

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ
ТИПАМИ ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZING
THE DISTRIBUTION OF SAWN RAW MATERIALS BETWEEN
DIFFERENT TYPES OF SAWMILL EQUIPMENT**

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor
FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается задача оптимизации распределения пиловочного сырья между различными типами оборудования лесопильного производства. Разработана математическая модель, позволяющая максимизировать объемный выход пиломатериалов при минимизации производственных затрат и потерь древесины. Модель учитывает технические характеристики оборудования, физические свойства сырья и требования заказчиков к конечной продукции.

Summary: The article considers the problem of optimizing the distribution of sawn timber between different types of sawmill equipment. A mathematical model has been developed that allows maximizing the volumetric output of sawn timber while minimizing production costs and wood losses. The model takes into account the technical characteristics of the equipment, the physical properties of the raw material, and customer requirements for the final product.

Ключевые слова: системы управления, лесопильное оборудование, экономическая эффективность, математическая модель.

Keywords: control systems, sawmill equipment, economic efficiency, mathematical model.

Леспромхозы традиционно отгружают несортированный пиловочник по единой цене за кубический метр. При этом лесопильные предприятия оценивают эффективность сырья в целом, не разделяя его на размерные группы. Однако такая практика может скрывать важные аспекты: низкая или даже отрицательная эффективность переработки мелкого сырья может компенсироваться высокой эффективностью работы с крупным сырьем [1-3].

Эффективность распиловки нельзя рассматривать изолированно для каждого вида оборудования. Увеличение доли сырья одного размера, обрабатываемого на конкретном оборудовании, автоматически снижает загрузку других станков. Это создает дисбаланс в работе производства и влияет на общую экономическую эффективность.

Введение дифференцированной цены на пиловочник в зависимости от размерных групп могло бы способствовать более рациональному использованию сырья. Такой подход позволил бы перерабатывать древесину, ориентируясь на ее характеристики, а не на ограничения применяемого оборудования [4].

Рассмотрим математическую модель оптимизации распределения пиловочного сырья между различными типами оборудования для достижения максимальной экономической эффективности лесопильного производства. Математическая модель включает следующие показатели: размерные группы сырья (диаметр бревен), характеристики оборудования (производительность, стоимость, срок службы), выход пиломатериалов при распиловке, доли сырья в каждой размерной группе.

Пиловочное сырье делится на n размерных групп ($i = 1, \dots, n$), где каждая группа характеризуется диаметром бревен и долей в общем объеме сырья. Доля сырья в каждой группе обозначается как d_i , причем должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n d_i = 1. \quad (1)$$

Рассматриваются m типов оборудования ($j = 1, \dots, m$). Каждый тип оборудования характеризуется: годовой производительностью Π_{ij} (куб. м/год) для сырья из группы i и выходом пиломатериалов r_{ij} (в процентах от объема сырья).

Обозначим x_{ij} – долю сырья из группы i , распиливаемого на оборудовании типа j . Переменные x_{ij} должны удовлетворять следующему условию $\sum_{j=1}^m x_{ij} = d_i, \quad \forall i = 1, \dots, n$.

Эквивалентный аннуитет EA_j для оборудования типа j рассчитывается по формуле (2):

$$EA_j = I_0 \cdot \frac{k \cdot (1+k)^T}{(1+k)^T - 1} + CF \quad (2)$$

где I_0 – капитальные затраты на оборудование (тыс. руб.),

k – ставка дисконтирования,

T – срок службы оборудования (лет),

CF – эксплуатационные затраты (тыс. руб./год).

Целевая функция максимизирует экономический эффект от использования сырья. Экономический эффект рассчитывается как разница между доходами от продажи пиломатериалов и затратами на оборудование:

$$\Theta = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n \Pi_{ij} K_{ij} r_{ij} P_{\text{ПМ}} - EA_j \cdot \sum_{i=1}^n K_{ij} \right], \quad (3)$$

где $P_{\text{ПМ}}$ – цена пиломатериалов (руб./куб. м),

EA_j – эквивалентный аннуитет для оборудования типа j (тыс. руб./год).

K_{ij} – количество времени работы оборудования ij при распиловке сырья из группы i по формуле (16), лет,

$$K_{ij} = Q \cdot d_i \cdot x_{ij} / \Pi_{ij}, \quad (4)$$

$P_{\text{ПМ}}$ – стоимость 1 м³ пиломатериалов, тыс. руб.;

$P_{\text{ПЛ}}$ – стоимость 1 куб. м пиловочника, тыс. руб.;

Q – объем партии сырья, м³.

Распределение сырья: Для каждой размерной группы i суммарная доля сырья, распиливаемого на всех типах оборудования, должна быть равна доле этой группы в общем объеме сырья: $\sum_{j=1}^m x_{ij} = d_i, \quad \forall i = 1, \dots, n$.

Неотрицательность переменных: Все переменные x_{ij} должны быть неотрицательными: $x_{ij} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad \forall j = 1, \dots, m$.

Производственные ограничения: объем сырья, распиливаемого на каждом типе оборудования, не должен превышать его годовую производительность: $\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot Q \leq \Pi_{ij}, \quad \forall j = 1, \dots, m$.

Таким образом, различные размерные группы сырья имеют разную ценность при распиловке и должны отличаться по цене. Оптимальное распределение сырья между оборудованием позволяет минимизировать затраты и максимизировать экономический эффект. Дифференцированные цены на сырье могут

быть установлены на основе решения двойственной задачи линейного программирования.

Рассмотрим пример. Надо распилить 100000 м^3 пиловочника ($Q = 100000$). Распределение по 4 размерным группам приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение пиловочника по размерным группам

Диаметр, см	Доля, %
16	20
22	50
28	20
32	10
Всего	100

Сравним распиловку бревен на трех станках разной производительности - агрегатная линия, круглопильный станок, ленточнопильный станок.

Таблица 2– Параметры оборудования

Параметр	Оборудование номер		
	1	2	3
Цена, тыс. руб.	4600	4200	4500
CF	7500	6500	6000
Срок службы, лет	10	10	10
ЕА при $k=0,10$	7094	6178	5790

Объемный выход пиломатериалов из каждого сорта пиловочника в зависимости от вида оборудования приведен в таблице 3, а производительность оборудования – в таблице 4. Из таблиц 3 и 4 показывают, что добиться высокого объемного выхода при распиловке бревен среднего и крупного диаметров на оборудовании 1 невозможно, хотя данное оборудование имеет высокую производительность. Зато оборудование 3, при невысокой производительности распиливает бревна среднего и крупного диаметра, и вырабатывает большой объемный выход пиломатериалов.

Таблица 3 – Выход пиломатериалов

Размерная группа сырья номер	Выход пиломатериалов (%) на оборудовании номер		
	1	2	3
1	44	44	44
2	48	49	50
3	48	51	58
4	45	55	65

Таблица 4 –Производительность оборудования в год

Размерная группа номер	Производительность на оборудовании номер, м ³ в год		
	1	2	3
1	60000	40000	19000
2	65000	45000	22000
3	66000	48000	24000
4	64000	50000	26000

Решение основной задачи при приведенных ранее ограничениях имеет следующий вид (таблица 5).

Таблица 5 – Распределение сырья по видам оборудования

Размерная группа сырья	Распределение сырья по видам оборудования		
	1	2	3
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0	0	1

Анализируя данные таблицы 5, видим, что сырье размерной группы 1 рекомендуется пилить на оборудовании 1, сырье размерной группы 2 рекомендуется пилить на оборудовании 2, а сырье размерной группы 3 и 4 рекомендуется пилить на оборудовании 3.

Решение двойственной задачи (стоимость сырья) приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Стоимость сырья

Размерная группа, см	Объем сырья, м ³	Стоимость объема сырья, тыс. руб.	Цена 1 м ³ сырья размерной группы, тыс. руб.
16	20000	24035	1,20
22	50000	66635	1,33
28	20000	29975	1,50
32	10000	17273	1,73

Средневзвешенная цена пиловочника равна 1,38 тыс. руб. за м³. Но при этом малое предприятие, имеющее только один вид оборудования, будет покупать пиловочник только тех размерных групп, переработка которых будет эффективной на этом оборудовании. Принятие такого решения обеспечат дифференцированные цены. Покупая несортированное сырьё по единой цене, такое

предприятие неизбежно будет использовать неэффективные варианты переработки, нанося ущерб себе и народному хозяйству в целом.

Таким образом, бревна различного диаметра при распиловке имеют разный выход, а соответственно и цена на бревна будет разной. Это также зависит и от качества бревен. Из сырья первого сорта, с небольшим сбегом, имеющим округлую форму, можно получить более качественные пиломатериалы, поэтому цена на такие бревна будет высокой. Но отказываться пилить низкокачественные бревна нельзя, так как сырьевая база с каждым годом уменьшается, а потребность в пиломатериалах возрастает. При определении целевой принадлежности бревен, необходимо сразу решить, что более выгодно произвести из него. Если распиловка на пиломатериалы не целесообразна (малый объемный выход пиломатериалов, не качественные пиломатериалы), то бревна необходимо направлять на производство целлюлозы, химическую переработку.

Список литературы

1. Обоснование необходимости внедрения процессов комплексного использования древесины на лесопильных предприятиях / А.А. Тамби, С.А. Угрюмов, А.Р. Бирман [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2020.–№ 2 (46). – С. 47–54.
2. Технологическое проектирование лесопильных цехов: учебное пособие с грифом УМО / В.С. Болдырев, Ю.А. Чевычелов, А.И. Цуриков [и др.]. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 250403 – "Технология деревообработки" / (2–е изд. перераб. и доп.) М–во образования и науки РФ, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – С. 264.
3. Калитеевский, Р. Е. Теория и организация лесопиления / Р. Е. Калитеевский – М.: «Экология», 1995. – 352 с.
4. Мещерякова, А.А. Исследование автоматизированной системы управления лесопильным оборудованием / А.А. Мещерякова, А.А. Грибанов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно–практической конференции. –Воронеж, 2024. – С. 225–228.

References

1. Justification of the need to introduce processes of integrated use of wood at sawmills / A.A. Tambi, S.A. Ugryumov, A.R. Birman [et al.] // Systems. Methods. Technologies. –2020. No. 2 (46). - P. 47-54.

2. Technological design of sawmills: a textbook with the UMO stamp / V.S. Boldyrev, Yu.A. Chevychelov, A.I. Tsurikov [and others]. A textbook for students of higher educational institutions studying in the specialty 250403 - "Woodworking Technology" / (2nd ed., revised and supplemented) Ministry of Education and Science of the Russian Federation, State Educational Institution of Higher Professional Education "VGFLTA". - Voronezh, 2012. - P. 264.

3. Kaliteevsky, R.E. Theory and organization of sawmilling / R.E. Kaliteevsky - M.: "Ecology", 1995. - 352 p.

4. Meshcheryakova, A.A. Research of automated control system of sawmill equipment / A.A. Meshcheryakova, A.A. Gribanov // In the collection: Energy efficiency and energy saving in modern production and society : materials of the international scientific and practical conference. - Voronezh, 2024. - P. 225-228.