

## Моделі планування і вибору технологій виробництва підприємств лісопромислового комплексу

*Розроблено моделі розподілу лісопродукції і вибору технологій виробництва багаторівневих інтегрованих структур лісопромислового комплексу (БІС ЛПК), управління збутом продукції, узгодження виробництва і збуту продукції підприємствами ЛПК. Реалізація запропонованих моделей дозволяє підвищити ефективність процесу планування і управління підприємствами ЛПК.*

*The models of the distribution of timber and selecting technologies of multilevel integrated structures of forestry industry and sales management, coordination of production and marketing enterprises of forestry industry are constructed. Implementation of the proposed models can improve the planning and management of enterprises of forestry industry.*

**Ключові слова:** багаторівневі інтегровані структури, лісопромисловий комплекс, моделювання, планування, управління, технології виробництва.

**Вступ.** Планування і управління підприємствами багаторівневих інтегрованих структур (БІС) лісопромислового комплексу (ЛПК) вимагають вирішення цілої низки транспортно-виробничих задач, до яких, зокрема, можна віднести задачі розподілу лісопродукції і вибору технологій виробництва БІС ЛПК, управління збутом продукції, узгодження виробництва і збуту продукції підприємствами БІС ЛПК.

Задача розподілу лісопродукції і вибору технологій виробництва БІС ЛПК складається з двох взаємопов'язаних частин, які відповідають технологіям заготівлі і переробки деревини. Перша група керованих чинників пов'язує технології заготівлі деревини з обсягами і структурою розрахункової лісосіки, друга – з обсягами виробництва продукції основними підприємствами БІС ЛПК. Керованими чинниками є інтенсивність рекомендованих технологій і рекомендована сировинна структура продукції. Варіанти задачі дозволяють врахувати обмеження технологічного характеру (наприклад, часткову

взаємозамінність сировини), пов'язати поточні і капітальні витрати.

Особливість задачі управління збутом продукції підприємства БІС ЛПК – транспортні блоки, рівняння балансу яких не пов'язані з переміщенням виробничих інгредієнтів. Джерела продукції розділені не географічно, а часовими умовами (термінами виробництва і постачання продукції). При цьому кожному цеху, агрегату, виробництву або споживачу продукції відповідає не один пункт транспортної сітки, а декілька, за кількістю періодів часу горизонту планування.

Задача узгодження виробництва і збуту продукції підприємства БІС ЛПК призначена для розрахунку збалансованого використання ресурсів виробничого плану підприємства з неперервним виробничим циклом. В рамках її постановки робота підприємства БІС ЛПК моделюється задачею лінійної оптимізації великої розмірності. Невідомі даної задачі – інтенсивності технологічних способів виробництва, а обмеження визначаються чинниками, що лімітують виробництво. Матриця обмежень пов'язує технології та чинники, що лімітують виробництво, і містить нормативи випуску або споживання виробничих інгредієнтів (сировини, ресурсів, енергії, виробничих потужностей).

Проблемам розвитку лісопромислового комплексу, планування і управління виробництвами підприємств ЛПК присвячено праці таких науковців як С.А. Генсірук [1], Л.Д. Загвойська, А.В. Мельник [2], А.В. Івануса, С.О. Козловський [3,5], Ю.М. Кільчицький [4], А.М. Польовський [6], Е.О. Салмінен [7], І.М. Синякевич, І.П. Соловій, А.М. Дейнека [8,9] та інших.

Проте, зважаючи на багатогранність та складність процесів планування і вибору технологій виробництв БІС ЛПК, управління збутом продукції, узгодження виробництва і збуту продукції залишається актуальною розробка оптимізаційних моделей, здатних забезпечити успішне вирішення вказаних задач підприємствами БІС ЛПК.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є побудова моделей планування і вибору технологій виробництва підприємств лісопромислового комплексу на основі багатоетапних транспортно-виробничих задач (БТВЗ), що включають задачі розподілу лісопродукції і вибору технологій виробництва БІС ЛПК, узгодження виробництва і збуту продукції підприємствами БІС ЛПК.

**Результати.** Виробничі компоненти задачі розподілу лісопродукції і вибору технологій виробництва БІС ЛПК складають технологічні модулі заготівлі і переробки деревини, включаючи вибір ділянок і види рубок, а також

сировинну структуру переробних підприємств. Транспортна задача в явному вигляді в даній моделі відсутня, в її ролі виступає задача розподілу різних видів деревини між переробними підприємствами. Дана задача реалізована тільки для достатньо замкненої і управляючої системи, до якої відноситься БІС. За величиною горизонту планування ця задача – середньострокова, в ній розглядається розподіл матеріальних потоків.

Цільова функція задачі – максимізація доходу протягом заданого періоду:

$$\sum_{j \in J} p_j x_j - \sum_{k \in K} c_k y_k \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $x_j$  – обсяг виробництва продукції виду  $j \in J$ ;

$y_k$  – обсяг заготівлі в  $k$ -му лісосировинному районі,  $k \in K$ ;

$c_k$  – середні витрати на заготівлю 1 м<sup>3</sup> деревини в  $k$ -му районі лісозаготівлі;

$p_j$  – вартість продукції виду  $j \in J$ .

Обмеження моделі мають наступний вигляд:

$$y_k \leq \Phi_k, \quad k \in K \quad (2)$$

(обсяг заготівлі не може перевищувати запаси деревини),  $\Phi_k$  – загальний запас лісу (в тис. м<sup>3</sup>) в  $k$ -му районі;

$$\sum_{j \in J} \alpha_j^q x_j - \sum_{k \in K} a_k^q y_k \leq 0, \quad q \in Q \quad (3)$$

(використання сировини на виробництво продукції не повинно перевищувати обсяг заготівлі),

$\alpha_j^q$  – норматив використання сировини  $q \in Q$  на виробництво одиниці продукції виду  $j$ ,  $a_k^q$  – частка виходу сировини  $q$  при заготівлі 1 куб. м<sup>3</sup> в  $k$ -му районі;

$$h_j^q \leq \alpha_j^q \leq H_j^q, q \in Q, j \in J \quad (4)$$

(умова структури сировини, яка використовується на виробництво кожного виду продукції),

$h_j^q, H_j^q$  – границі допустимого обсягу сировини виду  $q$  в загальному обсязі сировини, яка використовується для виробництва одиниці продукції  $j$ ;

$$\sum_{q \in Q} \alpha_j^q = b^j, j \in J \quad (5)$$

(баланс обсягу лісосировини, використаного на виробництво одиниці продукції),

$b^j$  – норматив використання сировини (в м<sup>3</sup>) для виробництва одиниці продукції  $j$ ;

$$x_j, y_k, \alpha_j^q \geq 0, k \in K, q \in Q, j \in J \quad (6)$$

(невід'ємність змінних задачі).

Економічний зміст основного функціоналу задачі – максимізація доходу протягом заданого періоду (мінімізація витрат), одночасно враховуються додаткові критерії оптимізації: максимального задоволення потреб підприємства в обсяговому і номенклатурному вираженні. Переважають внутрішні керовані чинники (за винятком зовнішнього ввезення-вивезення лісопродукції), змінні задачі – неперервні, обмеження задачі і функціонал – лінійні, тобто задача є лінійною і розв'язується стандартними методами розв'язку задач БТВЗ.

Ускладнення задачі може бути пов'язане з врахуванням різних варіантів технологічних способів, завдяки яким задача стає білінійною. Розв'язок цієї задачі забезпечує пошук оптимальної структури і обсягів використання лісосировини з визначеними умовами на заготівлю і переробку деревини.

Розглянута задача може ефективно використовуватися для задач планування і управління БІС ЛПК. В цьому випадку керовані чинники, отримані в результаті розрахунків можуть бути реалізовані у повній мірі.

В якості виробничих компонент задачі управління збутом продукції підприємства БІС ЛПК виступають виробництва разом зі складами їх продукції, транспортних модулів – динамічні схеми зберігання і постачання продукції кожного виду. Транспортна задача в явному вигляді (як задача оптимального фізичного переміщення однорідного продукту) в даній моделі відсутня, в її якості виступає задача розподілу різних видів продукції між переробними підприємствами.

Зміст основного функціоналу задачі – максимізація доходу протягом заданого періоду часу, одночасно враховуються додаткові критерії оптимізації: максимальне виконання прийнятих до виконання заявок в номенклатурному вираженні і протягом необхідного терміну. Всі керовані чинники – внутрішні, змінні задачі – неперервні, задача – детермінована. Обмеження і функціонал задачі лінійні.

Керовані чинники даної задачі (планові постачання по всіх замовленнях, рекомендовані обсяги виробництва продукції розглянутого асортименту і обсяги зберігання на складі продукції кожного виду) пов'язані між собою набором обмежень, склад яких визначають відповідності:

- марки продукції специфікаціям замовлення (асортиментне відношення);
- термінів постачання встановленому діапазону (якщо постачання включено в план);
- обсягів постачання встановленому діапазону (при тих же умовах);
- сумарний обсяг постачання продукції визначеного виду і використання цієї продукції – обсягам запасів, які є на складі.

Для постановки математичної моделі управління збутом продукції введемо необхідні показники:

$M$  – множина індексів видів продукції;

$c_i$  – собівартість продукції,  $i \in M$ ;

$y_{0,i}$  – її початкові запаси на складах ( $i \in M$ );

$N$  – множина індексів договорів на постачання продукції;

$C_j$  – договірна ціна,  $j \in N$ ;

$b_j$  – необхідний обсяг постачання продукції,  $j \in N$ ;

$M_j \subset M$  – множина видів продукції, які необхідні замовнику  $j \in N$ ;

$T$  – число періодів планування, термінам постачання відповідає підмножина  $K_j \subset 1:T$ ;

$d_{i,t}$  – план виробництва продукції  $i \in M$  протягом періоду  $1 \leq t \leq T$ .

Невідомими задачі будуть  $x_{i,j,t}$  – обсяг постачання продукції  $i \in M$  замовнику  $j \in N$  протягом періоду планування  $1 \leq t \leq T$  і  $y_{i,t}$  – запаси цієї продукції.

Умови прямої задачі мають наступний вигляд. Ціль задачі – максимізація прибутку підприємства протягом періоду планування:

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in M_j} ((C_j - c_i) \cdot \sum_{t \in K_j} x_{i,j,t}) \rightarrow \max. \quad (7)$$

Обмеження досліджуваної задачі такі:

- баланс надходження, постачання і запасів продукції кожного виду на весь період планування:

$$y_{i,t} = y_{i,t-1} + d_{i,t} + \sum_{j \in M_j} x_{i,j,t}, \quad t \in 1:T, i \in M; \quad (8)$$

- відношення між запланованими і необхідними обсягами постачання:

$$\sum_{i \in M_j} \sum_{t=1}^T x_{i,j,t} \geq b_j, \quad j \in N; \quad (9)$$

- відношення між кількістю продукції і наявністю складів:

$$0 \leq \sum_{i \in M} y_{i,t} \leq D, \quad t \in 1:T; \quad (10)$$

- умови невід'ємності змінних:

$$y_{i,t} \geq 0, \quad i \in M, \quad t \in 1:T; \quad (11)$$

$$x_{i,j,t} \geq 0, i \in M, j \in N, t \in 1:T. \quad (12)$$

Отриману задачу лінійного програмування можна розв'язувати, використовуючи симплексний метод, проте структура матриці її обмежень дозволяє використовувати більш ефективний алгоритм.

Основна особливість даної задачі – дворазове входження кожної із змінних  $x_{i,j,t}$  і  $y_{i,t}$  в обмеження з одиничними коефіцієнтами, що дозволяє розглядати дану задачу як транспортну з сіткою спеціальної структури. Пункти виробництва цієї сітки потужностей  $b_{i,t}$  нумеруються парами індексів  $(i,t)$  для різних  $i \in M, 1 \leq t \leq T$ . Пункти використання відповідають замовленням, індексуються  $j$  і мають потужність  $B_j$ . Множина дуг сітки розкладається на дві підмножини. Дуги першої із них відповідають змінним  $x_{i,j,t}$  ( $j \in N, i \in M_j, t \in 1:T$ ) і пов'язують пункт виробництва  $(i,t)$  і використання  $j$ . Ціни перевезення визначаються коефіцієнтами цільової функції. Дуги другої множини відповідають змінним  $Y_{i,t}$  ( $i \in M, t \in 2:T$ ) і пов'язують вершини  $(i,t-1)$  і  $(i,t)$ . Ціни перевезення за цими дугами в розглянутій задачі рівні нулю, а потоки обмежені зверху величиною  $D_i$ . Доречно відзначити, що за цільовою функцією, в даній моделі можна легко визначити витрати, пов'язані із зберіганням продукції на складі, термін постачання, можливість вибрати ту чи іншу продукцію для постачання.

Задача забезпечує оптимізацію за декількома критеріями ефективності:

- найбільша відповідність термінів і обсягу постачання специфікаціям замовлень;
- максимальний пріоритет виконання термінових замовлень;
- відповідність асортименту планових постачань потребам замовників.

В основі задачі узгодження виробництва і збуту продукції підприємства БІС ЛПК – стандартна модель лінійної оптимізації, відома як задача планування виробництва, з матрицею нормативів використання ресурсів і випуску продукції, рівняннями балансу витрат і виробництва в масштабі підприємства. Основна особливість при реалізації задачі полягає у можливості

її налаштування на різну тривалість періоду планування і спрямування виробничої діяльності.

Алгоритм розв'язку задачі не є складним – це звичайний симплексний метод з алгоритмічним врахуванням двосторонніх меж змінних. Основна особливість задачі пов'язана з упорядкуванням індексних множин змінних і обмежень.

Однією з проблем розв'язання даної задачі є повнота збору інформації і організація відповідної бази даних. Збір деталізованої інформації про використання ресурсів для визначених технологічних процесів ускладнений через часткову взаємозамінність ресурсів. Тому в задачі організована багаторівнева ієрархічна структура індексних множин ресурсів і технологій.

Для побудови моделі введемо умовні позначення:

$K$  – множина індексів видів продукції;

$d_k$  і  $D_k$  – нижня і верхня межі виробництва продукції,  $k \in K$  ;

$N_k \subset N$  – множина індексів технологій виробництва основної продукції,  $k \in K$ ,  $N = \cup_{k \in K} N_k$ ;

$C_j$  – рентабельність і  $X_j$  – невідоме значення інтенсивності технології,  $j \in N$ ;

$B_{k,j}$  – норматив виготовлення продукції  $k \in K$  при використанні технології,  $j \in N$ ;

$M$  – множина індексів ресурсів, які лімітують виробництво;

$b_i$  і  $B_i$  – нижня і верхня межі обсягу використання ресурсів;

$A_{i,j}$  – норматив використання ресурсу  $i \in M$  при використанні технології  $j \in N$ .

В цих позначеннях умови задачі можуть бути записані наступним чином:

$$\sum_{j \in N} C_j \cdot X_j \rightarrow \max, \quad (13)$$

$$b_i \leq \sum_{j \in N} A_{i,j} \cdot X_j \leq B_i, \quad i \in M, \quad (14)$$



$$d_k \leq \sum_{j \in N_k} B_{k,j} \cdot X_j \leq D_k, k \in K. \quad (15)$$

Після налаштування інформаційної системи можуть виконуватися два види розрахунків:

1. Прямий розрахунок потрібних ресурсів: сировини, матеріалів, енергоносіїв, необхідних для виробництва визначеного обсягу продукції. При цьому здійснюється розрахунок завантаження обладнання, випуску готової продукції. Можливий вибір «усереднених» або конкретних технологій виробництва.

2. Обернений розрахунок – оптимізація обсягу виробництва продукції відповідно до заданого критерію ефективності. Невідомі цієї задачі відповідають середнім потужностям технологій виробництва протягом періоду планування, а обмеження визначаються на основі виробничих потужностей обладнання, наявної кількості виробничих ресурсів і потрібних обсягів продукції, заданих точно або зазначенням нижньої і верхньої меж.

Представлена задача може бути використана не тільки для розрахунку потрібних для виробництва ресурсів, але і оцінок технологій, визначення найбільш ефективних режимів роботи обладнання.

**Висновки.** Таким чином, розроблено модель розподілу лісопродукції і вибору технологій виробництва БІС ЛПК, що складається з двох взаємопов'язаних частин, які відповідають технологіям заготівлі і перероблення деревини. Реалізація моделі передбачає максимізацію доходу протягом заданого періоду (мінімізацію витрат), забезпечення максимального задоволення потреб підприємства в обсяговому і номенклатурному вираженні.

Розроблено модель управління збутом продукції підприємства БІС ЛПК, особливістю якої є транспортні блоки, рівняння балансу яких не пов'язані з переміщенням виробничих інгредієнтів. Реалізація моделі передбачає формування об'ємно-календарного плану, погодження обсягів виробництва і постачання продукції протягом визначеного періоду часу за критерієм максимізації доходу, максимального виконання прийнятих до виконання заявок в номенклатурному вираженні і протягом необхідного терміну.

Запропонована модель узгодження виробництва і збуту продукції підприємства БІС ЛПК, що призначена для розрахунку збалансованого використання ресурсів виробничого плану підприємства з неперервним

виробничим циклом. Дана модель може бути використана як для розрахунку потрібних для виробництва ресурсів, так і оцінок технологій, визначення найбільш ефективних режимів роботи обладнання.

### Література

1. Генсірук С.А. Ліс – проблема державна і світова // С.А. Генсірук // Наукові праці: Лісівнича Академія Наук України. – 2002. – Вип. 1. – С. 22-26.
2. Загвойська Л.Д., Мельник А.В. Моделювання менеджменту лісів у контексті вимог сталого розвитку / Л.Д. Загвойська, А.В. Мельник // Вісник Львівського університету. Серія: економіка. – 2008. – Вип. 40. – С. 105-108.
3. Івануса А.В. Багатопродуктова модель оптимізації виробничих зв'язків підприємств територіального лісопромислового комплексу за критерієм еколого-економічної ефективності / А.В. Івануса // Наук. вісник: зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002. – Вип.12.3. – С. 180-185.
4. Кільчицький Ю.М. Теоретичні засади моделювання управління ринком лісової продукції / Ю.М. Кільчицький // Вісник Запорізького національного університету. Економічні науки: зб. наук. праць. – 2010. – № 1(5). – С. 97-101.
5. Козловський С.О. Оптимізація виробничих зв'язків підприємств територіального лісопромислового комплексу за допомогою цільового програмування / С.О. Козловський, А.В. Івануса // Наук. вісник: Сучасна економічна теорія та проблеми її застосування. Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002. – Вип. 12.6 – С. 89-93.
6. Польовський А.М. Застосування моделей загальної рівноваги для аналізу лісової політики / А.М. Польовський // Науковий вісник УкрДЛТУ: Екологізація економіки як інструмент сталого розвитку в умовах конкурентного середовища. – Львів: ДЛТУ України, 2005. – Вип. 15.7. – С. 185-189.
7. Салминен Э.О. Информационные технологии и системы в лесопромышленном комплексе: учеб. пособие / Э.О. Салминен и др. – СПб.: ЛТА, 2002. – 180 с.

8. Синякевич І.М. Лісове господарство України в двадцять першому столітті: стан, сценарії і проблеми сталого розвитку / Синякевич І.М., Соловій І.П., Дейнека А.М. // Економіка України. –2007. – № 9. – С. 72-81.
9. Соловій І.П. Інституційні аспекти реформування лісової політики / І.П. Соловій // Науковий вісник: Менеджмент природних ресурсів, екологічна і лісова політика. Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2004. –Вип. 14.2. – С. 71-79.