

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.093:047

DOI: 10.53374/1993-0135-2025-3-76-80

Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 3. С. 76–80

ПРОЦЕССЫ НАКОПЛЕНИЯ ШТАБЕЛЕЙ ПЕРЕД СУШИЛЬНЫМИ ТУННЕЛЯМИ В УСЛОВИЯХ КРУПНО-ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

В. В. Огурцов, А. А. Орлов, Д. В. Дук

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: vogurtsov@mail.ru

Аннотация. В настоящее время задача синхронизации процессов распиловки брёвен и сушки пиломатериалов усложняется возрастающим количеством одновременно вырабатываемых толщин досок и применением сушильных камер непрерывного действия. Для установления общих закономерностей синхронизации процессов использованы выражения для вероятности полной загрузки сушильных туннелей, ёмкости накопителя штабелей и времени ожидания штабелей в накопителе, полученные в предыдущей работе авторов. Рассмотрены вопросы синхронизации процессов распиловки брёвен и сушки пиломатериалов в условиях крупно-поточного лесопиления. В результате описан механизм взаимосвязей полной загрузки туннелей с количеством штабелей в накопителе. Получены зависимости ёмкости накопителя штабелей и времени ожидания штабелей в накопителе от ёмкости туннелей. Доказано, что для синхронной работы лесопильного и сушильного цехов сушильные туннели должны обязательно дополняться камерами периодического действия.

Ключевые слова: распиловка, пиломатериал, штабель, накопитель, синхронизация, туннель, сушка.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 3, P. 76–80

STACK ACCUMULATION PROCESSES BEFORE DRYING TUNNELS IN LARGE-FLOW PRODUCTION OF SAWN TIMBER

V. V. Ogurtsov, A. A. Orlov, D. V. Duk

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: vogurtsov@mail.ru

Annotation. At present, the task of synchronizing the processes of sawing logs and drying sawn timber is complicated by the increasing number of simultaneously produced board thicknesses and the use of continuous drying chambers. To establish general synchronization patterns, expressions for the probability of full loading of drying tunnels, the capacity of the stack storage unit, and the waiting time of stacks in the storage unit, obtained in the authors' previous work, were used. The issues of synchronization of log sawing and lumber drying processes under conditions of large-flow sawmilling are considered. As a result, the mechanism of interrelations of full tunnel loading with the number of stacks in the storage unit is described. Dependences of the stack storage unit capacity and the waiting time of stacks in the storage unit on the tunnel capacity are obtained. It is proven that for synchronous operation of the sawmill and drying shops, drying tunnels must be supplemented with periodic chambers.

Keywords: sawing, lumber, stack, storage, synchronization, tunnel, drying.

ВВЕДЕНИЕ

При создании производственных процессов крупных лесопильных предприятий со штабельным обращением пиломатериалов решается задача синхронизация последовательно расположенных линий путём организации межлинейных буферных накопителей [1–6]. В настоящее время проблема выбора оптимального объёма накопителя штабелей сырых пиломате-

риалов перед сушильными камерами обостряется в связи с возрастающим количеством толщин досок, вырабатываемых за технологический период, и более широким использованием сушильных камер непрерывного действия. Рост количества толщин досок обуславливается замещением крупных потребителей пиломатериалов более мелкими, а также широким распространением в лесопилении бревнопильного

оборудования с гибкими поставками, когда для каждого бревна автоматически устанавливается оптимальный постав в соответствии с его формой и размерами. Такая посортиментная оптимизация способствует увеличению количества толщин досок в поставе [7–9].

Для установления общих закономерностей заполнения накопителя и туннелей штабелями в работе авторов [4] система «накопитель штабелей – сушильные туннели» представлена как мультиканальная система массового обслуживания с ожиданием. Получены выражения для вероятности полной загрузки сушильных туннелей (коэффициента полезного использования туннелей), ёмкости накопителя штабелей и времени ожидания штабелей в накопителе. Данная статья является продолжением указанных исследований. В ней рассматриваются вопросы синхронизации процессов распиловки брёвен и сушки пиломатериалов в условиях крупно-поточного лесопиления.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для установления общих закономерностей синхронизации процессов раскря брёвен и сушки пиломатериалов проведены исследования процесса накопления сушильных штабелей и их загрузки в туннели для лесопильного производства с крупно-поточной технологией и следующими актуальными усреднёнными характеристиками [4; 7; 18–20]:

$Q_{\text{сут}}^{\text{пм}} = 1000 \text{ м}^3$; $\Delta_{\text{тол}}^1 = 0,3$; $K_{\text{тол}}^1 = 1$; 2 ; $K_{\text{тол}}^2 = 1$; 2 ; $\tau_{\text{суш}}^1 = 72 \text{ час}$; $\tau_{\text{суш}}^2 = 96 \text{ час}$; $H_{\text{шт}} * B_{\text{шт}} * L_{\text{шт}} = 2 * 5 * 6,2 \text{ м}$; $K_{\text{шт}}^1 = 0,4$; $K_{\text{шт}}^2 = 0,6$; $c = 4$ (для группы тонких досок); $c = 8$ (для группы толстых досок).

Определены: вероятность P_0 того, что в системе нет штабелей; вероятность $P_{\text{пз}}$ полной загрузки туннелей; среднее количество штабелей L_q и среднее время ожидания W_q в накопителе для группы тонких и группы толстых пиломатериалов. Использовались выражения [10–18], полученные и описанные в предыдущей работе авторов [4]:

$$P_0 = \left(\sum_{j=0}^{c-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^c}{C! \left(1 - \frac{\rho}{C}\right)} \right)^{-1};$$

$$P_{\text{пз}} = \frac{\rho^c}{C! \left(1 - \frac{\rho}{C}\right)} P_0;$$

$$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(C-1)!(C-\rho)^2} P_0;$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda};$$

$$\lambda = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{пм}} \Delta_{\text{тол}}^j}{K_{\text{тол}}^j H_{\text{шт}} B_{\text{шт}} L_{\text{шт}} K_{\text{шт}}^j};$$

$$\mu = \frac{24 E_{\text{тон}}}{\tau_{\text{суш}}^j};$$

где $Q_{\text{сут}}^{\text{пм}}$ – объём пиломатериалов, м^3 в сутки; $\Delta_{\text{тол}}^j$ – доля пиломатериалов J -й группы толщин: тонких ($j = 1$) или толстых ($j = 2$); $K_{\text{тол}}^j$ – количество толщин J -й группы толщин; $H_{\text{шт}} B_{\text{шт}} L_{\text{шт}}$ – габаритные размеры сушильного штабеля, м ; $K_{\text{шт}}^j$ – коэффициент объёмного заполнения штабеля пиломатериалами j -ой толщины; $E_{\text{тон}}$ – ёмкость туннеля, количество штабелей; $\tau_{\text{суш}}^j$ – время сушки пиломатериалов j -й толщины, час; $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ – коэффициент загрузки первой позиции туннеля (трафик интенсивность); λ – среднее число штабелей, поступающих в систему в сутки; μ – среднее число штабелей, прошедших через первую позицию одного туннеля в сутки; c – количество туннелей.

Результаты расчётов представлены в табл. 1 и на рис. 1, 2.

По табл. 1 видно, что каждой строке с соответствующей ёмкостью туннеля соответствует два значения количества штабелей L_q в накопителе: для тонких и толстых пиломатериалов. В дальнейшем учитываются их общее количество. Вероятности P_0 отсутствия в системе штабелей (нет штабелей в накопителе и есть свободные для загрузки места во всех туннелях) также складываются. Вероятности $P_{\text{пз}}$ полной загрузки туннелей учитываются для туннелей для тонких и толстых пиломатериалов по отдельности. Из двух значений времени ожидания загрузки W_q выбирается наибольшее.

Также по табл. 1 видно, что в каждой её строке описывается, казалось бы, противоречивая ситуация – при вероятности полной загрузки туннелей меньше 100 % создаётся очередь штабелей в накопителе. Дело в том, что при детерминированном представлении процесса загрузки туннелей такая ситуация в принципе невозможна, поскольку выравнивание производительностей лесопильного и сушильного цехов теоретически обеспечивает полную загрузку туннелей и отсутствие штабелей в накопителе.

При вероятностном рассмотрении синхронизации процессов раскря брёвен и сушки пиломатериалов возникают ситуации, когда в сушильных туннелях есть свободные места и в накопителе нет соответственных штабелей. Или, когда все туннели заняты и в накопителе есть «очередь» штабелей. То и другое – вполне естественно. Но тогда в среднем получается, что туннели с определённой вероятностью могут быть недогружены при существующей также с определённой вероятностью очереди штабелей в накопителе. Если для решения проблемы низкой загруженности туннелей снижать их производительность путём уменьшения ёмкости туннелей, например, с 12 до 10 штабелей, что эквивалентно повышению производительности лесопильного цеха с 1000 до 1200 м^3 в сутки, то повышается вероятность полной загрузки туннелей с 43,00–64,31 % (строки 3, 7) до 78, 74–89,14 % (строки 1, 5). При этом очередь штабелей в накопителе вырастает с 4–8 до 23–44. То есть, не удастся добиться полной загрузки туннелей даже ценой резкого увеличения ёмкости накопителя. Можно предполо-

жить, что решение этой проблемы в рамках рассматриваемой системы «накопитель штабелей – сушильные туннели» невозможно в принципе и поэтому следует вводить дополнительно сушильные камеры периодического действия. Ниже эта проблема рассматривается более подробно в общем виде.

По рис. 1 видно, что при данной производительности лесопильного производства и времени сушки пиломатериалов количество штабелей в накопителе в стационарном режиме зависит от количества толщин досок в поставах и от ёмкости туннелей. Причём, характер этих зависимостей имеет два явно выраженных участка. При переходе от 13 штабелей в туннеле к 11 штабелям заполнение накопителя штабелями нарастает незначительно: от 2 до 7 штабелей при

2-толщинных поставах и примерно в два раз интенсивнее – при 4-толщинных поставах: от 6 до 14 штабелей. При переходе от 11 штабелей в туннеле к 10 в накопителе образуется «очередь» соответственно в 23 и 44 штабеля. Механизм полученной закономерности состоит в том, что при уменьшении ёмкости туннеля $E_{\text{тон}}$ снижается производительность сушильного производства (выражение (20) [4]), увеличивается трафик интенсивность ρ (выражение (3) [4]), что вызывает увеличение количества штабелей в накопителе по экспоненциальному закону. Следовательно, возможности повышения степени загрузки туннелей путём снижения их ёмкости весьма ограничены угрозой лавинообразного нарастания штабелей в накопителе.

Таблица 1

Операционные характеристики системы «накопитель штабелей – сушильные туннели» для крупно-поточного производства

Ёмкость туннеля	Общее количество туннелей	Количество туннелей для толщин досок: тонких; толстых	Количество толщин досок данной группы толщин	λ	μ	ρ	$P_0, \%$	$P_{\text{ПЗ}}, \%$	$L_q, \text{шт.}$	$W_q, \text{час}$
10	12	4	1	12	3,33	3,6	1,13	78,74	7	14
		8	1	19	2,5	7,6	0,02	84,41	16	20
11	12	4	1	12	3,67	3,27	2,29	59,64	3	5
		8	1	19	2,75	6,91	0,07	63,53	4	5
12	12	4	1	12	4	3	3,77	50,94	2	2,5
		8	1	19	3	6,3	0,14	43,00	2	2
13	12	4	1	12	4,33	2,77	5,37	42,86	1	2
		8	1	19	3,25	5,85	0,26	32,91	1	1
10	12	2*2	2	6	3,33	1,8	5,26	85,26	8*2	31
		4*2	2	9,4	2,5	3,76	0,64	89,14	14*2	36
11	12	2*2	2	6	3,67	1,64	9,67	71,11	3*2	11,4
		4*2	2	9,4	2,75	3,42	1,75	68,93	4*2	10
12	12	2*26	2	6	4	1,5	14,29	64,31	2*2	7,7
		4*2	2	9,4	3	3,1	3,2	59,64	2*2	5
13	12	2*2	2	6	4,33	1,39	18,48	57,64	2*2	5,4
		4*2	2	9,4	3,25	2,89	3,9	46,00	1*2	1

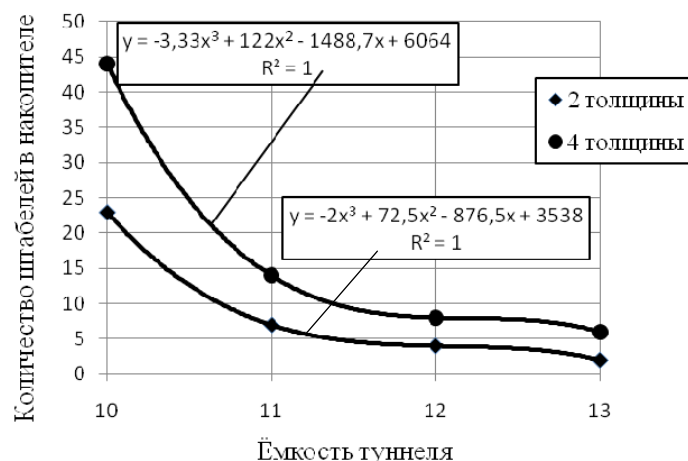


Рис. 1. Зависимость количества штабелей в накопителе от ёмкости туннеля при количестве толщин досок в поставе 2 и 4.

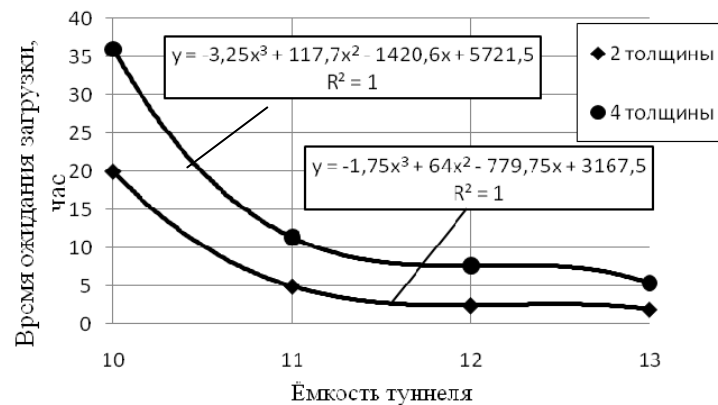


Рис. 2. Зависимость времени ожидания штабелей в накопителе от ёмкости туннеля при количестве толщин досок в поставке 2 и 4.

По рис. 2 видно, что характер зависимости времени ожидания штабелей в накопителе от ёмкости туннеля аналогичен характеру вышерассмотренной зависимости количества штабелей в накопителе от ёмкости туннеля. То есть, уменьшение ёмкости туннелей для повышения их загруженности приводит к синхронному повышению количества штабелей в накопителе и времени их нахождения в нём. Поэтому при оптимизации объёма накопителя следует вводить ограничения по времени «ожидания» с тем, чтобы не прибегать к антисептированию сырых пиломатериалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены зависимости ёмкости накопителя штабелей и времени ожидания штабелей в накопителе от ёмкости туннелей для условий лесопильного производства с массовой крупно-поточной технологией.
2. Описан механизм взаимозависимости полной загрузки туннелей с количеством штабелей в накопителе. Для обеспечения полной загрузки туннелей необходимо уменьшать их ёмкость, что вызывает увеличение количества штабелей в накопителе по экспоненциальному закону. Следовательно, возможности повышения степени загрузки туннелей путём снижения их ёмкости весьма ограничены угрозой лавинообразного нарастания штабелей в накопителе.
3. Не удаётся добиться полной загрузки туннелей даже ценой чрезмерного увеличения ёмкости накопителя. Решение этой проблемы в рамках рассматриваемой системы «накопитель штабелей – сушильные туннели» невозможно в принципе.
4. Для синхронной работы лесопильного и сушильного цехов сушильные туннели должны обязательно дополняться камерами периодического действия.
5. Характер зависимости времени ожидания штабелей в накопителе от ёмкости туннеля аналогичен характеру зависимости количества штабелей в накопителе от ёмкости туннеля. Уменьшение ёмкости туннелей для повышения их загруженности приводит к синхронному повышению количества штабелей в накопителе и времени их нахождения в нём. Поэтому при оптимизации объёма накопителя следует вводить

ограничения по времени «ожидания» с тем, чтобы не прибегать к антисептированию сырых пиломатериалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Огурцов В. В. Теория брусо-развальной распиловки брёвен : монография. Красноярск : СибГТУ, 2011. 230 с.
2. Турушев В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов. М. : Лесная промышленность, 1975. 208 с.
3. Калитеевский Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. 2-е изд., испр. и доп. СПб. : ПРОФИКС, 2008. 496 с.
4. Огурцов В. В., Орлов А. А., Дук Д. В. Идентификация проблемы синхронизации процессов раскря брёвен и сушки пиломатериалов // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 2. С. 70–76.
5. Фергин В. Р. Развитие теории раскря пиловочного сырья // Лесн. журн. (Изв. высш. учеб. заведений) 2018. № 4. С. 107–117.
6. Калитеевский Р. Е., Артеменко А. М., Тамби А. А. Информационные технологии в лесопилении. СПб. : Профи, 2010. 191 с.
7. Каргина Е. В. Повышение эффективности массового крупно-поточного лесопиления путём управления дробностью сортировки брёвен по толщине : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2024. 200 с.
8. Каргина Е. В., Матвеева И. С., Огурцов В. В. Теоретические основы расчёта поставок для распиловки брёвен с пороками формы // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 141–145.
9. Агапов А. И. Оптимизация раскря пиловочника крупных размеров : монография. Киров : Вятский государственный университет, 2021. 407 с.
10. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 3. М. : Мир, 1973. 501 с.
11. Таха Х. Введение в исследование операций. Т. 2. М. : Мир, 1985. 496 с.
12. Трухан А. А., Кудряшев Г. С. Теория вероятностей в инженерных приложениях. Иркутск : ООО «Форвард», 2009. 364 с.
13. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М. : Машиностроение, 1979. 432 с.

14. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. М. : Наука, 1988. 480 с.

15. Новиков Д. А. Сетевые структуры и организационные системы. М. : ИПУ РАН, 2003. 102 с.

16. Оре О. Теория графов. М. : Наука, 1968. 352 с.

17. Введение в общие цепи Маркова : учебно-методическое пособие / А. В. Зорин, В. А. Зорин, Е. В. Пройдакова, М. А. Федоткин. Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2013. 51 с.

18. Makkonen M. *Renewing the sawmill industry: studies on innovation, customer value and digitalization*. Academic Dissertation. Helsinki, Finland, University of Helsinki, 2019. 65 p.

19. Johansson J. Mechanical processing for improved products made from Swedish hardwood // *Acta Wexionensia* 2008, vol. 157, p. 58.

20. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

REFERENCES

1. Ogurcov V. V. *Teoriya bruso-razval'noj raspilovki bryoven : monografiya*. Krasnoyarsk : SibGTU, 2011. 230 s.

2. Turushev V. G. *Tekhnologicheskie osnovy avtomatizirovannogo proizvodstva pilomaterialov*. M. : Lesnaya promyshlennost', 1975. 208 s.

3. Kaliteevskij R. E. *Lesopilenie v XXI veke. Tekhnologiya, oborudovanie, menedzhment*. Izdanie второе, исправленное и дополненное. SPb. : PROFIKS, 2008. 496 s.

4. Ogurcov V. V., Orlov A. A., Duk D. V. Identifikatsiya problemy sinhronizatsii processov raskroya bryoven i sushki pilomaterialov // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2025. T. XLIII, № 2. С. 70–76.

5. Fergin V. R. Razvitie teorii raskroya pilovochnogo syr'ya // *Lesn. zhurn. (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij)* 2018. № 4. S. 107–117.

6. Kaliteevskij R. E., Artemenko A. M., Tambi A. A. *Informacionnye tekhnologii v lesopilenii*. Sankt-Peterburg : Profi, 2010. 191 s.

7. Kargina E. V. *Povyshenie effektivnosti massovogo krupno-potochnogo lesopileniya putyom upravleniya*

drobnost'yu sortirovki bryoven po tolshchine : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Krasnoyarsk, 2024. 200 s.

8. Kargina E. V., Matveeva I. S., Ogurcov V. V. *Teoreticheskie osnovy raschyota postavov dlya raspilovki bryoven s porokami formy* // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2011. T. 28, № 1-2. S. 141–145.

9. Agapov A. I. *Optimizatsiya raskroya pilovochnika krupnyh razmerov : monografiya*. Kirov : Vyatskij gosudarstvennyj universitet, 2021. 407 s.

10. Vagner G. *Osnovy issledovaniya operacij*. T. 3. M. : Mir, 1973. 501 s.

11. Taha H. *Vvedenie v issledovanie operacij*. T. 2. M. : Mir, 1985. 496 s.

12. Truhan A. A., Kudryashev G. S. *Teoriya veroyatnostej v inzhenernyh prilozheniyah*. Irkutsk : OOO "Forward", 2009. 364 s.

13. Klejnrok L. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya*. M. : Mashinostroenie, 1979. 432 s.

14. Ventcel' E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya veroyatnostej i eyo inzhenernye prilozheniya*. M. : Nauka, 1988. 480 s.

15. Novikov D. A. *Setevye struktury i organizacionnye sistemy*. M. : IPU RAN, 2003. 102 s.

16. Ore O. *Teoriya grafov*. M. : Nauka, 1968. 352 s.

17. *Vvedenie v obshchie cepi Markova : uchebno-metodicheskoe posobie* / A. V. Zorin., V. A. Zorin, E. V. Projdakova, M. A. Fedotkin. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskij gosuniversitet, 2013. 51 s.

18. Makkonen M. *Renewing the sawmill industry: studies on innovation, customer value and digitalization*. Academic Dissertation. Helsinki, Finland, University of Helsinki, 2019. 65 p.

19. Johansson J. Mechanical processing for improved products made from Swedish hardwood // *Acta Wexionensia* 2008, vol. 157, p. 58.

20. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

© Огурцов В. В., Орлов А. А., Дук Д. В., 2025