

ВОПРОСЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНОГО
СЫРЬЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПОТОКЕ

На отечественных лесопильных предприятиях в настоящее время раскрой пиловочного сырья производится, как правило, групповым методом на лесопильных рамах с жестко установленным поставом пил для групп бревен, предварительно отсортированных по диаметрам. Выбор постава и группы диаметров для определенной спецификации распила (т.е. план раскроя) определяются расчетным путем с помощью таблиц, номограмм, графиков и в отдельных случаях с использованием ЭВМ.

Исследования, проведенные в УкрНИИМОД, показали, что для максимального использования древесины при раскросе твердых пород экономически целесообразно раскрой тонкомерного сырья производить на сдвоенных ленточнопильных станках без учета пороков, а крупномерного — на одиночном ленточнопильном станке с учетом пороков.

В данной статье рассмотрены вопросы построения математических моделей и алгоритмов оптимального раскроя пиловочного сырья. Разработанные автором алгоритмы реализованы в виде специализированной управляющей ЭЦВМ "Прогресс-1".

От способа раскроя бревна зависит эффективность дальнейшего использования пиломатериалов и выход конечной продукции. Поэтому для рационального использования пиловочного сырья в народном хозяйстве каждое бревно должно быть раскросено наилучшим образом, т.е. оптимально. Степень оптимальности определяется численной величиной показателя раскроя. В теории и на практике используются три основных критерия (под критерием оптимальности раскроя пиловочного сырья подразумеваются технико-экономические показатели процесса раскроя, характеризующие количественный, качественный и спецификационный выход пиломатериалов) оптимальности раскроя пиловочного сырья: количественный (объемный); качественный, стоимостный или ценностный; спецификационный.

На участке тонкомерного сырья Киевского деревообрабатывающего комбината производится раскрой бревен с вершинным диаметром от 12 до 40 см на доски стандартной толщины 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 40, 50, 60, 75 и 100 мм. Для выбора варианта, обеспечивающего наилучшие значения показателя раскроя (например, объемный выход пиломатериалов при коли-

чественном критерии оптимальности), необходимо проанализировать значительное количество вариантов. В общем случае количество возможных вариантов раскроя одного бревна превышает 4 млн. Несмотря на то что не все теоретические решения с технологической точки зрения приемлемы, остается все же большое количество вариантов, требующих оценки. Оператор практически не в состоянии за считанные секунды проанализировать значительное количество факторов: параметры сырья, потребность спецификации в объемных соотношениях выпиливаемых сортиментов по каждой толщине доски. Трудности заключаются еще и в том, что фактически оценка каждого варианта раскроя производится не по одному, а по нескольким параметрам (с точки зрения объемного выхода, требований спецификации и параметров партии раскраиваемого сырья). Последнее обстоятельство предопределяет целесообразность использования для поиска оптимального решения ЭВМ.

Задача планирования раскроя партии пиловочного сырья была сведена к модели линейного программирования. При решении можно выделить два основных этапа: расчет возможных (технически допустимых) вариантов раскроя каждого бревна; вычисление количественного соотношения этих вариантов в оптимальном решении. Рассмотрим математическую модель планирования раскроя партии пиловочного сырья с учетом размерной спецификации на пиломатериалы.

Пусть раскрою подлежит s -групп пиловочника, каждая группа состоит из r -одинаковых бездефектных бревен. Для γ -й группы известно количество бревен в группе (P_γ) и объем одного бревна (Q'_γ). Так как бревна в группе приняты индентичными, то объем пиловочного сырья γ -й группы можно определить по формуле

$$Q_\gamma = Q'_\gamma P_\gamma. \quad (1)$$

На первом этапе решения задачи для бревен γ -й группы ($\gamma = 1, 2, \dots, s$) строится m_γ возможных поставов. Каждый β -й постав для бревен γ -й группы ($\beta = 1, 2, \dots, m_\gamma$) полностью определен. Известно расположение толщин досок $a_1, a_2, \dots, a_\alpha, \dots, a_n$ и объем α -х досок, полученных при раскрое β -м поставом бревна γ -й группы ($a_{\alpha\beta\gamma}$), в м³. Подсчитан ($c_{\beta\gamma}$) ценностный вы-

ход пиломатериалов при раскросе одного бревна γ -й группы β -м поставом в рублях. Полностью определена спецификация: a_{α} -- требуемые толщины досок (при раскросе на обрезные пиломатериалы заданы сечения пиломатериалов), $\alpha = 1, 2, 3, \dots, n$; R_{α} -- объем пиломатериалов α -й толщины, требуемый планом в кубометрах.

Обозначим через F линейную форму, характеризующую выбранный критерий оптимальности плана раскрося пиловочного сырья; $Y_{\beta\gamma}$ -- количество бревен γ -й группы, которые следует распилить β -м поставом. Тогда объем α -х досок, выкраиваемых от бревен γ -й группы m_{γ} поставами, будет

$$\sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} a_{\alpha\beta\gamma} Y_{\beta\gamma} \quad (2)$$

Объем α -х досок, получаемых при раскросе всех S - групп бревен, будет

$$\sum_{\gamma=1}^S \sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} a_{\alpha\beta\gamma} Y_{\beta\gamma} \quad (3)$$

Общий объем досок всех (n) толщин будет

$$\sum_{\gamma=1}^S \sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} \sum_{\alpha=1}^n a_{\alpha\beta\gamma} Y_{\beta\gamma} \quad (4)$$

Объем бревен γ -й группы, распиленных всеми поставами, будет

$$\sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} Q'_{\beta\gamma} Y_{\beta\gamma} \quad (5)$$

В зависимости от конкретных производственных требований, выбранного критерия оптимальности задачу планирования раскрося партии пиловочного сырья можно сформулировать в трех интерпретациях.

1. Необходимо раскросить партию сырья

$$\sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} Y_{\beta\gamma} \leq P_{\gamma} \quad (\gamma=1, 2, \dots, S). \quad (6)$$

Удовлетворив требованиям спецификации,

$$\sum_{\gamma=1}^s \sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} q_{\alpha\beta\gamma} Y_{\beta\gamma} \geq R_{\alpha} \quad (\alpha=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

при минимальных затратах сырья

$$F = \sum_{\gamma=1}^s \sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} Q'_{\beta} Y_{\beta\gamma} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Очевидно, отрицательные решения не имеют смысла, т.е.

$$Y_{\beta\gamma} \geq 0; \quad (\beta=1, 2, \dots, m_{\gamma}; \quad \gamma=1, 2, \dots, s). \quad (9)$$

2. При решении задачи планирования раскроя тонкомерного пиловочного сырья в УкрНИИМОД выбран спецификационный критерий оптимальности. Сформулирована задача раскроя обязательно всей партии сырья, т.е.

$$\sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} Q'_{\beta} Y_{\beta\gamma} = Q_{\gamma} \quad (\gamma=1, 2, \dots, s). \quad (10)$$

С учетом требований спецификаций

$$\sum_{\gamma=1}^s \sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} q_{\alpha\beta\gamma} Y_{\beta\gamma} \geq R_{\alpha} \quad (\alpha=1, 2, \dots, n). \quad (11)$$

С целью получения максимального количества спецификационных пиломатериалов

$$F = \sum_{\gamma=1}^s \sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} \sum_{\alpha=1}^n q_{\alpha\beta\gamma} Y_{\beta\gamma} \rightarrow \max. \quad (12)$$

Очевидно, отрицательные решения не имеют смысла, т.е.

$$Y_{\beta\gamma} \geq 0 \quad (\beta=1, 2, \dots, m_{\gamma}; \gamma=1, 2, \dots, s). \quad (13)$$

3. Задача планирования раскроя пиловочного сырья с целью получения максимального ценностного выхода может быть сформулирована так:

$$\sum_{\beta=1}^{m_{\gamma}} Y_{\beta\gamma} \leq P_{\gamma} \quad (\gamma=1, 2, \dots, s). \quad (14)$$

При заданных ограничениях для j -й зоны k -го бревна

$$a_1 x_{1jk} + a_2 x_{2jk} + \dots + a_i x_{ijk} + \dots + a_n x_{njc} \leq \tau_{jk} \quad (19)$$

где τ_{jk} -- размер j -й зоны вписывания при раскросе k -го бревна.

Необходимо найти

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t a_i x_{ijk} \rightarrow \max. \quad (20)$$

Эта же задача на универсальной ЭЦВМ может быть решена с помощью математической модели динамического программирования вида

$$f_h(\tau_{jk}) = \min_{0 \leq x_h \leq \tau_{jk}} [s(x_1) + f_{h-1}(\tau_{jk} - x)]; \quad (21)$$

$$f_1(\tau_{jk}) = \min_{0 \leq x_1 \leq \tau_{jk}} s(x_1). \quad (22)$$

Для данной спецификации имеем $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$, где a_i -- требуемые толщины досок, $n \leq 10$. При условии получения досок стандартной ширины (по ГОСТ 2695-71 ширина досок регламентируется размером 50 мм и выше с градацией 10 мм) $b = 50 + 10p$, $p = 0, 1, 2, \dots, 100$.

Здесь $f_h(\tau_{jk})$ -- минимальные отходы, получаемые в течение h шагов процесса раскроя j -й зоны k -го бревна; $h = 1$ -- соответствует первому шагу; $h = n$ -- последнему шагу; τ_{jk} -- размер вписывания j -й зоны k -го бревна.

В таком виде это есть типичная задача минимизации отходов, где сырье должно быть распределено между h шагами процесса раскроя.

Исследованиями, проведенными в УКрНИИМОД, установлено, что размеры задачи планирования раскроя партии пиловочного сырья далеко выходят за рамки возможностей современных аналоговых вычислительных машин. А использование универсальных ЦВМ для оптимизации раскроя пиловочного сырья непосредственно в потоке экономически не выгодно. Поэтому представляется целесообразным выделить из функций

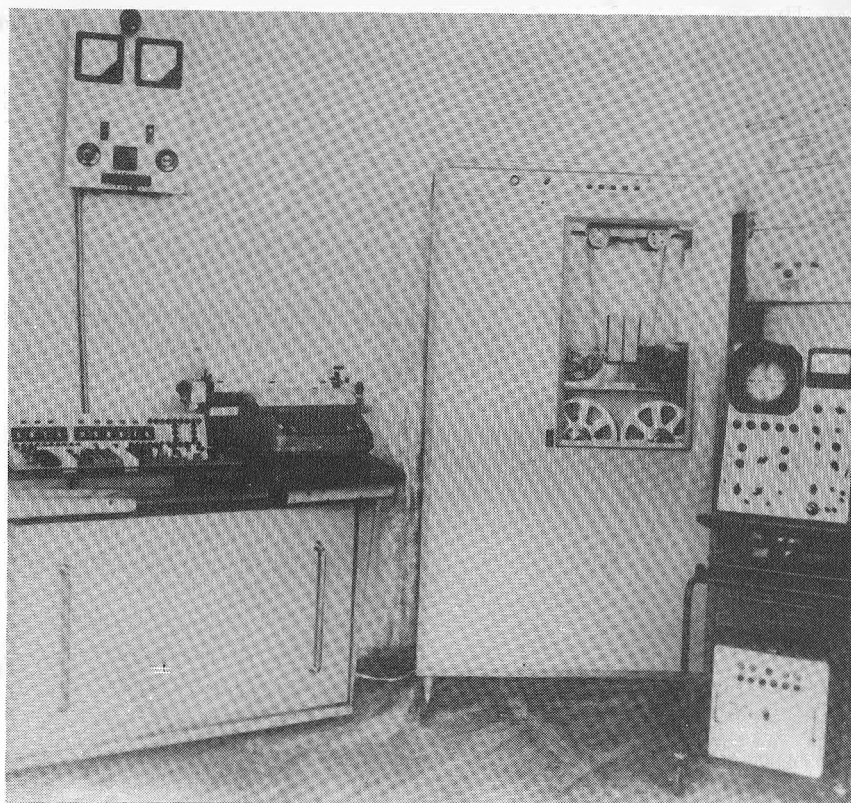


Рис. 1. Экспериментальный образец специализированной управляющей ЭЦВМ "Прогресс-1" (УкрНИИМОД, 1974г.).

управления выполняемых системой функции оперативного планирования и функции непосредственного ведения технологического процесса. Под функцией оперативного планирования подразумевается расчет оптимальных планов раскроя. При этом учитываются вероятностные размерные параметры партии сырья и требований спецификации. Эта задача решается на универсальной ЭЦВМ на вычислительном центре с использованием одной из математических моделей (6)--(9), (10)--(13) или (14)--(17) в зависимости от установленного критерия оптимальности.

Под функцией ведения технологического процесса подразумевается:

1. Управление процессом раскроя сырья в потоке (отработка рассчитанных ранее поставов);

2. Проверка готовности и исправности управляемых систем (системы позиционной настройки ленточнопильных станков и системы регулирования скорости подачи);

3. Учет плана раскроя;

4. Контроль выполнения спецификационного задания;

5. Учет отклонений реальной партии сырья от принятых в расчете вероятностных параметров.

6. Учет параметров фактически раскроенного сырья (количество и объем раскроенных бревен).

Эти функции выполняет специализированная управляющая ЭЦВМ "Прогресс-1" (рис.1).

В основу алгоритма функционирования и структурной схемы ЭЦВМ положены требования обеспечения оптимального раскроя пиловочного сырья с учетом параметров партии и требований спецификации. При этом учитываются отклонения параметров реального раскроя от расчетных. Это обеспечивает выполнение плана раскроя с минимальными потерями.

Работа специализированной управляющей ЭЦВМ "Прогресс-1" осуществляется в следующей последовательности (рис.2).

Предварительно на вычислительном центре на универсальной ЭЦВМ решается задача планирования партии сырья на основе математических моделей (6)--(9), (10)--(13) или (14)--(17).

Решение производится для различных поставщиков сырья (p) и требуемой спецификации (s).

1. Полученное решение в упорядоченном виде вводится в ЭЦВМ "Прогресс-1" в виде массивов исходной информации

$$M = \left\{ M_{11}, M_{12}, \dots, M_{ps} \right\},$$

где p --- количество различных поставщиков сырья; s --- количество различных спецификаций.

2. На пульте управления ЭЦВМ нажимается по одной клавише "ПОСТАВЩИКИ СЫРЬЯ" и "СПЕЦИФИКАЦИЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ".

3. На основании этих данных производится поиск требуемого массива информации $M_{ps} = P_1 \wedge S_m$, где M_{ps} --- номер рабочего массива информации; P_1 --- номер партии сырья; S_m --- номер спецификации.

4. На основании информации о размерных параметрах очередного бревна (d_i --- вершинный диаметр, L_j --- его длина) производится поиск зоны в блоке памяти.

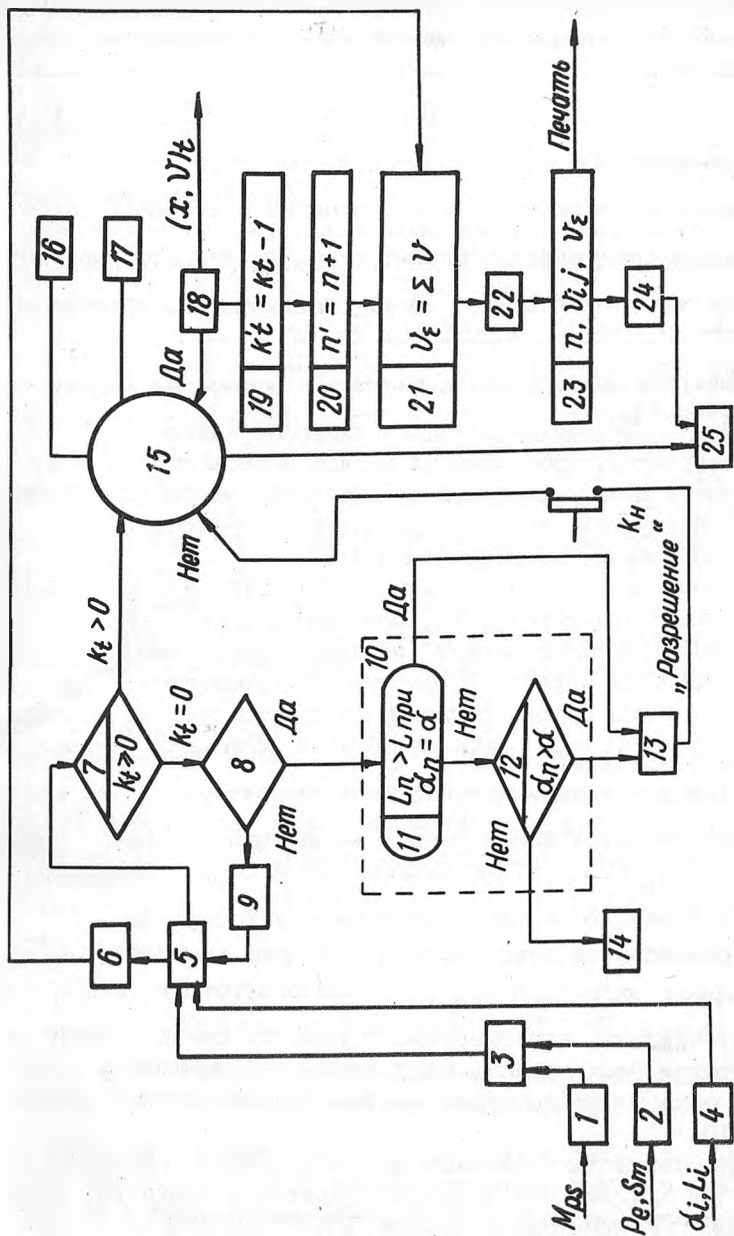


Рис. 2. Алгоритм функционирования специализированной управляющей ЭЦВМ "Прогресс-1".

5. Поиск требуемой зоны производится путем анализа кода адреса $A_{ij} = d_i \wedge L_j$ на совпадение с кодом номера зоны.

6. После нахождения требуемой зоны производится блокировка разрядов v_{ij} . Очевидно, параметры раскраиваемого бревна (d_i, L_j) полностью определяют, с определенной степенью точности, его объем (v_{ij}).

7. Анализ интенсивности использования поставов (k_t) производится следующим образом: если $k_t \geq 0$, то этот постав полностью удовлетворяет сформулированным требованиям и подлежит выдаче в управляемые системы, если $k_t = 0$, то осуществляется поиск следующей зоны с таким же кодом адреса $A_{ij} = d_i \wedge L_j$.

8. Проверяется, просмотрены ли все зоны с требуемым кодом адреса: если просмотрены не все зоны, то осуществляется переход к блоку №9, в противном случае осуществляется переход к подменному поставу (блок 10).

9. Переход к следующей зоне производится путем сравнения кода зоны с кодом адреса, описанным выше образом.

10. Переход к "подменному" поставу производится путем модификации кода адреса. "Подменным" называется постав, рассчитанный для бревна большей длины при том же диаметре ($L_n > L$) при $d_n = d$ или для бревна большего диаметра $d_n > d$ при отсутствии предыдущего варианта.

11. Производится поиск зоны с модифицированным кодом адреса $A' = L_n \wedge d_n$. При наличии такой зоны производится переход к блоку 13, а при отсутствии - к блоку 12.

12. Производится поиск зоны с повторно модифицированным кодом адреса $A'' = L_n \wedge d_n$. При отсутствии такой зоны можно утверждать, что требуемого решения среди программ, заложенных в блок памяти, не существует (переход к блоку 14). При наличии подменного постава производится переход к блоку 13.

13. Производится индикация на табло ЭЦВМ "НАРУШЕНИЕ ОПТИМУМА". При этом возможен переход к блоку 15 только после нажатия оператором кнопки "РАЗРЕШЕНИЕ".

14. Производится индикация на табло "НЕТ РЕШЕНИЯ".

15. Производится проверка готовности отработки управляемых систем. При готовности систем к отработке следующего постава — переход к блоку 18, в противном случае к блоку 24.

16. Поступает сигнал о готовности системы позиционной настройки станков (СПНЛС).

17. Поступает сигнал о готовности системы регулирования скорости подачи (СРСР).

18. Производится выдача оптимального варианта постава $(x, y \equiv h)_t$. Здесь x — множество координат пил, реализующих оптимальный постав (t) , y — скорость подачи бревна, пропорциональная высоте пропила h .

19. Понижение интенсивности использования постава $k'_t = k_t - 1$.

20. Прибавление единицы в счетчик количества раскroенных бревен $n' = n + 1$.

21. Вычисление объема раскroенного сырья $v_\Sigma = \sum_{i=1}^n v_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$), где v_i — табличный объем i -го бревна, n — количество раскroенных бревен.

22. Индикация на табло "РЕШЕНИЕ".

23. Выдача на печать n — количество раскroенных бревен; v_i — объем i -го бревна; v_Σ — объем раскroенного сырья.

24. Перевод строки, возврат каретки.

25. Автоматический останов.

При внедрении ЭЦВМ "Прогресс-1" на Киевском ДОКе в составе АСУ в результате раскroя пиловочного сырья экономический эффект превышает более 50 тыс. руб. С ростом объема перерабатываемого сырья эффективность ЭВМ значительно возрастает.

В. И. Пастушени, Ю. А. Бруевич, И. Н. Кухаренко

О СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ПОТОКОВ РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД (ОСИНЫ)

В сырьевом балансе лесопильно-деревообрабатывающих предприятий Белорусской ССР мягколиственное сырье и береза занимают $44 \div 46\%$, в том числе $3,1\%$ — осиновый пиловочник и осиновое сырье для производства тары. В последние годы в связи с истощением хвойных сырьевых ресурсов в Европей-