

УДК 338.32.053.4 : 674.093.6-413.82

**С.В. Ершов**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Ершов Сергей Викторович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 100 печатных работ в области лесопильного оборудования и инструмента, технологии лесопиления, инновационной деятельности.  
E-mail: svershov@gmail.com



### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ РАЗМЕРНЫХ ДИАПАЗОНОВ РАСПИЛИВАЕМОГО СЫРЬЯ ПРИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Предложен метод расчета, основанный на применении линейного программирования и позволяющий определить наиболее эффективные диапазоны размеров распиливаемого сырья для различного лесопильного оборудования.

*Ключевые слова:* производительность, выход пиломатериалов, целевая функция, эксплуатационные затраты, капитальные затраты, экономический эффект.

При строительстве новых и модернизации действующих лесопильных предприятий встает вопрос о выборе типа лесопильного оборудования [1, 2]. Сегодня рынок предлагает большое количество оборудования различных типов (агрегатное, рамное, круглопильное, ленточнопильное) и назначений для малого и крупного производства. Оно различается по стоимости, характеристикам, эксплуатационным затратам и сроку службы. Каждый из видов оборудования имеет свои преимущества и недостатки, которые проявляются в определенных условиях. Ленточнопильные станки обеспечивают высокий выход пиломатериалов при распиловке крупного леса, позволяют индивидуально подходить к раскрою каждого бревна, но не имеют достаточной производительности. Агрегатные станки, наоборот, обеспечивают высокую производительность, но не гарантируют высокого выхода пиломатериалов при распиловке крупного сырья. Кроме того, выбор эффективного оборудования зависит от распределения распиливаемого сырья по размерным группам, определяемым районом его произрастания.

Использование единицы оборудования одного вида влияет на эффективность использования остального оснащения. Например, применение агрегатного станка только для мелкого сырья повышает эффективность работы лесопильной рамы, так как на ней перерабатывается более крупное сырье.

Таким образом, при рассмотрении каждой единицы оборудования в отдельности не удастся определить эффективный диапазон размеров распиливаемого сырья. Необходимо совместное рассмотрение сразу всего используемого предприятием оборудования.

Ответ на вопрос о границах размерных диапазонов пиловочника, соответствующих эффективному применению лесопильного оборудования различных типов, не могут дать только технологические расчеты (производительность, выход пиломатериалов), так как они не учитывают соотношение затрат и результата. Ответ следует искать в экономическом эффекте. Причем любой тип оборудования в определенных условиях может оказаться самым эффективным. Основным ресурс, используемый лесопильным производством – пиловочное сырье, стоимость которого может составлять 50 % и более от стоимости пиломатериалов. Эффективность использования этого ресурса во многом определяет эффективность всего лесопильного производства.

Цель нашей работы – решить задачу эффективного использования экономического ресурса, используя методы линейного программирования [5, 7].

#### *Метод расчета*

Разделим распиливаемое сырье на  $n$  групп с номерами  $i = 1 \dots n$  и рассмотрим  $m$  типов оборудования с номерами  $j = 1 \dots m$ . Долю пиловочника, приходящуюся на каждую размерную группу, обозначим  $d_i$ . Должно выполняться требование  $\sum_{i=1}^n d_i = 1$ . При распиловке сырья  $i$  на оборудовании  $j$  обеспечивается выход пиломатериалов  $r_{ij}$  и годовая производительность  $P_{ij}$ .

Предположим, что каждый вид оборудования распиливает долю от каждой размерной группы  $x_{ij}$ . Таким образом,  $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1$  для каждого из значений  $i$  (знак  $\leq$  использован потому, что необязательно распиливать все сырье, если это не выгодно). Нам необходимо обеспечить такие значения  $x_{ij}$ , при которых достигается максимальный экономический эффект от использования пиловочного сырья. Это задача линейного программирования (задача о назначениях). Для ее решения необходимо составить целевую функцию и наложить на значения  $x_{ij}$  необходимые ограничения.

Целевая функция должна отражать капитальные и эксплуатационные затраты, а также доходы от продажи полученной пилопродукции. Поскольку стоимость пиломатериалов в разы превышает стоимость кусковых отходов и опилок, будем учитывать только стоимость пиломатериалов  $P_{\text{пм}}$  без стоимости доработки (сушка, торцовка, сортировка, пакетирование).

Капитальные затраты имеют разовый характер, их следует привести к виду, сопоставимому с текущими затратами (в год). Для этого подойдет эквивалентный аннуитет ( $EA$ ) [4]. При определении  $EA$  появляется возможность учесть и другие, специфические для данного вида оборудования эксплуатационные затраты (например, заработная плата персонала, электроэнергия,

приобретение и подготовка инструмента, техническое обслуживание и ремонт). Для определения  $EA$  воспользуемся следующим уравнением:

$$EA \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+k)^t} = I_0 + \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+k)^t}, \quad (1)$$

где  $C_t$  – затраты в году  $t$ , тыс. р.;

$T$  – срок службы (чаще до первого капитального ремонта), лет;

$k$  – ставка дисконтирования;

$I_0$  – капитальные затраты, связанные с приобретением и установкой оборудования, тыс. р.

При одинаковых ежегодных затратах  $C$  использование формулы для суммы геометрической прогрессии в (1) дает формулу для определения  $EA$  [3, 6]:

$$EA = \frac{C \left[ (1+k)^T - 1 \right] + I_0 k (1+k)^T}{(1+k)^{T+1} - 1}. \quad (2)$$

Тогда экономический эффект  $\mathcal{E}$  использования ресурса (партии сырья объемом  $Q$ ) может быть выражен как разница результата и затрат:

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

где  $K_{ij}$  – время работы оборудования  $j$ , лет, при распиловке сырья из группы  $i$ ,

$$K_{ij} = Q d_i x_{ij} / \Pi_{ij}$$

$P_{\text{пм}}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов, тыс. р.;

$Q$  – объем партии сырья, м<sup>3</sup>.

После преобразований (3) получим выражение для экономического эффекта, которое и будет целевой функцией:

$$Q \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{d_i x_{ij}}{\Pi_{ij}} \left[ \Pi_{ij} r_{ij} P_{\text{пм}} - EA_j \right] \rightarrow \max. \quad (4)$$

Максимальное значение целевой функции следует обеспечить, выбирая доли распиливаемого сырья  $x_{ij}$ . Решение следует искать при следующих ограничениях:

$x_{ij} \geq 0$  (доли распиливаемого сырья должны быть неотрицательными);

$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1$  для каждого из значений  $i$  (нельзя распилить больше чем есть, но распиливать все необязательно).

*Пример.* Надо распилить партию пиловочника объемом  $Q = 100$  тыс. м<sup>3</sup>. Распределение по 15 размерным группам (по диаметру в вершине) приведено в табл. 1.

Таблица 1

**Распределение пиловочника по размерным группам**

Размерная группа сырья	Диаметр в вершине, см	Доля сырья, %	Размерная группа сырья	Диаметр в вершине, см	Доля сырья, %
1	14	5,7	9	30	4,9
2	16	10,5	10	32	3,6
3	18	14,5	11	34	2,5
4	20	14,6	12	36	1,6
5	22	13,0	13	38	1,1
6	24	11,0	14	40	0,8
7	26	9,0	15	≥ 42	0,5
8	28	6,7			

Имеется три вида оборудования (например, агрегатная линия – I, линия на базе круглопильных станков – II, линия на базе ленточнопильного станка – III), характеристика которого приведена в табл. 2.

Таблица 2

**Параметры оборудования**

Параметр	I	II	III
Цена, тыс. р.	3800	4000	4200
Ежегодные затраты, тыс. р.	7500	8900	7200
Срок до капитального ремонта, лет	10	10	10
Эквивалентный аннуитет при $k = 0,18$	6827	8008	6654

Выход пиломатериалов при распиловке сырья каждой размерной группы на каждом виде оборудования и его годовая производительность по сырью приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Выход пиломатериалов и годовая производительность оборудования**

Размерная группа сырья (диаметр в вершине, см)	Выход пиломатериалов, %			Производительность, м <sup>3</sup> /год		
	I	II	III	I	II	III
1(14)	45	45	45	61000	45000	24000
2 (16)	47	47	48	63000	47000	25000
3 (18)	48	50	50	62000	48000	26000
4 (20)	48	51	52	62000	50000	26000
5 (22)	49	53	54	62000	52000	28000
6 (24)	49	54	55	61000	52000	29000
7 (26)	50	56	57	61000	53000	30000
8 (28)	51	58	60	60000	53000	32000

Окончание табл. 3

Размерная группа сырья (диаметр в вершине, см)	Выход пиломатериалов, %			Производительность, м <sup>3</sup> /год		
	I	II	III	I	II	III
9 (30)	51	58	60	60000	52000	33000
10 (32)	52	59	61	58000	52000	33000
11 (34)	52	60	62	57000	51000	34000
12 (36)	53	61	63	56000	49000	34000
13 (38)	53	62	64	55000	48000	32000
14 (40)	53	62	64	54000	48000	32000
15 (> 42)	53	60	63	53000	47000	32000

Из табл. 3 видно, что оборудование I имеет высокую производительность, но не в состоянии обеспечить высокий выход пиломатериалов при распиловке среднего и крупного сырья. Оборудование III, наоборот, обеспечивает высокий выход пиломатериалов при распиловке среднего и крупного сырья, но имеет невысокую производительность.

Задачи линейного программирования достаточно просто можно решать с помощью MS Excel [8], используя надстройку «Поиск решения». Для этого в ячейки таблицы вносят исходные данные, любое допустимое решение (удовлетворяющее ограничениям) и формулы для вычисления значений, используемых целевой функцией. В отдельной ячейке вычисляют целевую функцию. Снимок с экрана приведен на рис. 1.

k= 0,18		цена, тыс			Производительность куб. м в год			Решение			Время работы одного станка, лет			
		3800	4000	4200										
CF		7500	8900	7200	Rпм= 3			Q= 100000						
срок		10	10	10	Rпл= 1,3									
EA		6827	8008	6654										
Диаметр, см	Доля, %	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1 14	5,70%	45%	45%	45%	61000	45000	24000	1	0	0	1	0,093	0	0
2 16	10,50%	47%	47%	48%	63000	47000	25000	1	0	0	1	0,167	0	0
3 18	14,50%	48%	50%	50%	62000	48000	26000	0	1	0	1	0	0,302	0
4 20	14,60%	48%	51%	52%	62000	50000	26000	0	1	0	1	0	0,292	0
5 22	13,00%	49%	53%	54%	62000	52000	28000	0	1	0	1	0	0,250	0
6 24	11,00%	49%	54%	55%	61000	52000	29000	0	1	0	1	0	0,212	0
7 26	9,00%	50%	56%	57%	61000	53000	30000	0	1	0	1	0	0,170	0
8 28	6,70%	51%	58%	60%	60000	53000	32000	0	0	1	1	0	0	0,209
9 30	4,90%	51%	58%	60%	60000	52000	33000	0	0	1	1	0	0	0,148
10 32	3,60%	52%	59%	61%	58000	52000	33000	0	0	1	1	0	0	0,109
11 34	2,50%	52%	60%	62%	57000	51000	34000	0	0	1	1	0	0	0,074
12 36	1,60%	53%	61%	63%	56000	49000	34000	0	0	1	1	0	0	0,047
13 38	1,10%	53%	62%	64%	55000	48000	32000	0	0	1	1	0	0	0,034
14 40	0,80%	53%	62%	64%	54000	48000	32000	0	0	1	1	0	0	0,025
15 >42	0,5%	53%	60%	63%	53000	47000	32000	0	0	1	1	0	0	0,016
	100,00%													
											0,26011	1,22543	0,66254	
											целевая функция 143935			

Рис. 1. Вариант решения задачи

При допустимом неоптимальном решении, использованном в качестве начальных данных, значение целевой функции будет, конечно, неоптимальным. Оптимальное решение ищут, используя надстройку «Поиск решения», которая позволяет задать необходимые ограничения, ячейку, содержащую целевую функцию, параметр оптимизации (максимум или минимум) и метод решения (в нашем примере – симплекс-метод). Параметры поиска решения приведены на рис. 2.

Рис. 2. Форма для задания параметров поиска решения

При приведенных ранее ограничениях решение имеет следующий вид (табл. 4).

Таблица 4

**Распределение сырья по видам оборудования и время его работы**

Размерная группа сырья (диаметр в вершине, см)	Распределение сырья по видам оборудования			Время работы оборудования, лет, при распиловке 100 тыс. м <sup>3</sup>		
	I	II	III	I	II	III
1 (14)	1	0	0	0,093	0,0	0,0
2 (16)	1	0	0	0,167	0,0	0,0
3 (18)	0	1	0	0,0	0,302	0,0
4 (20)	0	1	0	0,0	0,292	0,0
5 (22)	0	1	0	0,0	0,250	0,0
6 (24)	0	1	0	0,0	0,212	0,0
7 (26)	0	1	0	0,0	0,170	0,0
8 (28)	0	0	1	0,0	0,0	0,209
9 (30)	0	0	1	0,0	0,0	0,148
10 (32)	0	0	1	0,0	0,0	0,109
11 (34)	0	0	1	0,0	0,0	0,074
12 (36)	0	0	1	0,0	0,0	0,074
13 (38)	0	0	1	0,0	0,0	0,047
14 (40)	0	0	1	0,0	0,0	0,034
15 (42)	0	0	1	0,0	0,0	0,025
			<i>Всего</i>	0,260	1,225	0,663

Полученное решение показывает, что с максимальной эффективностью данную партию сырья можно распилить, если пиловочник размерных групп 1 и 2 (14 и 16 см) пилить только на оборудовании I, с 3 по 6 (18...26 см – на оборудовании II, с 8 по 15 (28...42 см) – на оборудовании III. При этом оборудование I будет работать 0,26 года, оборудование II – 1,23 года, III – 0,66 года. Оборудование I и III будет явно недогружено. Проблему загрузки оборудования можно решить, используя несколько единиц оборудования одного типа, что приведет к увеличению производственной мощности.

*Выводы*

1. Задача выбора типов оборудования для конкретного лесопильного производства может быть решена с использованием методов линейного программирования.

2. Оптимальный выбор оборудования зависит от состава распиливаемого сырья, капитальных и эксплуатационных затрат, выхода пиломатериалов и производительности, цен на пиловочник и пиломатериалы.

3. Наиболее эффективно использовать различные типы оборудования, но это возможно только на крупных предприятиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Е., Бедердинова О.И.* Математическая модель определения производительности лесопильного потока на базе круглопильного однопильного станка // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 101–103. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Алексеева Л.В.* К определению мощности участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка // Лесн. журн. 2002. № 5. С. 76–80. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Ершов С.В.* Использование экономических критериев для оценки целесообразности технических нововведений // Вестн. АГТУ. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. Серия «Экономика». Вып. 65. С. 27–31.
4. *Идрисов А.Б., Картышев С.В., Постников А.В.* Стратегическое планирование и анализ эффективности инвестиций М.: ИИД «Филинь», 1996. 272 с.
5. *Канторович Л.В., Горстко А.Б.* Оптимальные решения в экономике. М.: Наука, 1972. 231 с.
6. *Луцки И.В., Косов В.В.* Инвестиционный проект: Методы подготовки и анализа: учеб.-справ. пособие. М.: Издательство БЕК, 1996. 304 с.
7. *Лунгу К.Н.* Линейное программирование: руководство к решению задач. М.: Физматлит, 2005. 128 с.
8. *Decision Modeling with Microsoft Excel/ Moore Jeffrey H., Weatherford Larry R.* New Jersey: Prentice Hall, 2001. 693 p.

Поступила 25.04.12

*S.V. Ershov*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Determination of Size Ranges of Saw Logs under Efficient Operation of Sawmill Equipment**

The paper suggests a calculation method based on linear programming that allows to determine the most efficient size ranges of raw materials for various types of sawmill equipment.

*Keywords:* output, lumber yield, target function, operating costs, capital costs, economic effect.