УДК 674.093 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-3-136-140

Критерий оптимизации энергозатрат в производстве пиломатериалов

Д.А. Ладухин[a], А.Д. Голяков[b]

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины 17, Архангельск, Россия
[a]d.laduhin@mail.ru, [b]alek.goliackov@yandex.ru
[a]https://orcid.org/0000-0002-4288-3548, [b]https://orcid.org/0000-0002-1807-9138
Статья поступила 21.05.2018, принята 18.07.2018

В основе технологии лесопиления лежит составление оптимальных схем раскроя пиловочных бревен на продукцию различных размеров и качества. Базовым критерием эффективности плана раскроя является объемный выход по каждому поставу, повышение которого направлено на сбережение древесины. В современных условиях при развитии производства древесных композитов, топливных гранул и целлюлозы из отходов лесопиления, а также внедрении агрегатных методов переработки сырья повышение объемного выхода основной продукции перестает выступать первостепенной задачей лесопильного предприятия. При этом встает вопрос о степени эффективности выработки пиломатериалов и попутной продукции из разных зон пиловочного бревна. В качестве критерия эффективности раскроя бревен наряду с объемным выходом в статье предложено использовать отношение удельного расхода электроэнергии на производство единицы объема готовой продукции (пиломатериалов или щепы) к выручке, полученной от ее реализации. Оценка эффективности энергозатрат на выпиловку и дальнейшую обработку разных досок постава осуществляется через систему коэффициентов на каждой стадии технологического процесса. Доказано, что эффективность выпиловки крайних боковых досок постава, оптимального по объемному выходу пиломатериалов, чаще оказывается ниже с экономической точки зрения, чем переработка этой части бревна в технологическую щепу.При переработке боковой зоны бревна на щепу удельный расход электроэнергии снижается в 10 и более раз.

Ключевые слова: энергоэффективность лесопиления; постав; оптимизация энергозатрат.

Optimization criterion of energy consumption in production of lumber

D.A. Ladukhin[a], A.D. Goljakov[b]

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; 17, Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, Russia
[a]d.laduhin@mail.ru, [b]alek.goliackov@yandex.ru
[a]https://orcid.org/0000-0002-4288-3548, [b]https://orcid.org/0000-0002-1807-9138
Received 21.05.2018, accepted 18.07.2018

At the heart of the technology of lumbering is the drawing up of optimal schemes for cutting sawlogs for products of various sizes and qualities. The basic criterion for the effectiveness of the cutting plan is the volume yield for each item, the increase of which is aimed at saving timber. In modern conditions, with the development of the production of wood composites, fuel pellets and cellulose from sawmilling waste, and the introduction of aggregate methods for processing raw materials, the increase in the volume yield of basic products ceases to be the primary task of the sawmill. This raises the question of the degree of efficiency in the production of sawn timber and associated products from different zones of the logs. As a criterion for the efficiency of cutting logs along with volumetric output, the article proposed to use the ratio of specific electricity consumption for the production of a unit volume of finished products (sawn wood or chips) to the proceeds from its sale. Evaluation of the efficiency of energy costs for sawing and further processing of different boards delivered is done through a system of coefficients at each stage of the technological process. It is proved that the efficiency of sawing out the extreme side boards is optimal, as far as the volume yield of sawn timber is concerned, it is often lower from an economic point of view than the processing of this part of the log into technological chips. When processing the side zone of a log on a chip, the specific electricity consumption is reduced by 10 or more times.

Keywords: sawmilling energy efficiency; cutting plan; optimization of energy consumption.

Введение

С повышением механизации и автоматизации технологических процессов производства пиломатериалов, а также внедрением агрегатных способов переработки пиловочных бревен растет общее количество электроэнергии, потребляемой всем оборудованием лесопильных предприятий. Ежегодный прирост составляет порядка 7%, при этом доля электроэнергии в себестоимости готовой продукции может достигать 10 % [1; 2], что, в свою очередь, требует более эффективного ее использования[3]. Решение данной задачи возможно за счет совместного рассмотрения энергетической и технологической составляющих производственного процесса еще на стадии планирования раскроя пиловочного сырья, неотъемлемой частью которого является составление плана оптимальных поставов. Вопросы оптимизации схем раскроя пиловочных бревенс учетом энергетического фактора, в том числе в условиях лесосеки, рассматриваются в работах [4–6].

Методика исследования. В качестве критерия энергоэффективности выпиловки разных досок постава в первом приближении предложены коэффициент полезного пиления [7], а также методика его расчета [8]. При помощи данного коэффициента на основе «объемной формулы»[9; 10], которая используется при определении требуемой мощности привода механизма резания, можно получить значение количества электроэнергии, затрачиваемой на формирование граней (пластей и кромок) отдельных досок постава пилами различных конструкций (круглыми, рамными, ленточными) [11].

На следующих стадиях обработки пиломатериалов (торцевание, сортировка, маркировка) основными и наиболее энергоемкимиустройствами являются поперечные цепные конвейеры, в качестве тягового органа которых применяются пластинчатые втулочные или втулочно-роликовые цепи. В таких условиях, по аналогии с коэффициентом полезного пиления досок, для определения энергоэффективности работы конвейеров предложены коэффициент полезного перемещениядосок и методика его определения [12]. При помощи данного коэффициента можно оценивать энергоэффективность обработки разных досок постава, а также рассчитывать количество электроэнергии, необходимое для их перемещения при торцевании, сортировке и маркировке на линиях проходного типа.

Проведенные исследования [7; 8; 11; 12] показывают, что удельный расход электроэнергии (*кВт·ч/м*^{3}) при выработке разных досок постава неодинаков. Энергоэффективность выпиловки и дальнейшей обработки крайних боковых досок (укороченных) в несколько раз ниже (3 и более), чем центральных, имеющих полную длину. Альтернативой производству тонких укороченных досок может стать переработка соответствующей зоны бревна на щепу, что ведет к увеличению энергоэффективности работы основного и вспомогательного оборудования и снижению общего количества энергозатрат.

В качестве примера в табл. 1 представлены результаты расчета суммарных удельных затрат энергии (*кВт·ч/м*^{3}) на формирование номинальных размеров обрезных досок, вырабатываемых по брусово-развальным схемам (рис. 1) (ГОСТ 26002-83) на лесопильных рамах 1-го и 2-го ряда 2Р-75 и обрезном станке Ц2Д-7А, а также на перемещение этих досок при их обработке перед сушкой на линии ЛССП-40 и окончательной обработке на линии План-Селл. Расчеты велись по методикам, представленным в [7; 11; 12]. Для сравнения в табл. 1 приведен показатель удельных энергозатрат при переработке древесины на щепу в дисковой рубительной машине с наклонной подачей Norman 66, рассчитанный по известной методике [13–15].

По мере удаления пиломатериалов от оси бревна удельный расход энергии на их производство увеличивается более чем в 3,5 раза для крайних боковых досок по сравнению с центральными (табл. 1). Это связано с большой разницей в их объеме. При переработке этих же досок в щепу удельные затраты электроэнергии в несколько раз ниже. Наибольшая разница наблюдается для крайних боковых досок постава (более чем в 10 раз).

Если иметь в виду тот факт, что количество электроэнергии, затрачиваемой на производство обрезных пиломатериалов, не является основным показателем экономической эффективности технологического процесса, то при оптимизации поставов по условию минимизации энергозатрат следует учитывать еще и результаты реализации готовой продукции, исчисляемые в денежном эквиваленте. Тогда критерий оптимизации энергозатрат может быть представлен следующим образом, *кВт·ч/р*:

$$M = \frac{W}{P} \to \min , \qquad (1)$$

где W—затраты электроэнергии на производство обрезных пиломатериалов или щепы, *кВт·ч*; P—выручка, полученная от реализации данной продукции (обрезных пиломатериалов или щепы), *р*;

$$P = VC , \qquad (2)$$

V—объем продукции, *м*^{3};C—стоимость единицы объема продукции, *р/м*^{3}.

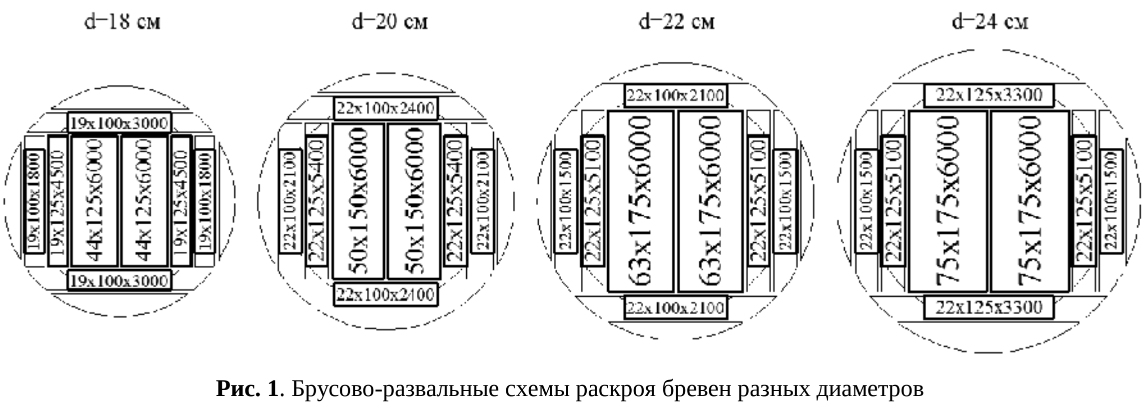

Рис. 1. Брусово-развальные схемы раскроя бревен разных диаметров

Таблица 1

Сравнение удельных энергозатрат на производство обрезных досок номинальных размеров и на переработку древесины в щепу

Диаметр бревна, *см*	Номер прохода	Размеры досок, *мм*	Суммарные удельные энергозатраты на производство обрезных досок, *кВт·ч/м³*	Удельные энергозатраты при переработке древесины в щепу, *кВт·ч/м³*
18	I	19x100x3000	23,97	2,19
	II	44x125x6000	8,06	
		19x125x4500	13,39	
		19x100x1800	32,92	
20	I	22x100x2400	24,04	
	II	50x150x6000	6,65	
		22x125x5400	11,84	
		22x100x2100	25,24	
22	I	22x100x2100	26,11	
	II	63x175x6000	5,20	
		22x125x5100	12,84	
		22x100x1500	32,62	
24	I	22x125x3300	17,76	
	II	75x175x6000	4,74	
		22x125x5100	13,11	
		22x100x1500	32,57	

Результаты исследования. В табл.2 приведены результаты расчета критерия оптимизации М для пиломатериалов, вырабатываемых по вышеуказанным схемам (рис. 1), и для щепы. Стоимость пиломатериалов принята для наиболее распространенного сорта SF (бессортные, 4-й и улучшенный 5-й), по данным одного из лесопильных предприятий Архангельска, работающего на экспорт: 13500 р/м³—для обрезных пиломатериалов транспортной влажности длиной от 2,7 до 6,0 м, вырабатываемых по ГОСТ 26002-83; 9000 р/м³—для обрезных пиломатериалов транспортной влажности длиной от 1,5 до 2,4 м, вырабатываемых по ГОСТ 26002-83. Стоимость технологической щепы,по данным того же предприятия, принята равной 950 р/м³ плотной древесины. Расчеты произведены для 1 м³ готовой продукции (пиломатериалов и щепы). Коэффициент выхода кондиционной щепы без доизмельчения крупной фракции принят равным 0,9.

Таблица 2

Расчет критерия оптимизации энергозатрат

Диаметр бревна, *см*	Номер прохода	Размеры досок, *мм*	Критерий оптимизации энергозатрат М, (*кВт·ч/р*)·10^{-3}	
			пиломатериалы	щепа
18	I	19x100x3000	1,78	2,56
	II	44x125x6000	0,60	
		19x125x4500	0,99	
		19x100x1800	3,66	
20	I	22x100x2400	2,67	
	II	50x150x6000	0,49	
		22x125x5400	0,88	
		22x100x2100	2,80	
22	I	22x100x2100	2,90	
	II	63x175x6000	0,39	
		22x125x5100	0,95	
		22x100x1500	3,62	
24	I	22x125x3300	1,32	
	II	75x175x6000	0,35	
		22x125x5100	0,97	
		22x100x1500	3,62	

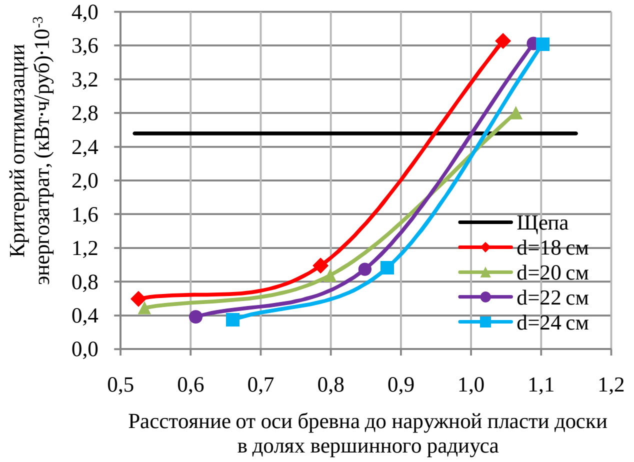

Рис. 2. График зависимости критерия оптимизации энергозатрат от положения доски в поставе

По данным табл. 2 построен график зависимости критерия оптимизации М для разных досок постава от расстояния(перпендикуляра), проведенного от продольной оси бревна наружных пластей досок (рис. 2).

Для толстых досок (рис. 2) критерий М имеет минимальное значение, в4–7 раз меньше, чем для щепы. Другими словами, центральную зону пиловочного бревна выгоднее перерабатывать на пиломатериалы, а не на щепу, с точки зрения энергозатрат и выручки, получаемой от ее реализации. По мере удаления досок от оси бревна значение критерия М увеличивается, а для крайних боковых досок и вовсе превышает тот же критерий для щепы. То есть выработка крайних боковых досок по приведенным схемам раскроя бревен становится нецелесообразна, так как экономический эффект от их производства и продажи ниже того же эффекта, получаемого от рубки этих досок на щепу и реализации ее по рыночным ценам.

Выводы

1. Удельные затраты электроэнергии на выпиловку и дальнейшую обработку разных досок постава не одинаковы и во много раз превышают те же затраты на производство технологической щепы. Наибольшая разница наблюдается для крайних боковых досок (более чем в 10 раз).

2. С учетом выручки от реализации готовой продукции, при одновременной выпиловке (одним поставом) длинномерных и укороченных тонких досок, эффективность производства последних может оказаться ниже, чем производство щепы (см. рис. 2). Расположение предела зоны эффективной выпиловки тонких пиломатериалов —охвата бревна поставом зависит от конкретного соотношения цен на пиломатериалы и щепу и конкретных условий их производства.

3. По причине влияния большого количества факторов в расчетах не учтены энергозатраты на сушку пиломатериалов, что дополнительно повышает удельный расход электроэнергии на выработку тонких укороченных досок и снижает экономический эффект их производства в сравнении с производством щепы.

4. Следует также заметить, что в случае отказа от выпиловки и дальнейшей обработки крайних боковых досок постава, кроме экономии электроэнергии, еще и уменьшается выход опилок, а равно увеличивается выход более дорогостоящего продукта—технологической щепы.

Литература

1. Gopalakrishnan B. Establishing baseline electrical energy consumption in wood processing sawmills for lean energy initiatives: a model based on energy analysis and diagnostics // Energy engineering, 2012. Vol. 109 (5). P. 40-80.

2. Quesada-Pineda H., Wiedenbeck J., Bond B. Analysis of electricity consumption: a study in the wood products industry // Energy Efficiency, 2016. Vol. 9 (5). P. 1193-1206.

3. Алексин М.В., Синев В.С. Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесная промышленность, 1982. 216 с.

4. Агеев С.П. Многокритериальная оптимизация объемного выхода с учетом энергетического фактора // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. № 42. С. 35-37.

5. Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. Оптимизация раскроев на сортименты и пиломатериалы в условиях лесосеки // Лесной вестник. 2008. № 6. С. 125-129.

6. Ефимов Ю.В. Оценка эффективности лесопиления в условиях лесосеки по критерию удельной энергоемкости // Отраслевые аспекты технических наук. 2012. № 12. С. 67-70.

7. Голяков А. Д., Ладухин Д.А. Критерий эффективности использования энергозатрат на производство пиломатериалов разных размеров // Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения: материалы науч. конф. профес.-препод. сост. науч. сотрудников и аспирантов С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова (Архангельск, 25 марта 2015 г.). Архангельск, 2015. С. 36-39.

8. Ладухин Д.А., Голяков А.Д. Аналитический расчет площадей пропилов при определении коэффициентов полезного пиления бревен // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-ета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 1 (33). С. 69-77.

9. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2004. 308 с.

10. Глебов И.Т. Расчет режимов резания древесины. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 155 с.

11. Голяков А.Д., Ладухин Д.А. К вопросу об оптимизации поставов по энергозатратам // Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения: материалы науч. конф. профес.-преп.сост., науч. сотрудников и аспирантов С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова (Архангельск, 21-25 марта 2016 г.). Архангельск, 2016. С. 41-45.

12. Ладухин Д.А., Голяков А.Д. Критерий энергоэффективности перемещения досок при их торцевании и сортировке на установках проходного типа // Новое слово в науке и практике: сб. ст. по материалам Vмеждунар. науч.-практической конф. 2017. № 3 (5). Уфа, 2017. С. 29-34.

13.Рушнов Н.П., Линцман Э.П., Пряхин Е.Н. Рубительные машины. М.: Лесная промышленность, 1985. 208 с.

14.Гончаров В.Н., Гаузе А.А., Каменев А.Ф. Рубительные машины. Л.: ЛТА, 1978. 88 с.

15. Вальщиков Н.М.Рубительные машины. Л.: Машиностроение, 1970. 286 с.

References

1. Gopalakrishnan B. Establishing baseline electrical energy consumption in wood processing sawmills for lean energy initiatives: a model based on energy analysis and diagnostics // Energy engineering, 2012. Vol. 109 (5). P. 40-80.

2. Quesada-Pineda H., Wiedenbeck J., Bond B. Analysis of electricity consumption: a study in the wood products industry // Energy Efficiency, 2016. Vol. 9 (5). P. 1193-1206.

3. Aleksin M.V., Sinev V.S.Energy saving in the forestry and woodworking industry. M.: Lesnaya promyshlennost', 1982. 216 p.

4. Ageev S.P. Multi-criteria optimization of the volume yield with due regard to the energy factor // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2015. № 42. P. 35-37.

5. Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. Optimization of cutting patterns for wood assortment and industrial wood on the logging site // Forestry Bulletin. 2008. № 6. P. 125-129.

6. Efimov Yu.V. Efficiency evaluation of sawmilling on the logging site by the criteria of energy intensity // Otraslevye aspekty tekhnicheskih nauk. 2012. № 12. P. 67-70.

7. Golyakov A. D., Laduhin D.A. The efficiency criterion of energy use for the production of different sizes lumber // Razvitie Severo-Arkticheskogo regiona: problemy i resheniya: materialy nauch. konf. profes.-prepod. sost. nauch. sotrudnikov i aspirantov S(A)FU im. M.V. Lomonosova (Arhangel'sk, 25 marta 2015 g.). Arhangel'sk, 2015. P. 36-39.

8. Laduhin D.A., Golyakov A.D. Analytical calculation of saw kerfs squares when determining of useful sawing coefficients of sawlogs // Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. «Forest. Ecology. Nature management». 2017. № 1 (33). P. 69-77.

9. Lyubchenko V.I. Cutting of wood and wood materials. M.: Mosk. gos. un-t lesa, 2004. 308 p.

10. Glebov I.T.Calculation of modes of cutting wood. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2005. 155 p.

11. Golyakov A.D., Laduhin D.A. To a question of optimization of cutting plan on energy consumption // RazvitieSevero-Arkticheskogoregiona: problemyiresheniya: materialynauch. konf. profes.-prep.sost., nauch. sotrudnikoviaspirantov S(A)FU im. M.V. Lomonosova (Arhangel'sk, 21-25 marta 2016 g.). Arhangel'sk, 2016. P. 41-45.

12. Laduhin D.A., Golyakov A.D. Energy efficiency of moving boards criterion at their trimming and sorting on equipment of through type // Novoeslovo v naukeipraktike: sb. st.pomaterialam V mezhdunar. nauch.-prakticheskojkonf. 2017. № 3 (5). Ufa, 2017. P. 29-34.

13. Rushnov N.P., Lincman E.P., Pryahin E.N.Chipping machines. M.: Lesnayapromyshlennost', 1985. 208 p.

14. Goncharov V.N., Gauze A.A., Kamenev A.F.Chipping machines. L.: LTA, 1978. 88 p.

15. Val'shchikov N.M.Chipping machines. L.: Mashinostroenie, 1970. 286 p.