

### Двулит З.П., Огородник И.М. О взаимосвязи внешней и внутренней среды функционирования железнодорожного транспорта

На сегодня ни одна отрасль экономики не может существовать без транспортной системы, в которой львиная доля приходится на железнодорожный транспорт. Он представлен производственно-технологическим комплексом организаций и предприятий железнодорожного транспорта общего пользования, предназначен для обеспечения потребностей общественного производства и населения страны в перевозках во внутреннем и международном сообщениях и предоставления других транспортных услуг. Он рассмотрен как открытая система, которая имеет взаимное влияние с окружающей средой. С этой целью совершен системный анализ взаимного влияния внешней и внутренней среды функционирования железнодорожного транспорта; взаимодействия экономических, экологических и социальных факторов или компонент среды и железнодорожного транспорта; определены основные их взаимные требования; изложены основные проблемы, возникающие в процессе их взаимодействия, и результаты соблюдения взаимных требований.

**Ключевые слова:** внешняя среда, компоненты, железнодорожный транспорт, взаимодействие, результат взаимодействия, проблемы, пути решения.

### Dvulit Z.P., Ogorodnyk I.M. About interrelation of external and internal environments with railway transport operation

Today, none sector of the economy cannot exist without transport system, in which the lion's share falls on railway transport. It represents industrial and technological complex of rail transportation organizations and, designed to meet the needs of social production and population the domestic and international transportations and provides other transport services. We consider him as an open system that has mutual influence with the environment. For this purpose we have carried out a systematic analysis of the mutual influence of external and internal environments and railway transport operation, the interrelation of economic, environmental and social environments factors or components and railway transport, defined their main mutual requirements, the main problems that arise in the course of their interaction and the results of compliance the mutual requirements were outlined.

**Keywords:** external environment, components, railway transport, cooperation result of cooperation, problems, ways of decision.

## 5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 674.09:51-74:519.87:004.942 Доц. В.О. Маєвський<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
доц. А.Я. Вус<sup>2</sup>, канд. фіз.-мат. наук; проф. В.М. Максимів<sup>1</sup>, д-р техн. наук

### МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПИЛЮВАННЯ КОЛОДИ СЕКТОРНИМ СПОСОБОМ НА РАДІАЛЬНІ ПИЛОМАТЕРІАЛИ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ РЕАЛЬНОЇ ФОРМИ

Розроблено математичну модель розпилювання колоди паралельно лінійній регресійній осі секторним способом на радіальні пиломатеріали. Математична модель ураховує форму поверхні реальної колоди, отриманої за результатами сканування форми поверхонь її поперечних перетинів. Обґрунтовано особливості математичної моделі розрахунку схем розпилювання колоди (секторів) з урахуванням обертання (повороту) колоди або схеми розпилювання навколо осі колоди на заданий кут за розрізання (розпилювання) вертикальними і горизонтальними січними площинами.

**Ключові слова:** колода, сектор, розпилювання, секторний спосіб, моделювання, математична модель, постав (схема розпилювання), лінійна регресійна вісь (ЛРВ), пиломатеріал радіального розпилювання (радіальний пиломатеріал), обертання колоди.

У цій роботі на продовження серії робіт [1-6] наведено розвиток теоретичного та практичного підходів до процесу розпилювання колод секторним способом паралельно ЛРВ на радіальні пиломатеріали з урахуванням їх реальної форми, реалізація якого забезпечуватиме раціональне використання деревини. Постановка проблеми щодо раціонального розпилювання колод з урахуванням їх реальної форми та аналіз відомих досліджень, наведені у роботах [1, 2, 5, 6], свідчать про її актуальність.

**Теоретичні та прикладні аспекти моделювання розпилювання колод паралельно ЛРВ секторним способом на радіальні пиломатеріали з урахуванням їх реальної форми.** Розпилювання колод секторним способом реалізуємо як двоетапну задачу. На першому етапі (проході) розглядаємо розпилювання колоди двома взаємно перпендикулярними січними, пряма перетину яких співпадає з ЛРВ колоди, на чотири сектори. На другому – розпилювання отриманих секторів на радіальні пиломатеріали.

За отриманим у роботі [6] описом поверхні колоди у вигляді множини значень  $\{R_i(\varphi), i = \overline{0, N}\}$  здійснимо моделювання розрізання (розпилювання) секторів січними площинами, паралельними ЛРВ, на пиломатеріали радіального розпилювання. Для вирішення задачі моделювання розрізання секторів січними площинами, як і у роботах [1-5], застосовано технологічний підхід, який передбачає використання вертикальних січних площин, позаяк реалізація технологічного підходу із використанням горизонтальних січних площин підпорядковується тій же методиці.

<sup>1</sup> НЛТУ України, м. Львів;

<sup>2</sup> Львівський НУ ім. Івана Франка

Моделювання розпилювання секторів на радіальні пиломатеріали доцільно подати у вигляді алгоритму, що передбачає визначення ширини зовнішньої і внутрішньої пластей пиломатеріалів для кожного поперечного перетину ( $i = \overline{0, N}$ ), а також їх довжини, об'єму, об'ємного виходу та загального об'ємного виходу пиломатеріалів із сектора. Товщину пиломатеріалів приймаємо зі схем розпилювання сектора, отриманих методом повного перебору всіх допустимих варіантів (див., зокрема [7]).

Для підвищення ефективності розрахунку поставів (схем розпилювання) нульовий поперечний перетин сектора  $i=0$  ототожнюємо з відземковим (більшим) торцем, оскільки на цьому торці, на відміну від вершинного ( $i=N$ ), можна умовно повністю зобразити схему розпилювання. Прийняте ототожнення не впливає ні на результати розрахунку схем розпилювання, ні на фактичне розпилювання сектора за прийнятою схемою, незалежно від орієнтації сектора під час розпилювання відземковим чи вершинним торцем вперед.

Поділ поставів за розпилювання сектора на умовно симетричні та несиметричні, парні та непарні, як і у статті [1], розглянуто з точки зору їх прив'язки до поздовжньої геометричної осі колоди, якою для колод з неправильною формою вважатимемо ЛРВ колоди, що, зазвичай, не збігається з геометричною віссю колоди, а для колод з правильною (осесиметричною) формою – ту ж ЛРВ колоди, що збігається з геометричною віссю колоди.

Опишемо схему розпилювання сектора послідовністю товщин пиломатеріалів:

$$t_1, t_2, \dots, t_g, \dots \quad (1)$$

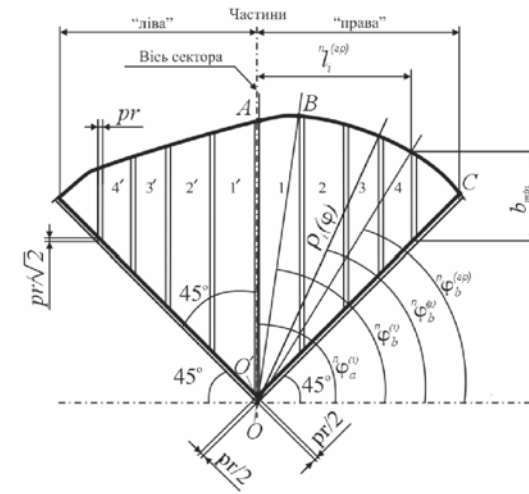
Зазначимо, що з метою раціонального використання деревини у теорії та практиці лісопиляння вважається доцільним розміщення у центральній частині колоди (сектора) товстіших пиломатеріалів із зменшенням їх товщини ближче до периферії колоди (сектора) [8]. Тому послідовність (1), зазвичай, є не зростаючою, а серед її елементів (товщини пиломатеріалів) доцільно використовувати не більше трьох різновидів товщини в одній схемі розпилювання, причому суміжні пиломатеріали можуть мати однакову товщину.

**Математична модель розрахунку поставів (схем розпилювання) для розпилювання секторів на радіальні пиломатеріали.** Розташуємо сектор у робочому положенні для реалізації розрізання (розпилювання) вертикальними січними площинами (рис. 1, 2). Криволінійна поверхня (зона) сектора описується набором відносних функцій  $\{\rho_i(\varphi), i = \overline{0, N}\}$ , де

$$\rho_i(\varphi) = R_i \left( \varphi + \frac{(2k+1)\pi}{4}, -\frac{\pi}{4} < \varphi < \frac{\pi}{4} \right). \text{ Величина } k, \text{ яка набуває значення } 0, 1,$$

2, 3, відповідає порядковому номеру сектора. Тоді, для множини значень  $\{\rho_i(\varphi), i = \overline{0, N}\}$ , що описують поверхню сектора (-ів), використовуємо алгоритм статті [1] для умовно парного та непарного поставів, модифікувавши його для врахування пропиляних площин, які обмежують сектор.

**Умовно парний постав (рис. 1).**



**Рис. 1. Розрахункова схема умовно парного поставу для розпилювання сектора на радіальні пиломатеріали**

За наявності першого вертикального пропилю сектора, що проходить через ЛРВ колоди та формує внутрішні пласті центральних, здебільшого односторонньо-клинообрізних пиломатеріалів, ширина внутрішньої пласті центрального пиломатеріалу ( $g=1$ ) з "правої" частини сектора для кожного поперечного перетину ( $i = \overline{0, N}$ ) визначається з рівняння:

$$\rho_i(\varphi) \cdot \cos \varphi = \frac{1}{2} pr, \quad \varphi \in \left( \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right], \quad (2)$$

де  $pr$  – ширина пропилю.

За розв'язком рівняння (2)  $\varphi_a^{(1)}$  знайдемо ширину внутрішньої пласті центрального пиломатеріалу на  $i$ -му поперечному перетині:

$$b_i^{(1)} = \rho_i(\varphi_a^{(1)}) \sin(\varphi_a^{(1)}) - \left( \frac{pr}{\sqrt{2}} + \frac{pr}{2} \right). \quad (3)$$

Ширина зовнішньої пласті центрального пиломатеріалу ( $g=1$ ) з "правої" частини сектора для кожного поперечного перетину ( $i = \overline{0, N}$ ) визначається з рівняння:

$$\rho_i(\varphi) \cdot \cos \varphi = (t_1 + \epsilon_{c1}) + \frac{1}{2} pr, \quad \varphi \in \left( \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right], \quad (4)$$

де  $\epsilon_{c1}$  – припуск на всихання пиломатеріалу за його товщиною.

За розв'язком рівняння (4)  $\varphi_b^{(1)}$  знайдемо ширину зовнішньої пласті центрального пиломатеріалу на  $i$ -му поперечному перетині:

$$b_i^{(1)} = \rho_i(\varphi_b^{(1)}) \sin(\varphi_b^{(1)}) - \left( \frac{pr}{\sqrt{2}} + \frac{pr}{2} + (t_1 + \epsilon_{c1}) \right). \quad (5)$$

Для знаходження на кожному поперечному перетині ( $i = \overline{0, N}$ ) ширини внутрішніх пластей наступних суміжних (бокових) однобічно-клинообразних пиломатеріалів розв'язуємо рівняння:

$$\rho_i(\varphi) \cdot \cos \varphi = \sum_{s=1}^{g-1} ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) + \frac{1}{2} pr, \quad \varphi \in \left( \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right], \quad (6)$$

де  $g$  – порядковий номер пиломатеріалу ( $g \geq 2$ ).

Ширина зовнішніх пластей бокових однобічно-клинообразних пиломатеріалів на кожному поперечному перетині ( $i = \overline{0, N}$ ) визначається з рівняння:

$$\rho_i(\varphi) \cdot \cos \varphi = \sum_{s=1}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) - \frac{1}{2} pr, \quad \varphi \in \left( \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right]. \quad (7)$$

Для зручності розрахунку ширини внутрішньої та зовнішньої пластей бокових пиломатеріалів введемо характеристичну функцію

$$\chi(\beta) = \begin{cases} \beta, & \beta \geq b_{\min} \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (8)$$

Тоді за розв'язком рівняння (6)  $\varphi_a^{(g)}$  та рівняння (7)  $\varphi_b^{(g)}$  знайдемо ширини внутрішніх (ф-ла 9) і зовнішніх (ф-ла 10) пластей бокових однобічно-клинообразних пиломатеріалів на  $i$ -му поперечному перетині:

$$b_i^{(g)} = \chi \left( \rho_i(\varphi_a^{(g)}) \sin(\varphi_a^{(g)}) - \frac{pr}{\sqrt{2}} - \frac{pr}{2} - \sum_{s=1}^{g-1} ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) \right); \quad (9)$$

$$b_i^{(g)} = \chi \left( \rho_i(\varphi_b^{(g)}) \sin(\varphi_b^{(g)}) - \frac{pr}{\sqrt{2}} + \frac{pr}{2} - \sum_{s=1}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) \right). \quad (10)$$

Нагадаємо, що традиційно за умови відсутності розв'язків у рівняннях (6) і (7) покладаємо відповідні ширини пиломатеріалів рівними нулю.

Максимальна кількість пиломатеріалів досліджуваної "правої" частини сектора визначається за формулою:

$${}^n G = \max \left\{ g \in \mathbb{N} : \sum_{s=1}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) - \frac{1}{2} pr \leq \max_{i=0, N} ({}^n l_i^{(gp)}) \right\}, \quad (11)$$

де  ${}^n l_i^{(gp)} = \rho_i(\varphi_b^{(gp)}) \cos(\varphi_b^{(gp)})$ ,  $\varphi_b^{(gp)}$  – розв'язок рівняння (12) (див. рис. 1)

$$\rho_i(\varphi_b^{(gp)}) \sin(\varphi_b^{(gp)}) - \frac{pr}{\sqrt{2}} + \frac{pr}{2} - \sum_{s=1}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) = b_{\min}. \quad (12)$$

Ширина пластей однобічно-клинообразних пиломатеріалів з центральної зони сектора (серцевинних і центральних) за означенням повинна бути більшою за мінімально допустиму ширину ( $b_{\min}$ ), а їх довжина – рівна його довжині, у протилежному випадку – складений постав (схема розпилювання) є неефективним.

Алгоритм визначення довжини бокових однобічно-клинообразних пиломатеріалів, випиляних із сектора, аналогічний як і у випадку визначення

довжини бокових необрізних пиломатеріалів, випиляних із колоди розвальним способом [1].

Для визначення ширини зовнішньої та внутрішньої пластей центрального ( $g = 1'$ ) і бокових ( $g \geq 2'$ ) однобічно-клинообразних пиломатеріалів, їх довжини та максимальної кількості з "лівої" частини сектора застосовується аналогічна послідовність дій, як і у випадку визначення розмірів та максимальної кількості пиломатеріалів з "правої" частини сектора (ф-ли (2) – (12)). Особливістю розрахункових формул для "лівої" частини сектора є трансформування рівнянь (2), (4), (6) та (7), у яких замість  $\rho(\varphi)$  підставляємо  $\rho(\pi - \varphi)$ , позаяк ураховується симетризація сектора відносно його осі, внаслідок якої відлік кута  $\varphi$  ведеться від лівого горизонтального променя ( $\varphi = \pi$ ) за годинниковою стрілкою. Зокрема, рівняння (6) для "лівої" частини сектора матиме вигляд:

$$\rho_i(\pi - \varphi) \cdot \cos \varphi = \sum_{s=1}^{g-1} ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) + \frac{1}{2} pr, \quad \varphi \in \left( \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right]. \quad (13)$$

Рівняння (2), (4), (7) перетворюються аналогічно.

Максимальна кількість пиломатеріалів досліджуваної "лівої" частини сектора визначається за формулою (11), у якій  ${}^n l_i^{(gp)} = \rho_i(\pi - \varphi_b^{(gp)}) \cos(\varphi_b^{(gp)})$ , а рівняння (12) для визначення граничного розв'язку  $\varphi_b^{(gp)}$  набуває вигляду:

$$\rho_i(\pi - \varphi_b^{(gp)}) \sin(\varphi_b^{(gp)}) - \frac{pr}{\sqrt{2}} + \frac{pr}{2} - \sum_{s=1}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) = b_{\min}. \quad (14)$$

Об'єм та об'ємний вихід однобічно-клинообразних пиломатеріалів із сектора для його "правої" та "лівої" частини обчислюється аналогічно підсумовуванням за  $g = \overline{1, G}$ , як і для варіанту розпилювання колоди розвальним способом на необрізні пиломатеріали [1].

**Умовно непарний постав** (рис. 2).

Особливістю розрахунку непарного поставу є визначення ширини серцевинного однобічно-клинообразного пиломатеріалу.

Ширина внутрішніх пластей серцевинного пиломатеріалу ( $g=1$ ) з "правої" та "лівої" частин сектора визначається з системи рівнянь:

$$\text{для "правої" частини сектора} - \rho_i(\varphi) \cos \varphi = \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2}, \quad \varphi \in \left( \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right]; \quad (15)$$

$$\text{для "лівої" частини сектора} - \rho_i(\pi - \varphi) \cos(\varphi) = \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2}, \quad \varphi \in \left( \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right]. \quad (16)$$

Кожне з рівнянь (15) та (16) має по одному розв'язку  ${}^n \varphi_a^{(l)}$  та  ${}^n \varphi_b^{(l)}$ , а ширини внутрішніх пластей серцевинного пиломатеріалу визначається за формулами (17) для "правої" частини сектора та (18) – для "лівої", відповідно:

$${}^n b_i^{(l)} = \rho_i({}^n \varphi_a^{(l)}) \sin({}^n \varphi_a^{(l)}) - \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2} - \frac{pr}{\sqrt{2}}; \quad (17)$$

$${}^a b_i^{(1)} = \rho_i \left( {}^a \varphi_a^{(1)} \right) \sin \left( {}^a \varphi_a^{(1)} \right) - \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2} - \frac{pr}{\sqrt{2}}. \quad (18)$$

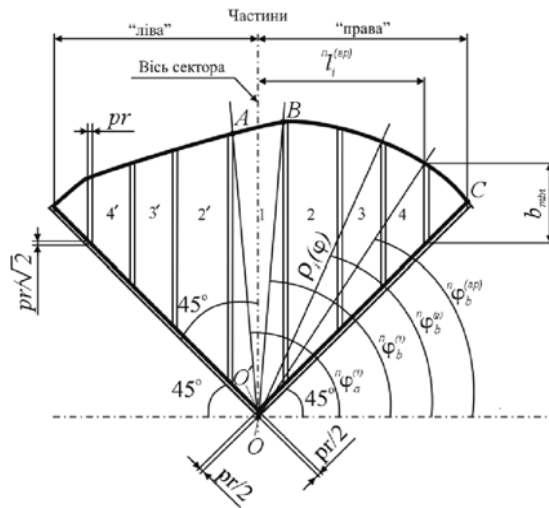


Рис. 2. Розрахункова схема умовно непарного поставу для розпилювання сектора на радіальні пиломатеріали

Подальший розрахунок непарного поставу (визначення ширини, довжини, об'єму та об'ємного виходу однобічно-клинообрізних пиломатеріалів) здійснюється за алгоритмом розрахунку парного поставу (ф-ли (6) – (14)) та розпилювання колоди розвальним способом на необрізні пиломатеріали [1]. Однак варто зауважити, що формули (6) та (7) для знаходження на кожному поперечному перетині ( $i = \overline{0, N}$ ) ширини внутрішніх і зовнішніх пластів наступних суміжних (бокових) однобічно-клинообрізних пиломатеріалів матимуть вигляд:

$$\rho_i(\varphi) \cdot \cos \varphi = \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2} + \sum_{s=2}^{g-1} ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr), \quad \varphi \in \left[ \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right]; \quad (19)$$

$$\rho_i(\varphi) \cdot \cos \varphi = \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2} + \sum_{s=2}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) - pr, \quad \varphi \in \left[ \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right]. \quad (20)$$

Зазначимо, що для умовно непарних поставів, послідовності (1) для "правої" та "лівої" частин сектора мають однакове значення  $t_1$  (товщини серцевинного пиломатеріалу), а формула для визначення максимальної кількості пиломатеріалів для частин сектора, зокрема для "правої", набуває вигляду:

$${}^a G = \max \left\{ g \in \mathbb{N} : \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2} + \sum_{s=2}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) \leq \max_{i=0, N} ({}^a l_i^{(sp)}) \right\}, \quad (21)$$

де  ${}^a l_i^{(sp)} = \rho_i \left( \varphi_b^{(sp)} \right) \cos \left( \varphi_b^{(sp)} \right)$ ,  $\varphi_b^{(sp)}$  – розв'язок рівняння (22) (див. рис. 2)

$$\rho_i \left( \varphi_b^{(sp)} \right) \sin \left( \varphi_b^{(sp)} \right) - \frac{pr}{\sqrt{2}} - \frac{(t_1 + \varepsilon c_{t_1})}{2} - \sum_{s=2}^g ((t_s + \varepsilon c_{t_s}) + pr) = b_{\min}. \quad (22)$$

**Особливості математичної моделі розрахунку поставів (схем розпилювання) за обертання колоди навколо своєї осі на заданий кут.** Розпилювання колоди паралельно ЛРВ секторним способом на радіальні пиломатеріали, як і розпилювання розвальним, розвальньо-сегментним та бруско-розвальним способами паралельно ЛРВ [1-3], під кутом до неї [4] і паралельно твірним [5], підпорядковується аналогічним закономірностям та передбачає розрахунок значної кількості варіантів конкретної схеми розпилювання за обертання колоди навколо своєї осі відносно схеми розпилювання (чи навпаки – за обертання схеми розпилювання навколо осі колоди). Технологічно вказані операції виконуються залежно від виду колодопиляльного обладнання, однак отримані результати розрахунку схем розпилювання – аналогічні, тому наведемо інформацію для варіанту обертання колоди навколо своєї осі відносно схеми розпилювання, який більш вживаний у виробничих умовах (рис. 3).

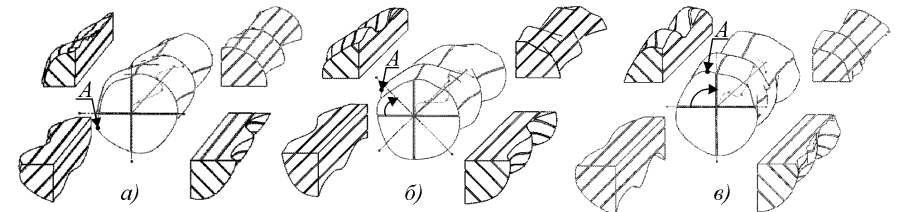


Рис. 3. Варіанти обертання колоди навколо своєї осі відносно схеми розпилювання: а) кут  $0^\circ$ , (початкове базування колоди); б) кут  $45^\circ$ ; в) кут  $90^\circ$

Зазначимо, що для секторного способу розпилювання колоди паралельно її ЛРВ у випадку обертання колоди навколо своєї осі відносно схеми розпилювання (рис. 3) на кут  $(90^\circ + \alpha)$ , більший від прямого, за переходу схеми на наступний сектор, отримані результати ідентичні схемі розпилювання для кута  $\alpha$ .

Елементарний кут обертання (повороту) колоди навколо своєї осі відносно схеми розпилювання  $\omega$  доцільно характеризувати кількістю поворотів колоди  $M$ , що вкладається у прямиий кут  $\left( \omega = \frac{\pi}{2M} \right)$ .

Після кожного обертання колоди навколо своєї осі  $m$  ( $m = \overline{0, M}$ ) на елементарний кут  $\omega$  необхідно здійснити перерахунок розмірних параметрів випиляних пиломатеріалів та їх об'єму за модифікованими розрахунковими рівняннями (2, 4, 6, 7, 12-16, 19, 20, 22). Для цього у відзначені розрахункові рівняння до кута  $\varphi$  всіх аргументів  $\rho_i(\varphi)$  та  $\rho_i(\pi - \varphi)$  потрібно додати фазовий доданок  $m\omega$ . У такому випадку формула (4), для прикладу, набуває вигляду:

$$\tilde{\rho}_i(\varphi) \cdot \cos \varphi = (t_1 + \varepsilon c_{t_1}) + \frac{1}{2} pr, \quad \varphi \in \left[ \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2} \right], \quad (23)$$

де:  $\tilde{\rho}_i(\varphi)$  – умовні (робочі) значення опису поверхні колоди (сектора),  
 $\tilde{\rho}_i(\varphi) = \rho_i(\varphi + m\omega)$  – для "правої" частини сектора або  
 $\tilde{\rho}_i(\varphi) = \rho_i((\pi - \varphi) + m\omega)$  – для "лівої" частини сектора.

Формули для визначення максимальної кількості пиломатеріалів для кожної частини сектора (11) та (21) залишаються без змін, однак рівняння (12), (14) та (22) для визначення граничного розв'язку  $\varphi_b^{(ep)}$  (для "правої" частини сектора –  $\eta_i^{(ep)} = \rho_i(\varphi_b^{(ep)} + m\omega)\cos(\varphi_b^{(ep)})$ , для "лівої" –  $\eta_i^{(ep)} = \rho_i((\pi - \varphi_b^{(ep)}) + m\omega)\cos(\varphi_b^{(ep)})$  після їх трансформування набувають вигляду:

$$\rho_i(\varphi_b^{(ep)} + m\omega)\sin(\varphi_b^{(ep)}) - \frac{pr}{\sqrt{2}} + \frac{pr}{2} - \sum_{s=1}^g ((t_s + \epsilon c_{t_s}) + pr) = b_{\min}; \quad (24)$$

$$\rho_i((\pi - \varphi_b^{(ep)}) + m\omega)\sin(\varphi_b^{(ep)}) - \frac{pr}{\sqrt{2}} + \frac{pr}{2} - \sum_{s=1}^g ((t_s + \epsilon c_{t_s}) + pr) = b_{\min}; \quad (25)$$

$$\rho_i(\varphi_b^{(ep)} + m\omega)\sin(\varphi_b^{(ep)}) - \frac{pr}{\sqrt{2}} - \frac{(t_1 + \epsilon c_{t_1})}{2} - \sum_{s=2}^g ((t_s + \epsilon c_{t_s}) + pr) = b_{\min}. \quad (26)$$

Фактично, перерахунок розмірних параметрів випиляних пиломатеріалів та їх об'єму за модифікованими розрахунковими формулами здійснюється для поворотів колоди навколо своєї осі (ЛРВ), що відповідають значенням  $m = \bar{1}, M - 1$ . Для значення  $m = M$  результати будуть аналогічні, як і для  $m = 0$ , позаяк це буде та сама схема розпилювання, тільки для колоди повернутої на  $90^\circ$ .

Модифікація наведеного алгоритму вирішення задачі моделювання розрізання сектора вертикальними січними площинами для його розрізання горизонтальними січними площинами полягає у врахуванні повороту системи відліку на  $90^\circ$ , і тому не складає труднощів для числової реалізації.

Треба зауважити, що для визначення об'єму (об'ємного виходу) пиломатеріалів, випиляних з колоди за її розпилювання секторним способом на радіальні пиломатеріали необхідно підсумувати об'єм (об'ємний вихід) пиломатеріалів, випиляних з усіх секторів. Зокрема, об'єм пиломатеріалів, випиляних з колоди визначається за формулами (27 – для парного і 28 – для непарного поставів), а їх об'ємний вихід – за формулами (29 – для парного і 30 – для непарного поставів):

$$V_n = \sum_{k=0}^3 \left( \sum_{g=1}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} + \sum_{g=1'}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} \right), \text{ м}^3; \quad (27)$$

$$V_n = \sum_{k=0}^3 \left( \sum_{g=2}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} + \sum_{g=2'}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} + V_n^{(1)} \right), \text{ м}^3; \quad (28)$$

$$P_n = \frac{100}{q} \cdot \sum_{k=0}^3 \left( \sum_{g=1}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} + \sum_{g=1}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} \right), \%; \quad (29)$$

$$P_n = \frac{100}{q} \cdot \sum_{k=0}^3 \left( \sum_{g=2}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} + \sum_{g=2'}^{n_G} {}^nV_n^{(g)} + V_n^{(1)} \right), \%. \quad (30)$$

де:  ${}^nV_n^{(g)}$ ,  ${}^nV_n^{(g)}$  – об'єм  $g$ -го пиломатеріалу з "правої" та "лівої" частин сектора відповідно,  $\text{м}^3$ ;  $V_n^{(1)}$  – об'єм серцевинного пиломатеріалу,  $\text{м}^3$ ;  $q$  – об'єм колоди,  $\text{м}^3$ .

**Висновки.** Розроблено математичну модель розпилювання колод паралельно ЛРВ секторним способом на радіальні пиломатеріали, реалізація якої дасть змогу урахувати природні флуктуації розмірних характеристик реальних колод та здійснити ефективний розрахунок поставів (схем розпилювання). Ця модель є математично обґрунтованою і придатною для прогнозування розмірів, форми та об'єму випиляних однобічно-клинообразних пиломатеріалів, їх об'ємного виходу та оптимізації плану розпилювання колод, а також для створення спеціалізованого програмного забезпечення.

Обґрунтовано особливості розробленої математичної моделі з урахуванням обертання колоди або схеми розпилювання навколо осі колоди на заданий кут за розрізання (розпилювання) вертикальними і горизонтальними січними площинами. Реалізація цієї математичної моделі забезпечить ефективний розрахунок різних схем розпилювання та відшукування оптимального кута обертання (повороту) колоди навколо своєї осі, за якого здійснюється її раціональне розпилювання.

### Література

1. Маєвський В.О. Моделювання розпилювання колоди розвальним способом на пиломатеріали з урахуванням її реальної форми / В.О. Маєвський, А.Я. Вус // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2011. – № 711. – С. 91-100.
2. Маєвський В.О. Моделювання розпилювання колоди розвальним-сегментним способом на пиломатеріали з урахуванням її реальної форми / В.О. Маєвський, А.Я. Вус, Р.І. Мацюк // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.6. – С. 362-371.
3. Маєвський В.О. Моделювання розпилювання колоди брусо-розвальним способом на пиломатеріали з урахуванням її реальної форми / В.О. Маєвський, А.Я. Вус // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.7. – С. 322-332.
4. Маєвський В.О. Моделювання розпилювання колоди розвальним способом під кутом до її осі та з урахуванням реальної форми / В.О. Маєвський, А.Я. Вус, В.М. Максимів // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.15. – С. 129-140.
5. Маєвський В.О. Моделювання розпилювання колоди паралельно твірним та з урахуванням реальної форми / В.О. Маєвський, А.Я. Вус // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2011. – № 719. – С. 106-113.
6. Mayevskyy V.O. Mathematical simulation of surface shape for real log / V.O. Mayevskyy, A.Ya. Vus // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів: Вид-во УкрДІТУ. – 2010. – Вип. 36. – С. 48-56.
7. Маєвський В.О. Вдосконалення розкрою букової пиловочної сировини на пилопродукцію : дис. .... канд. техн. наук: спец. 05.05.07 – "Машини та процеси лісничого комплексу". – Львів, 2000. – 284 с.
8. Носовський Г.А. Технологія лісопилно-деревообробних виробництв : навч. посібн. / Г.А. Носовський, Р.І. Мацюк, В.В. Маслій. – К.: НМК ВО, 1993. – 196 с.

**Маевский В.О., Вус А.Я., Максимов В.М. Моделирование распиловки бревна секторным способом на радиальные пиломатериалы с учетом его реальной формы**

Разработана математическая модель распиловки бревна параллельно линейной регрессионной оси секторным способом на радиальные пиломатериалы. Математическая модель учитывает форму поверхности реального бревна, полученной по результатам сканирования его поперечных сечений. Обоснованы особенности математической модели расчета схем распиловки бревна (секторов) с учетом вращения (поворота) бревна или схемы распиловки вокруг оси бревна на заданный угол при разрезании (распиловке) вертикальными и горизонтальными секущими плоскостями.

**Ключевые слова:** бревно, сектор, распиловка, секторный способ, моделирование, математическая модель, постав (схема распиловки), линейная регрессионная ось (ЛРО), пиломатериал радиальной распиловки (радиальный пиломатериал), вращение бревна.

**Mayevskyy V.O., Vus A. Ya., Maksymiv V.M. Simulation of log sawing by sector method into quarter sawn lumber with consideration of real log shape**

Mathematical model of log sawing to parallel of linear regressive axis by sector method into quarter sawn lumber was developed. This model is taken to account the surface shape of real log which is received by scanning for surface of log cross sections. The features of calculation for mathematical model of sawing pattern for log (sectors) taking account log rotation or sawing pattern around log axis at the fixed angle under cutting (sawing) by vertical and horizontal cutting planes were validated.

**Keywords:** log, sector, sawing, sector method, simulation, mathematical model, sawing pattern, linear regressive axis, quarter sawn lumber, rotation of log.

УДК 519.852.33:004

Доц. Л.К. Гліненко, канд. техн. наук;

доц. Є.І. Яковенко, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ З ПРОМІЖНИМИ ПУНКТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ НАДБУДОВИ SOLVER MS EXCEL**

Розглянуто можливості застосування надбудови Solver MS Excel для розв'язання транспортної задачі з проміжними пунктами як задачі лінійного програмування з обмеженням балансу потоків у вузлах транспортної мережі. Запропоновано модель задачі, яка дає змогу реалізувати пошук оптимального маршруту перевезень для транспортних мереж довільної складності.

**Ключові слова:** транспортна задача, проміжний пункт, оптимізація, MS Excel Solver.

Транспортна задача (Т-задача) є однією з найпоширеніших спеціальних задач лінійного програмування, до якої, окрім власне задачі оптимізації транспортних перевезень, зводять задачі з оптимізації маршрутизації обчислювальних і телекомунікаційних мереж, управління капіталом, обслуговування великих систем тощо. Це висуває вимогу оперативного розв'язання Т-задач за допомогою доступного і простого у використанні програмного забезпечення. Враховуючи поширеність сімейства програм MS Office, актуально дослідити можливості застосування для комп'ютерної підтримки розв'язання задач пакету MS Excel.

Опис можливостей надбудови Solver (Пошук рішення) MS Excel 7.0-2010 з підтримки розв'язання транспортної задачі як задачі лінійного

програмування розглянуто у численних публікаціях [1-4]. Автори практично всіх робіт спираються на наведений у файлі solvsamp.xls MS Excel приклад і обмежуються моделюванням та розв'язанням виключно збалансованих Т-задач без проміжних (транзитних) пунктів переміщення з класичними обмеженнями [3; 4, с. 773-776; 5, с. 63-71; 6; 7] чи додатковими обмеженнями на ресурси і пропускні здатності окремих маршрутів [8, с. 148-152, 159-210], хоча більшість реальних Т-задач, зокрема задач об'ємно-календарного планування, маршрутизації мереж, розподілу інформаційного ресурсу в мережі провайдера зводиться саме до Т-задач з проміжними пунктами [9]. Більше того, у [10, с. 325], як і в деяких інших джерелах [5, с. 63-71], стверджено, що під час розв'язання Т-задачі у Excel її варто попередньо збалансувати, що не відповідає дійсності. У [8, с. 148-152; 11] розглянуто лише збалансовану задачу з транзитним пунктом попиту; окрім того, сама умова балансу потоку через транзитний пункт попиту поставлена некоректно, як умова не перевищення сумарним потоком через транзитний пункт пропозиції справжнього обсягу пропозиції у цьому пункті, що призводить до неоптимального рішення.

У [7] та багатьох інших роботах, які стосуються розв'язання Т-задач у середовищі MS Excel Solver, задачу з транзитними пунктами пропонують розв'язувати за запропонованим у [12, с. 213] методом зі введенням у транспортні таблиці невідомих та вартостей транзитних пунктів одночасно як пунктів пропозиції, так і пунктів попиту з обсягом попиту / пропозиції в розмірі обсягу буфера. При цьому ніяких додаткових обмежень, які забезпечували б зв'язність графу, який відповідатиме маршруту перевезень, у модель задачі не вводиться. Наведені приклади дають оптимальне рішення виключно завдяки тому, що мережа перевезень містить не більше двох транзитних пунктів між пунктами пропозиції та попиту. За наявності більшої кількості проміжних пунктів отримують некоректні рішення, які не містять проміжної частини маршруту і включають лише одне початкове ребро графу й одне кінцеве, що є прямим наслідком відсутності обмеження на зв'язність графу маршруту перевезень, одним з різновидів якого є обмеження балансу потоків через всі транзитні пункти, як при розгляді збалансованої транспортної Т-задачі як потокової задачі на мережі [13, с. 348]. При цьому обмеження балансу потоків встановлюють на кожний вузол окремо на основі ідентифікації всіх вхідних і вихідних дуг, що істотно ускладнює відтворення моделі задачі на аркуші Excel і реально може бути реалізоване лише для мереж простої структури з малою кількістю проміжних пунктів. У [3] неможливість застосування процедури розв'язання традиційної Т-задачі за допомогою надбудови Пошук рішення MS Excel для випадку транспортної Т-задачі долається "ручним" проходженням кількох етапів пошуку рішення за методом потенціалів з отриманням на проміжному кроці варіанта транспортної таблиці, з якої вилючено "незадіяні" транзитні пункти; у [2, с. 587] задачі на графах розглядають як такі, розв'язання яких у MS Excel Solver потребує програмування на VBA. Спеціалізоване програмне забезпечення для Т-задач з проміжними пунктами вважають за необхідне й автори програми Trans Task [14].