачало застосування великої кількості механічних обробок ґрунту, підвищених норм мінеральних добрив та меліорантів. Це, в свою чергу, підвищувало антропогенний тиск на сільськогосподарські угіддя та погіршувало стан навколишнього середовища.

У порівнянні з іншими контрзаходами, організаційні - зміна спеціалізації сільськогосподарського виробництва, оптимізація структури землекористування, - не вимагають суттєвих додаткових витрат та не призводять до розвитку процесів подальшої деградації агроландшафтів. Тому оптимізація структури посівних площ з метою здешевлення тваринницької продукції та зменшення надходження радіонуклідів в кінцеву продукцію цілком погоджується з принципами зрівноваженого ведення сільського господарства.

Метою нашого дослідження було визначення розмірів та структури ефективної кормової бази, яка відповідала б за кількісними та якісними показниками економічним можливостям господарства (принцип реалістичності) та умовам одержання “чистої” продукції без заподіяння шкоди навколишньому середовищу (принцип екологічної безпеки). Водночас, зміна структури посівних площ культур - складний процес, який вимагає узгодження з вже освоєною системою сівозмін, практикою ведення тваринництва, як основної галузі сільськогосподарського виробництва для Поліських господарств, а також врахування багатьох інших аспектів виробництва.

Для виконання головного завдання була розроблена експертна система оптимізації структури виробництва та використання кормів у господарстві. Вона дозволяє забезпечити тваринництво

найдешевими кормами, визначити ступінь екологічної чистоти тваринницької продукції та визначити вартісну різницю між економічно та екологічно обґрунтованими структурами кормовиробництва. Тобто, визначити різницю між економічним оптимумом при дотриманні екологічних вимог та чисто екологічним оптимумом виробництва, що не враховується існуючими моделями.

Відомо, що планування оптимальної структури посівних площ та кормових угідь вимагає максимального узгодження з потребою тварин та птиці в енергії і поживних речовинах. При цьому слід врахувати також комплекс факторів пов'язаних з економічною ефективністю вирощування кормових культур, заготівлю з них окремих груп кормів, вимогами сівозмін, балансуванням раціонів годівлі, рухом радіонуклідів в ланцюгу " ґрунт – рослина – корм – організм тварини – продукція тваринництва".

Узгодження вимог оптимізації структури посівних площ, раціонів годівлі при досягненні економічного, а потім екологічного екстремуму цільової функції вимагає великого ступеня деталізації вхідної інформації, поетапного вирішення такої задачі. У нашому випадку на першому етапі оптимізується структура сівозміни (основна задача), а на другому (допоміжна задача), здійснюється мінімізація витрат на виробництво та використання кормів або забрудненості тваринницької продукції (рис 1). Експертна система дозволяє оптимізувати структуру кожної наявної в господарстві сівозміни.

У сучасних умовах діяльності сільськогосподарських підприємств радіоактивно забрудненої зони така необхідність пояснюється двома основними причинами. По-перше, витратністю та трудомісткістю землевпорядкування (перерозподіл, а тим більше перенарізка полів). По-друге, необхідністю розрахунку міграції радіонуклідів у харчовому ланцюзі, який можливо зробити тільки виходячи з агрохімічних особливостей та щільності забруднення кожного окремого поля сівозміни.

Задача оптимізації структури сівозміни (перший етап) вирішується призначенням n культур і n полів. Тобто, кількість полів повинна відповідати кількості культур, які на них вирощуються. Це досягається шляхом вирішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{g=1}^n x_{gh} = 1 \\ \sum_{h=1}^n x_{gh} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

де,

$$x_{gh} \geq 0, g = \overline{1, n}; h = \overline{1, n} \quad (2)$$

змінна $x_{gh}=1$, якщо g -та культура розташована на h полі. Враховуючи порівняно малу величину кількості полів n для кожної сівозміни, задача (1) може бути вирішена методом повного перебору можливих значень x_{gh} з вибором комбінацій, які відповідають мінімуму цільової функції $\alpha(x)$.

$$\alpha(x) = \sum_{g=1}^n \sum_{h=1}^n [f_{z,p}(g,h)x_{gh} + p_{gh}] \longrightarrow \min \quad (3)$$

Цільова функція, в залежності від вибору критерію оптимальності на другому етапі, складатиметься з двох компонентів -- мінімальної вартості виробництва кормів з g -ї культури на h полі $f_z(g,h)x_{gh}$, або з мінімальної забрудненості тваринницької продукції $f_p(g,h)x_{gh}$. Вони визначаються в процесі рішення допоміжної задачі оптимізації виробництва кормів, та штрафу p_{gh} , який набуває позитивного значення тільки у випадку, коли вирощування g -ї культури на h -му полі небажане або недопустиме через несприятливих попередників. У випадках, коли вирощування культури допускається науково-обґрунтованим чергуванням культур в сівозміні, штраф $p_{gh} = 0$.

Вище підкреслювалось, що оптимізація структури посівів кормових культур неможлива без врахування розміру витрат на корми, потреб тварин в енергії та поживних речовинах, з одночасною перевіркою вимог екологічної чистоти кінцевої продукції тваринництва. Таким чином, на першому етапі визначається оптимальна структура сівозміни, але при цьому неможливо гарантувати мінімальну вартість кормів для тваринництва та екологічну (в нашому випадку радіологічну) безпеку продуктів харчування. Дотримання останніх умов перевіряється на другому етапі вирішення задачі.

Розглянемо будову окремих груп обмежень другого (допоміжного) етапу вирішення задачі. Вони відбивають найбільш суттєві внутрігосподарські зв'язки, а саме: між окремими елементами вирощування кормових культур, заготівлі кормів, годівлі та утримання тварин, міграції радіоцезію, а

також зовнішньогосподарські зв'язки, пов'язані з необхідністю реалізації та придбанням кормів на ринку. Це завдання експертна система з використанням симплекс методу вирішує на допоміжному етапі системою нерівностей 4-12.

Необхідними даними на цьому етапі є: кількість полів в господарстві – p ; кількість видів культур, які можуть бути використані на корм – k ; кількість видів кормів – b ; кількість статевих вікових груп тварин – m ; кількість поживних речовин, якими необхідно забезпечити тварин – o . Тоді необхідно вирішити систему, складену з наступних нерівностей:

$$\Delta_j \sum_{i=1}^m y_{ij} + \Theta_i + l_{ij} - b_{ij} - s_{ij}(u_{ij} - n_{ij}) \leq 0; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, b} \quad (4)$$

де,

Δ_j - коефіцієнт збільшення виробництва j -го корму з врахуванням потреб у страховому фонді, природних втрат при заготівлі та зберіганні корму та інших факторів, які необхідно врахувати при плануванні потреби в j -му кормі;

y_{ij} - кількість j -го корму виробленого з i -го поля, яка повинна бути спрямована для годівлі i -ї статевих вікових груп тварин, ц;

Θ_i - кількість соломи необхідної на підстилку худобі з i -го поля, ц;

l_{ij} - можлива реалізація (вибуття) j -го корму з i -го поля на ринку, та по інших каналах вибуття, ц;

b_{ij} - можливе додаткове надходження j -го корму (закупівля) та відповідне зменшення виробництва на i -му полі, ц;

s_{ij} - площа використання поля i на корм j , га;

u_{ij} - вихід j -го корму з i -го поля (зеленої маси, сіна, сінажу, силосу, соломи, та інших кормів), ц;

n_{ij} - потреба в насінні j -ї культури, яку треба задовольнити з власного врожаю та розподілити на i -те поле ц;

Наведена нерівність відображає умову забезпечення тварин кормами не більше валового збору кормових культур, з урахуванням необхідності виділення з врожаю соломи на підстилку, насінневого матеріалу, зарезервування частини врожаю в страховому фонді, реалізації (вибутті) частини врожаю за межі господарства, а також надходження в господарство придбаних на стороні кормів.

Недоотримані тваринами корми через їх вибуття по різних каналах необхідно розподілити між полями, на яких вирощуються відповідні культури. Також необхідно обмежити загальне вибуття кормів за межі господарства не більше розмірів їх виробництва. Виконання цих умов гарантується другою нерівністю:

$$\sum_{i \in \Omega_q} \sum_{t=1}^o l_{ij} = L_q; q = \overline{1, k} \quad (5)$$

де,

Ω_q - множина номерів полів на яких вирощується q -та культура;

L_q - загальне використання корму з q -ї культури, ц.

Корми, які надходять в господарство необхідно також розподілити між полями, на яких вирощуються відповідні культури господарства:

$$\sum_{i \in \Omega_q} \sum_{t=1}^b b_{ij} \leq B_q; q = \overline{1, k} \quad (6)$$

де,

B_q - загальне одержання корму з q -ї культури, ц.

Забезпечення потреби тварин в поживних речовинах та енергії, а також максимальні та мінімальні допустимі межі насичення раціонів тварин окремими групами кормів забезпечуються наступними двома нерівностями:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b a_{ij} y_{ij} + m_n \geq A_n; t = \overline{1, m}; n = \overline{1, o} \quad (7)$$

$$h_y^{\min} \leq \sum_{i=1}^n y_{ij} e_{ij} \leq h_y^{\max}; t = \overline{1, m}; j = \overline{1, b} \quad (8)$$

де,

d_{ij} - вміст u -ї поживної речовини в j -му кормі з i -го поля;

m_{iu} - мінеральні та вітамінні добавки u -ї речовини i -ї статеві-вікової групи худоби;

A_{iu} - потреба i -ї статеві-вікової групи худоби в u -ї поживної або мінеральній речовині.

e_{ij} - поживна цінність j -го корму з i -го поля, МДж;

h_{ij}^{\min} та h_{ij}^{\max} - мінімальна та максимальна частка j -го корму в раціоні для тварини статеві-вікової групи i , % від енергетичної цінності раціону.

При створенні нашої експертної системи ми використали 12 основних показників вмісту в кормі та потребу в поживних речовинах згідно з деталізованими нормами годівлі: кормові одиниці, обмінну енергію, суху речовину, перетравний протеїн, сиру клітковину, кальцій, фосфор, магній, залізо, мідь, цинк та каротин.

Якщо сума кількості мінеральних речовин в раціоні не забезпечує потреб тварин, то необхідно передбачити їх додаткове надходження, але загальна кількість мінеральних речовин в раціонах годівлі не повинна перевищувати їх надходження з кормами та добавками.

$$\sum_{i=1}^m m_{iu} \leq M_{iu}; u = \overline{1,0}; \tag{9}$$

де,

M_{iu} - загальне надходження u -ї поживної або мінеральної речовини

Також для правильної постановки задачі необхідно встановити обмеження розмірів площ таким чином, щоб сума площ, з яких отримують різні корми на одному полі не перевищувала розміри цього поля. Це досягається в системі нерівностей за допомогою нерівності 10.

$$\sum_{j=1}^b s_{ij} \leq S_i; i = \overline{1,n}, \tag{10}$$

де S_i - площа i -го поля, га.

У процесі визначення оптимальної структури кормових культур, яка дозволяє одержати найбільш дешеві раціони для тваринництва (економічний екстремум цільової функції), експертна система повинна перевірити і гарантувати екологічну чистоту тваринницької продукції. Це досягається шляхом перерахунку очікуваного рівня забруднення тваринницької продукції по ^{137}Cs через систему коефіцієнтів переходу радіонукліду в харчовому ланцюзі та обмеження використання забруднених кормів в разі виявлення перевищення допустимих рівнів. Ця нерівність має вигляд:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b y_{ijt} p_i q_{ij} - f_i \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b y_{ijt} \leq 0; t = \overline{1,m}, \tag{11}$$

де,

p_i - щільність забруднення i -го поля ^{137}Cs , $\text{Ки}/\text{км}^2$;

q_{ij} - коефіцієнт переходу ^{137}Cs з i -го поля або типу кормових угідь в j -й корм, $\text{Ки}/\text{км}^2/\text{Вк}/\text{кг}$;

f_i - гранично-допустимі концентрації ^{137}Cs в продукції i -ї тварини, $\text{Вк}/\text{кг}$.

Для правильного математичного формулювання задачі всі змінні повинні бути при цьому невід'ємними числами.

$$y_{ijt} \geq 0; \Theta \geq 0; l_{ij} \geq 0; b_{ij} \geq 0; m_{iu} \geq 0; s_{ij} \geq 0; i = \overline{1,n}; j = \overline{1,b}; t = \overline{1,m}; u = \overline{1} \tag{12}$$

Цільова функція $f_z^{gh}(y)$ на допоміжному етапі вирішення задачі спрямована на мінімізацію сумарних витрат на виробництво кормів для власного тваринництва і має вигляд:

$$f_z^{gh}(y) = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^h \left[z_{ij} \sum_{t=1}^m Y_{ijt} \right] + z_0 \longrightarrow \min \tag{13}$$

де,

z_{ij} - витрати на виробництво j -го корму на i -му полі, грошових одиниць;

z_0 - витрати на придбання кормів на стороні, грошових одиниць.

Вибір собівартості кормів в якості критерію оптимальності цільової функції, пов'язаний з загальною збитковістю тваринництва суспільного сектора сільськогосподарського виробництва, робить неможливою максимізацію прибутку від реалізації тваринницької продукції. До того ж, близько 60% витрат на виробництво молока і м'яса складають витрати на корми. Тому, зміна структури кормової площі, що дозволяє одержати найбільш дешеві корми, є однією з необхідних передумов підвищення ефективності тваринництва та виходу галузі з кризи.

Для визначення структури кормової площі, що гарантує екологічний оптимум, у нашому випадку - це мінімальне забруднення продукції тваринництва радіоактивним цезієм, цільова функція $f_{p(y)}^{gh}$ має вигляд:

(14)

Таким чином, при збереженні умов обмежень 4-12 експертна система буде формувати структуру посівів з кормових культур, які мають найнижчі коефіцієнти переходу радіоцезію з ґрунту в рослину. Це, в свою чергу, повинно забезпечити тварин кормами з мінімальним вмістом радіонуклідів.

Для практичного вирішення поставленої мети, нами була створена експертна система у вигляді прикладної комп'ютерної програми, яка складається з блоків введення даних, вирішення задачі лінійного програмування та п'яти баз даних.

Введення даних відбувається в інтерактивному режимі з клавіатури комп'ютера. Блок вводу даних про заготівлю окремих кормів в господарстві передбачає можливість заготівлі та використання всіх основних кормів. Бази даних містять інформацію:

1. Про найкращих попередників сільськогосподарських культур;
2. Про поживність кормів;
3. Про коефіцієнти переходу радіоактивного цезію в ланцюгу "ґрунт-рослина-корм-тварина-продукція тваринництва" та їх залежність від вмісту обмінного калію (K_2O);
4. Про максимально допустимі рівні активності радіоцезію в тваринницькій продукції;
5. Про потребу тварин різних статевих-вікових груп в обмінній енергії та поживних речовинах.

Інформація для створення баз даних була запозичена з джерел 1-4.

Після того, як експертною системою була визначена структура кормової площі, яка забезпечує мінімальне радіоактивне забруднення тваринницької продукції (екологічний оптимум функції $f_{p(y)}^{gh}$), вона порівнюється з структурою, що гарантує одержання найбільш дешевих кормів, при відповідності тваринницької продукції вимогам екологічної безпеки (економіко - екологічний оптимум функції $f_{z(y)}^{gh}$). Одержана різниця між двома оптимумами відображає додаткові витрати, які сільськогосподарське підприємство буде нести, якщо поставить за мету виробництво тваринницької продукції з мінімальним вмістом радіоактивного цезію.

Це необхідно враховувати при прийнятті управлінських рішень у сфері сільськогосподарського природокористування. Структура, яка гарантує забезпечення тваринництва найдешевшими кормами з дотриманням вимог екологічної чистоти продукції тваринництва, має забезпечити врівноважений розвиток сільського господарства в майбутньому. Вона не буде суперечити необхідності одержання господарством, як підприємницькою структурою, прибутку від реалізації тваринницької продукції.

Проте існує загроза того, що через певний проміжок часу структура, яка обґрунтована тільки екологічно, втратить життєздатність. Прикладом цього може бути структура посівів кормових з домінацією культур, що мають найнижчі коефіцієнти переходу - кормових коренеплодів, кукурудзи на силос та зернових культур на фураж. Водночас ігнорування найдешевих для Полісся зелених кормів та сіна з природних поліпшених кормових угідь, багаторічних, які мають дещо вищі коефіцієнти переходу при чисто екологічному оптимумі, може призвести до втрати економічної стабільності системи кормовиробництва.

Таким чином, створена експертна система оптимізації структури посівів кормових культур допоможе при визначенні різних альтернатив виробництва у сфері сільськогосподарського природокористування.

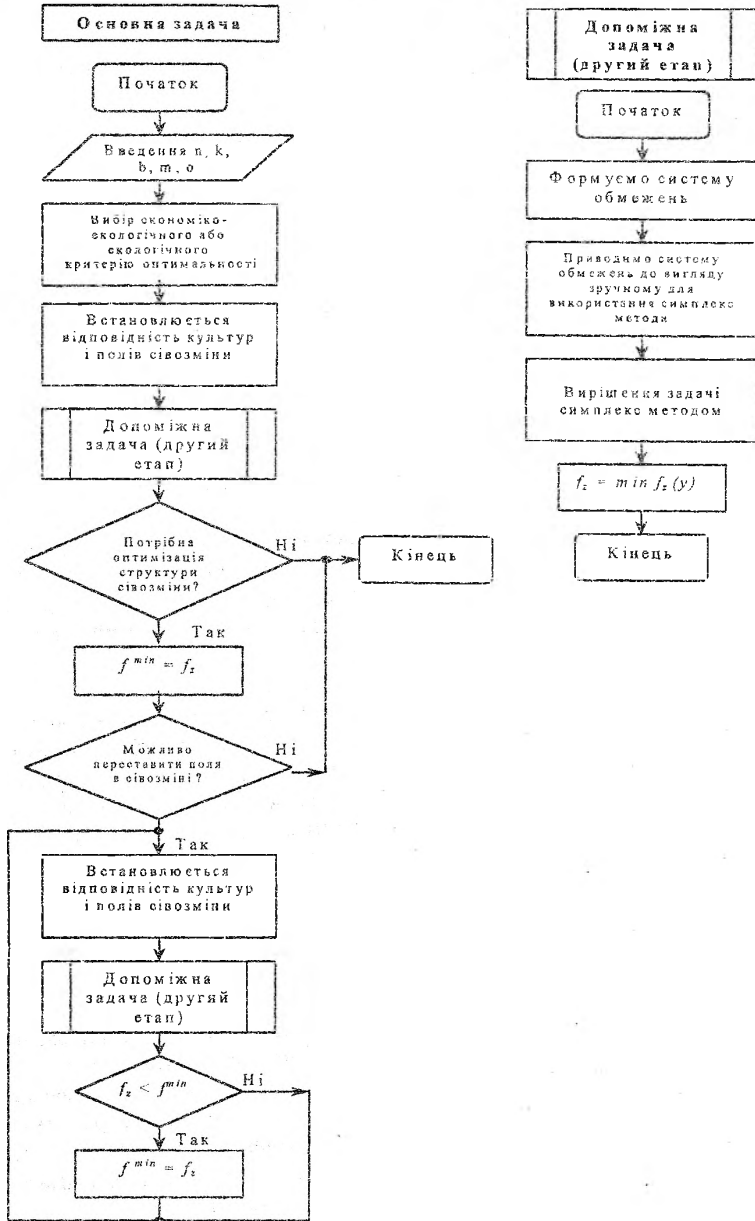


Рис. 1. Блок-схема рішення задачі оптимізації структури кормової площі господарства.

Література

1. Довідник для радіологічних служб Мінсільгосппроду України. УкрНДІСГР МСГ України. Київ, 1997.
2. Довідник по годівлі сільськогосподарських тварин / Г.О. Богданов, В.Ф. Каравашенко, О.І. Зверев та ін.; За ред. Г.О. Богданова – 2-е вид., перероб. і доп.-К.; Урожай, 1986. с. 6-9.
3. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах та питній воді (ДР-97) затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України №61 від 05.11.97.
4. Карпуть М.М., Славов В.П., Пристер Б.С. та ін. Деталізована поживність кормів та раціони годівлі корів у зоні радіоактивного забруднення Полісся України.-«Тетерів», 1994.- с. 211.

ПРИХОДЬКО Дмитро Станіславович, аспірант кафедри менеджменту організацій Державної агроекологічної академії України. Науковий керівник: доктор с.-г наук, член-кор. УААН В.Л. Славов.