

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУВАННЯ ЗАХИСТУ РОСЛИН

О.Б.В'юненко\*, доц.; І.А.Мачуський\*\*, викл.; Т.В.Токарева, асп.

(\*Сумський державний аграрний університет,

\*\*Уманська сільськогосподарська академія)

Застосування математичного моделювання в плануванні сільськогосподарського виробництва сприяє найбільш ефективному використанню засобів виробництва і робочої сили підприємствами народного господарства, у тому числі агропромислового й лісогосподарського комплексу. Значний інтерес при цьому викликає розробка ЕММ календарного планування проведення захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів. Адже лише за рахунок раціонального планування, організації та проведення комплексу захисних заходів без додаткових затрат можна зменшити використання робочої сили, матеріально-фінансових ресурсів і одержати значний економічний ефект. Із досвіду розв'язування задач календарного планування відомо, що за допомогою економіко-математичних моделей (ЕММ) можна на 20-30 відсотків скоротити строки виконання робіт [1], насамперед за рахунок найбільш раціонального використання наявних ресурсів.

З іншого боку, при застосуванні ЕММ значно підвищується відповідальність і матеріальна зацікавленість кожного робітника, тому що він наперед буде знати обсяги робіт, в які строки, якими машинами і агрегатами вони будуть виконуватися і яка при цьому буде його заробітна плата. Отже, економіко-математичне моделювання захисту сільськогосподарських культур сприятиме підвищенню врожайності і зниженню втрат від шкідливих організмів, що в кінцевому результаті приведе до підвищення продуктивності праці та зниження собівартості продукції.

**Календарний план** - це документ, який містить відомості про кількість і номенклатуру операцій, які необхідно виконати; про моменти часу початку і закінчення кожної операції, а отже, тривалість кожної з них; про місце і технічні засоби виконання кожної операції; про затрати часу на виконання всієї роботи [2]. Складність побудови календарного плану полягає не тільки в попередньому розрахунку оптимальних варіантів використання наявного обладнання, а і в своєчасному врахуванні інформації, що надходить, про хід виконання запланованих робіт [3]. Оскільки оперативне втручання у виробничий процес вимагає проведення великого обсягу обчислювальних робіт, то без використання електронно-обчислювальної техніки це практично провести не можливо.

Побудову календарного плану проведення захисних робіт можна представити таким чином.

Господарство для проведення захисних заходів має різні агрегати і машини, за допомогою яких у певний момент часу необхідно провести різні захисні операції. Кожна операція повинна виконуватись у певній послідовності, що визначається технологією проведення відповідного заходу щодо захисту сільськогосподарських культур. Необхідно встановити таку послідовність виконання технологічних операцій кожним агрегатом чи машиною, щоб час простою механізмів звести до мінімуму.

За цільову функцію можна взяти й інші критерії. Наприклад, для побудови оптимального календарного плану роботи агрегатів і машин, що використовуються для захисту рослин, можна мінімізувати фінансові ресурси, що виділяються на проведення робіт щодо захисту рослин; максимальні затримки в ході виконання захисних заходів; час використання окремих агрегатів чи машин тощо. Хоча зазначені критерії оптимальності в більшості випадків суперечливі, та конкретний вибір критерію визначається потребами господарства і тією ситуацією, яка складається на момент проведення робіт щодо захисту рослин. Якість календарного плану в значній мірі залежатиме від вдалого вибору критерію оптимальності.

Введемо позначення:

$i$  - номер пункту приготування робочого розчину;

$j$  - номер заправника;

$l$  - номер обприскувача;

$n$  - номер приготованого розчину.

Множини:

$I$  - пунктів приготування робочого розчину;

$J$  - заправників;

$L$  - обприскувачів;

$N$  - всіх приготованих розчинів.

Змінні величини:

$x_{kin}$  - набуває значення 1, якщо в  $k$ -му часовому інтервалі  $i$ -й пункт завершує приготування  $n$ -го розчину, 0 - в інших випадках;

$y_{kin}$  - набуває значення 1, якщо в  $k$ -му часовому інтервалі  $j$ -й заправник завершує заправлення  $n$ -м розчином, 0 - в інших

- випадках;  
 $z_{kin}$  - набуває значення 1, якщо в  $k$ -му часовому інтервалі  $l$ -й обприскувач завершує обприскування  $n$ -м розчином, 0 - в інших випадках;  
 $\alpha_{in}$  - набуває значення 1, якщо на  $i$ -му пункті приготування  $n$ -й розчин, 0 - в інших випадках;  
 $\beta_{ijn}$  - набуває значення 1, якщо на  $i$ -му пункті  $j$ -й заправник заправляється  $n$ -м розчином, 0 - в інших випадках;  
 $\gamma_{jln}$  - набуває значення 1, якщо  $j$ -й заправник заправляється  $l$ -й обприскувач  $n$ -м розчином, 0 - в інших випадках.

Сталі величини:

- $t_{1i}$  - час приготування  $i$ -м пунктом одного розчину;  
 $t_{2j}$  - час заправлення  $j$ -го заправника одним розчином;  
 $t_{3jl}$  - час перевезення  $j$ -м заправником одного розчину для  $l$ -го обприскувача;  
 $t_{4l}$  - час заправлення  $l$ -го обприскувача;  
 $t_{5l}$  - час обробки посівів  $l$ -м обприскувачем при заправленні його одним розчином;  
 $c_l$  - площа, оброблена  $l$ -м обприскувачем за одне заправлення розчином;  
 $S$  - площа, яку необхідно обприскати.

Крім того, вважатимемо, що час на переналагодження агрегатів і машин включається в поопераційну трудомісткість відповідної захисної операції. Втім, якщо виникне в цьому потреба, то переналагодження можна виділити і в окрему захисну операцію.

**Задача календарного планування** полягає у визначенні такого плану, для якого цільова функція набуває екстремального значення, і при цьому виконуються такі умови: всі технологічні операції повинні виконуватись у певній послідовності; кожним агрегатом у будь-який момент часу може виконуватись лише одна операція; кожна операція для будь-якого значення часу виконується лише одним агрегатом; нарешті, не дозволяється переривати роботу агрегату для виконання іншої операції. Отже, необхідно встановити календарні строки початку і закінчення кожної операції для кожного агрегату.

Зведемо задачу календарного планування захисту рослин до задачі математичного програмування [3].

За одиницю часу виберемо інтервал  $\Delta t$  - найбільший спільний дільник елементів  $t_{1i}, t_{2j}, t_{3jl}, t_{4l}, t_{5l}, i \in I, j \in J, l \in L$ . Для спрощення записів будемо вважати, що  $\Delta t = 1$ . Позначимо змінною  $K$  загальний час виконання всіх операцій із захисту рослин.

Час закінчення і час початку приготування  $i$ -м пунктом  $n$ -го розчину відповідно дорівнюють

$$\sum_{k \in K} kx_{kin}, \sum_{k \in K} kx_{kin} - t_{1i}.$$

Час закінчення і час початку заправки  $j$ -го заправника  $n$ -м розчином відповідно визначається так:

$$\sum_{k \in K} kz_{kjn}, \sum_{k \in K} kz_{kjn} - t_{2j}.$$

Час закінчення і час початку роботи  $l$ -го обприскувача  $n$ -м розчином можна визначити так:

$$\sum_{k \in K} ky_{kln}, \sum_{k \in K} ky_{kln} - t_{5l}.$$

**Обмеження.** 1 Приготованого розчину повинно вистачити для обприскування всієї запланованої площі:

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{n \in N} c_l \gamma_{jln} = S. \quad (1)$$

2 Кожний розчин готується лише одним пунктом:

$$\sum_{i \in I} \alpha_{in} = 1, n \in N. \quad (2)$$

3 Кожний розчин транспортується лише одним заправником:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \beta_{ijn} = 1, n \in N \quad (3)$$

4 Кожний розчин використовується лише одним обприскувачем:

$$\sum \sum \gamma_{jln} = 1, n \in N. \quad (4)$$

$$j \in J \quad l \in L$$

5 Час початку приготування розчинів невід'ємний:

$$\sum_{i \in I} \alpha_{in} (\sum_{k \in K} kx_{kin} - t_{1i}) \geq 0, \quad n \in N. \quad (5)$$

6 Наповнення заправника розчином можливе лише після його приготування на одному з пунктів:

$$\sum_{i \in I} \alpha_{in} \sum_{k \in K} kx_{kin} \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \beta_{ijn} (\sum_{k \in K} ky_{kjin} - t_{2j}), \quad n \in N. \quad (6)$$

7 Заправка обприскувача можлива лише після того, як заправник доставить розчин до місця роботи обприскувача:

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \gamma_{jln} (\sum_{k \in K} ky_{kjin} + t_{3jl}) \leq \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \gamma_{jln} (\sum_{k \in K} kz_{kln} - t_{4l} - t_{5l}), \quad n \in N. \quad (7)$$

8 Наступне приготування розчину кожним пунктом можливе лише після того, як буде використаний попередній розчин, тобто для  $p > n$  маємо:

$$\sum_{j \in J} \beta_{ijn} \sum_{k \in K} ky_{kjin} \leq \sum_{k \in K} kx_{kip} - t_{1i}, \quad i \in I. \quad (8)$$

9 Наступне заправлення розчином кожного заправника можливе лише після того, як попередній розчин буде доставлений обприскувачу, і заправник повернеться на пункт приготування розчину, тобто для  $p > n$  маємо:

$$\sum_{l \in L} \gamma_{jln} (\sum_{k \in K} kz_{kln} - t_{5l} + t_{3jl}) \leq \sum_{k \in K} ky_{kjp} - t_{2j}, \quad j \in J. \quad (9)$$

10 Наступне заправлення розчином кожного обприскувача можливе лише після того, як буде вироблений попередній розчин, тобто для  $p > n$  маємо:

$$\sum_{k \in K} kz_{kln} \leq \sum_{k \in K} kz_{kip} - t_{4l} - t_{5l}, \quad l \in L. \quad (10)$$

**Цільова функція.** Для вибору оптимального календарного плану за критерій оптимальності візьмемо тривалість виконання всіх робіт із захисту рослин:

$$\max_{n \in N} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} \gamma_{jln} \sum_{k \in K} kz_{kln} \rightarrow \min. \quad (11)$$

**Формулювання ЕММ** Задачу знаходження оптимального календарного плану проведення захисних заходів проти шкідливих організмів можна сформулювати так: необхідно знайти такі значення бульових змінних  $x_{kin}, y_{kjin}, z_{kln}, \alpha_{in}, \beta_{ijn}, \gamma_{jln}, i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, n \in N$ , при яких цільова функція (11) набуває мінімального значення і при цьому виконуються обмеження 1 - 10.

Розглянута економіко-математична модель зводиться до задачі нелінійного математичного програмування з бульовими змінними.

До появи сільових методів календарне планування застосовувалось не досить широко. Найбільш відомим методом такого планування тривалий час був стрічковий (лінійний) графік Ганта, за допомогою якого графічно задавали час початку і закінчення кожної операції. Істотний недолік цього методу полягає в тому, що він не може відобразити залежності між різними операціями, які в значній мірі визначали темпи виконання всієї роботи [4]. Особливий інтерес, з практичної точки зору, викликає створений нещодавно алгоритм послідовної оптимізації - метод віток і границь, який працює за аналогією з методами динамічного програмування, але без жорсткого обмеження на виконання принципу оптимальності.

Використання в календарному плануванні наближених методів (Монте-Карло, імітаційних, Петрова, симульативних) відкриває нові можливості щодо практичного застосування ЕММ календарного планування у народному господарстві з дискретним характером виробничих процесів [5], у тому числі і в захисті рослин.

## SUMMARY

*An economical and mathematical model of calendar plan protection against harmful organisms was developed for agricultural enterprises of agroindustrial complex.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравченко Р.Г., Попов И.Г., Толпекин С.З. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1973. - 528 с.
2. Дегтяров Ю. И. Методы оптимизации. - М.: Советское радио, 1980. - 272 с.
3. Сытник В.Ф., Карагодова Е.А. Математические модели в планировании и управлении предприятиями. - К.: Вища школа, 1985. - 214 с.

4. Таха Х. Введение в исследование операций: Кн. 2. - М.: Мир, 1985. - 496с.
- Козак І. А. Система підтримки прийняття рішень з календарного планування дискретного виробництва: Автореф. дис... канд. екон. наук. - К., 1997. - 24 с.