

УДК 684.4:676.021.32

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЛАНУ РОЗКРОЮ ДЕРЕВИННИХ ПЛИТ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ СУКУПНИХ ВИРОБНИЧИХ ВИТРАТ

Шевченко С.А., к.т.н., доцент; Суска А.А., к.е.н.;
Карапузь М.С., магістрант
(Харківський національний технічний університет
сільськогосподарства імені Петра Василенка)

Обґрунтовано цільову функцію та методика вирішення задачі оптимізації плану розкрою деревинних плит за критерієм мінімуму сукупних виробничих витрат. При цьому враховуються витрати на деревинні плити, заробітну плату, амортизацію і обслуговування виробничого обладнання та дереворізального інструменту, електроенергію, експлуатацію будівель.

Постановка проблеми. Значну частку вартості корпусних меблів становлять витрати на деревинні плити та їх розкрій. При розробці алгоритмів оптимізації планів розкрою деревинних плит та відповідного програмного забезпечення, виникає проблема порівняння планів і вибору раціонального рішення. Здебільшого, у якості критерію оптимізації застосовується коефіцієнт використання матеріалу [1, 2]. Оскільки цей критерій, по-суті, є геометричним, то його перевагою є нечутливість до впливу економічних факторів, таких як вартість плит, витрат на оплату праці розкрійників тощо. Однак, у зв'язку зі зростанням конкуренції на ринку меблів, потрібно приймати до уваги, що витрати на деревинні плити, хоча й становлять суттєву частку витрат на виготовлення заготовок для панелей меблів, не є єдиними витратами, які доцільно враховувати. Зокрема, залежно від плану розкрою, змінюються і його тривалість, а відповідно – витрати на оплату праці тощо. Отже, виникає потреба в оптимізації планів розкрою деревинних плит з урахуванням сукупних виробничих витрат

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Залежно від форми заготовок і використовуваного технологічного обладнання здійснюють ортогональний або неортогональний розкрій [1]. У свою чергу, ортогональний розкрій може здійснюватись гільйотинним методом (тобто, послідовним розрізанням прямокутної заготовки на дві частини) [3, 4] чи негільйотинним методом [5]. Оскільки на даний час для розкрою деревинних плит на меблевих підприємствах найчастіше використовуються пилкові центри та форматно-розкрійні верстати, то в подальшому аналізуватимемо гільйотинні методи розкрою та відповідні алгоритми. При цьому у випадку, коли форма частини деталей відрізняється від прямокутної, деревну плиту розкроюють на прямокутні чорнові заготовки за відповідними алгоритмами, а потім фрезеруванням надають чистовим заготовкам необхідну форму [6].

Огляд методів вирішення задачі оптимізації ортогонального розкрою наведено в [7]. Хоча для продукування варіантів розкрою та пошуку оптимального плану двовимірного гільйотинного розкрою використовуються різноманітні методи та алгоритми (наприклад, метод динамічного програмування [2], генетичні алгоритми розкрою [8], евристичні алгоритми [9]), критерієм оптимізації, здебільшого, є коефіцієнт використання матеріалу. Різновидами такого підходу є, наприклад, максимізація використання матеріалу або для кожної окремої плити, або для всієї сукупності плит, розкрій яких здійснюється. Поширеною є практика ведення бази даних про обрізки значних розмірів від розкрою плит та їх використання при вирішенні інших виробничих завдань [1].

Окрім коефіцієнта використання матеріалу, плани розкрою деревних плит характеризуються й іншими показниками якості – загальною кількістю розрізів та їх сумарною довжиною, кількістю поворотів плит при розкрої, кількістю встановлень розмірів, кількістю карт розкрою [6]. Зазначимо, що ці параметри плану розкрою є, по-суті, геометричними. Оскільки всі вище зазначені параметри безпосередньо впливають на тривалість розкрою, то при виконанні термінових замовлень може виявитися доцільною оптимізація плану розкрою за критерієм його мінімальної тривалості при дотриманні обмеження на коефіцієнт використання матеріалу [10].

Таким чином, аналіз робіт [1-9] призводить до висновку про те, що дослідження й розробки переважно спрямовані на вдосконалювання алгоритмів оптимізації планів розкрою плитних матеріалів при використанні геометричних показників планів розкрою як критеріїв оптимізації.

Невирішеною частиною проблеми є оптимізація планів розкрою деревних плит за критерієм мінімуму сукупних виробничих витрат.

Метою даної роботи є обґрунтування цільової функції та методики пошуку раціонального плану розкрою деревних плит за критерієм мінімуму сукупних виробничих витрат.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідимо вплив параметрів плану розкрою деревних плит на сукупні виробничі витрати на виробництво заготовок. При цьому враховуватимемо витрати на деревинні плити, витрати на заробітну плату (з відповідними нарахуваннями), витрати на амортизацію та технічне обслуговування виробничого обладнання та дереворізального інструменту, витрати на електроенергію для виробничого обладнання, витрати на експлуатацію будівель та послуги комунальних мереж.

Витрати на деревинні плити визначатимемо наступним чином. Будемо враховувати:

- частину вартості плит, відповідну площі виготовлених заготовок;
- частину вартості плит, відповідну площі обрізків, які можуть бути використані при виконанні інших замовлень;
- частину вартості плит, відповідну відходам.

Отже,

$$B_{\text{д}} = B_{\text{п}} - B_{\text{о}} , \quad (1)$$

де B_D – витрати на деревинні плити, грн; B_{II} – вартість плит, грн; B_O – частина вартості плит, відповідна площі обрізків, грн.

Визначимо складові, що входять в (1). При цьому будемо враховувати коефіцієнт використання матеріалу (визначається як співвідношення сумарної площі заготовок до площі плит) і коефіцієнт використання матеріалу з урахуванням обрізків (визначається як співвідношення сумарної площі заготовок і обрізків до площі плит):

$$B_{II} = N_{II} C_{II} , \quad (2)$$

$$k_O = k_{MO} - k_M , \quad (3)$$

$$B_O = k_O N_{II} C_{II} , \quad (4)$$

де N_{II} – кількість деревинних плит; C_{II} – ціна деревинної плити, грн; k_O – частка деревинних площі плит, відповідна обрізкам; k_{MO} – коефіцієнт використання матеріалу з урахуванням обрізків; k_M – коефіцієнту використання матеріалу.

Тривалість розкрою визначатимемо, виходячи з усереднених тривалостей технологічних переходів:

$$T = t_{II} N_{II} + t_K n_K + t_B n_B + t_V n_V + T_P , \quad (5)$$

де T – тривалість розкрою, с; t_{II} – тривалість подавання плити до форматно-розкрійного верстату, с; N_{II} – кількість плит; t_K – тривалість аналізу карти розкрою плити розкрійником, с; n_K – кількість карт розкрою; t_B – тривалість повороту і базування деревинної плити, с; n_B – кількість поворотів деревинної плити; t_V – тривалість встановлення розміру, с; n_V – кількість встановлень розмірів; T_P – сумарна тривалість розрізів, с.

Визначимо сумарну тривалість розрізів:

$$T_P = \frac{L + n_P \Delta l}{V_S} + \frac{L + n_P \Delta l}{V_3} + n_P t_P , \quad (6)$$

де L – сумарна довжина розрізів, м; n_P – кількість розрізів; Δl – перевищення довжиною ходу каретки верстата довжини розрізу, м; V_S – швидкість подачі, м/с; V_3 – швидкість подачі каретки в зворотному напрямку, м/с; t_P – підготовчий та заключний час при здійсненні розрізу, с; n_P – кількість розрізів.

Визначивши тривалість розкрою за формулами (5, 6), обчислимо витрати на оплату праці (з нарахуваннями):

$$B_{3H} = (1 + K_H) C_P \frac{T}{3600} , \quad (7)$$

де B_{3H} – витрати на оплату праці, грн; C_P – заробітна плата розкрійників, грн/год; K_H – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату.

Тепер визначимо витрати на експлуатацію будівель та послуги комунальних мереж:

$$B_{БК} = \frac{T C_E}{3600}, \quad (8)$$

де $B_{БК}$ – витрати на експлуатацію будівель та послуги комунальних мереж, грн;
 C_E – питомі витрати на експлуатацію будівель та послуги комунальних мереж, грн/год.

Використовуючи (6), визначимо вартість електроенергії, споживаної форматно-розкрійним верстатом:

$$B_E = \left[\frac{L}{V_S} P + \left(T - \frac{L}{V_S} \right) P_X \right] \frac{C_E}{3600}, \quad (9)$$

де B_E – вартість електроенергії, споживаної форматно-розкрійним верстатом, грн; P – потужність, споживана форматно-розкрійним верстатом при різанні, кВт; C_E – ціна електричної енергії, грн/(кВт·год); P_X – потужність, споживана форматно-розкрійним верстатом при роботі на холостому ході, кВт.

Визначимо витрати на амортизацію та технічне обслуговування виробничого обладнання:

$$B_A = C_A \frac{T}{3600}, \quad (10)$$

де B_A – витрати на амортизацію та технічне обслуговування виробничого обладнання, грн; C_A – питомі витрати на амортизацію та технічне обслуговування виробничого обладнання, грн/год.

Визначимо витрати на амортизацію та перезаточування основної та підрізної пилок:

$$B_{П} = \left(\frac{C_1 + n_1 c_1}{(n_1 + 1) l_1} + \frac{C_2 + n_2 c_2}{(n_2 + 1) l_2} \right) L, \quad (11)$$

де $B_{П}$ – витрати на амортизацію та перезаточування пилок, грн; C_1, C_2 – ціна основної та підрізної пилки відповідно, грн; n_1, n_2 – кількість перезаточувань основної та підрізної пилки відповідно; c_1, c_2 – вартість перезаточування основної та підрізної пилки відповідно, грн; l_1, l_2 – сумарна довжина розрізів до перезаточування основної та підрізної пилки відповідно, м.

Таким чином, використовуючи (1-11), можна оцінити сукупні виробничі витрати на виготовлення комплекту заготовок з деревинних плит:

$$B = B_{Д} + B_{ЗН} + B_{БК} + B_E + B_A + B_{П}, \quad (12)$$

де B – сукупні виробничих витрати на виготовлення комплекту заготовок, грн.

Що стосується методики пошуку раціонального плану розкрою, то зазначимо наступне. Якщо застосовуване програмне забезпечення дає змогу використовувати (12) в якості цільової функції, то пошук раціонального рішення може здійснюватись із застосуванням будь-якого методу генерування варіантів планів розкрою. Якщо ж такої можливості нема, то доцільно, змінюючи пріоритети геометричних показників якості розкрою (наприклад, коефіцієнта використання матеріалу, кількості поворотів панелей, сумарної

довжиною розрізів тощо [6]), отримати множину Парето невідпорядкованих планів, які є кращими за відповідними показниками якості, і здійснити пошук раціонального рішення серед зазначеної множини планів, використовуючи (12) як цільову функцію:

$$R = (g_1, g_2, \dots, g_N), \quad (13)$$

$$\begin{cases} B(R) \rightarrow \min \\ R \end{cases} \Rightarrow R_{opt}, \quad (14)$$

де R – перестановка геометричних показників якості плану розкрою; g_n – показник якості розкрою із пріоритетом n ; R_{opt} – оптимальна перестановка показників якості плану розкрою;

Висновок. Обґрунтовано цільову функцію для вирішення задачі оптимізації плану розкрою деревинних плит за критерієм мінімуму сукупних виробничих витрат. Розроблено методику ранжирування показників якості розкрою деревинних плит по геометричних параметрах, призначену для знаходження раціонального плану розкрою. Перспективним напрямком подальших робіт є уточнення тривалості виконання технологічних переходів з урахуванням їх залежності від розмірів заготовок.

Список літератури.

1. Macedo R., Silva E., Alves C., Alvelos F., Valério de Carvalho J. M., Arbib C., Marinelli F., Pezzella F., De Giovanni L., Gambella L. 2D Cutting Stock Optimization Software Survey. *OR/MS Today*. 2008. 25 p.
2. Грицюк Ю.І. Динамічне програмування у задачі гільйотинного розкрою. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2006. Вип. 16.5. С. 119–126.
3. Bak S. et al. A Parallel Branch-and-Bound Approach to the Rectangular Guillotine Strip Cutting Problem. *INFORMS Journal on Computing, Articles in Advance*. 2010. P. 1–11.
4. Furini Fabio, Malaguti Enrico, Thomopoulos Dimitri. Modeling Two-Dimensional Guillotine Cutting Problems via Integer Programming. *The Open Automation and Control Systems Journal*. 2015. Vol. 7. P. 284-289.
5. Alvarez-Valdes R., Parreno F., Tamarit J.M., A Tabu Search algorithm for two-dimensional non-guillotine cutting problems. *OR Spectrum*. 2005. Vol. 27. Issue 1. P. 43–61.
6. Бунаков П.Ю., Стариков А.В., Старикова А.А., Харин В.Н. Новая парадигма проектирования САПР сложной корпусной мебели для позаказного промышленного производства. М.: Изд-во МГУЛ, 2007. – 320 с.
7. Валиахметова Ю.И., Григорчук Т.И., Васильева Л.И., Карамова Л.М. Технологии моделирования алгоритмов ортогонального раскроя-упаковки и геометрического покрытия: сравнение эффективности. *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. 2015. № 5. С. 424–445.

8. Lin Wenshu, Mu Dan, Wu Jinzhuo. Study on Cutting Stock Optimization for Decayed Wood Board Based on Genetic Algorithm. *The Open Automation and Control Systems Journal*. 2015. Vol. 7. P. 284-289.

9. Ramon Alvarez-Valdes, Antonio Parajon, Jose M. Tamarit. A Computational Study of Heuristic Algorithms for Two-Dimensional Cutting Stock Problems. *MIC'2001 - 4th Metaheuristics International Conference*. Porto, Portugal, July 16-20, 2001. P. 7–11.

10. Шевченко С.А., Эву Эрик Франсис. Оптимизация карт раскроя древесных плит по критерию минимальной продолжительности раскроя. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2017. Вип. 189. С. 89–93.

Аннотация

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНА РАСКРОЯ ДРЕВЕСИННЫХ ПЛИТ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА СОВОКУПНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ

Шевченко С.А., Суска А.А., Карапузь Н.С.

Обоснована целевая функция и методика решения задачи оптимизации плана раскроя древесинных плит по критерию минимума совокупных производственных затрат. При этом учитываются затраты на древесинные плиты, затраты на заработную плату, затраты на амортизацию и обслуживание производственного оборудования и дереворежущих инструментов, затраты на электроэнергию для производственного оборудования, затраты на эксплуатацию зданий.

Abstract

OPTIMIZATION OF THE PLAN FOR CUTTING WOOD PLATES BY THE CRITERION OF THE MINIMUM TOTAL PRODUCTION COSTS

Shevchenko S.A., Suska A.A., Karapuz M.S.

The objective function and the method for solving the problem of optimizing the plan for cutting wood plates according to the criterion of the minimum total production costs are substantiated. This takes into account the cost of wood-based panels, the cost of wages, the cost of depreciation and maintenance of production equipment and wood-cutting tools, the cost of electricity for production equipment, the cost of operating buildings.