

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ ДРЕВЕСИНЫ И ИХ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ

кандидат технических наук, доцент **А.П. Мохирев**

кандидат технических наук, доцент **М.М. Герасимова**

студент магистратуры **М.О. Позднякова**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика  
М.Ф. Решетнева», Лесосибирский филиал, г. Лесосибирск, Российская Федерация

Исследование представляет собой анализ результатов, полученных авторами в ходе решения задачи поиска оптимального варианта транспортировки древесины от пункта заготовки к пункту потребления. Рассмотрены основные показатели определения эффективности логистической цепочки, такие как производительность, трудозатраты, себестоимость. Подробно рассмотрены способы определения производительности применяемых машин с учетом сезонности: рассмотрено влияние метеорологических условий, смена типов и характеристик используемых путей транспортировки. Определены методы расчета средневзвешенной производительности машин. На основании статистических данных предприятий Красноярского края проведены расчеты производительности машин при движении по разным типам дорог. Рассчитана динамика этих показателей в зависимости от сезонности. Проведены расчеты трудозатрат на процесс вывозки лесоматериалов в хлыстах и в сортиментах и анализ их сезонных колебаний. Подробно рассмотрена структура себестоимости лесозаготовительного процесса по операциям, а также ее изменение в течение года. Проведен сравнительный анализ величины и структуры затрат на полученную модель оптимальной логистической цепочки и на традиционные модели, применяемые в отечественной практике. Получены значения удельных затрат на кубометр заготавливаемых лесоматериалов для рассчитанной оптимальной логистической модели и традиционных вариантов. Проведено общее сравнение технологий вывозки древесины, применяемых отечественными предприятиями. Для численных расчетов использовались лесозаготовительные участки, расположенные в Красноярском крае и обеспечивающие древесиной одно из крупнейших предприятий лесной отрасли.

**Ключевые слова:** транспортировка древесины, логистика лесозаготовительного процесса, производительность машин, сезонность производства.

## ANALYSIS OF THE COST STRUCTURE OF TIMBER TRANSPORTATION AND THEIR SEASONAL DYNAMICS

PhD (Engineering), Associate Professor **A.P. Mokhirev**

PhD (Engineering), Associate Professor **M.M. Gerasimova**

Master's degree student **M.O. Pozdnyakova**

FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk branch,  
Lesosibirsk, Russian Federation

### Abstract

The study is an analysis of the results obtained by the authors in the course of solving the problem of finding the best option for transporting wood from a harvesting point to a consumption point. The main indicators for determining the effectiveness of the supply chain, such as productivity, labor, cost, have been considered. The methods for determining the productivity of the used machines taking into account seasonality have been considered in detail: the influence of meteorological conditions, the change in the types and characteristics of the used transportation routes are considered. The methods for calculating the weighted average productivity of machines have been

determined. Calculations of the performance when driving on different types of roads have been carried out based on the statistical data of the enterprises of the Krasnoyarsk Territory. The dynamics of these indicators is calculated depending on seasonality. The calculations of labor costs for the process of exporting timber in long-length stems and logs and analysis of their seasonal fluctuations have been made. The structure of the cost of the logging process by operations, as well as its change during the year, has been examined in detail. A comparative analysis of the magnitude and structure of costs for the resulting model of the optimal supply chain and traditional models used in domestic practice has been made. The values of unit costs per cubic meter of harvested timber are obtained for the calculated optimal logistic model and traditional options. A general comparison of timber transportation technologies used by domestic enterprises has been carried out. Logging sites located in the Krasnoyarsk Territory and providing wood with one of the largest enterprises in the forest industry have been used for numerical calculations.

**Keywords:** timber transportation, logistic of the logging process, machine productivity, production seasonality

### Введение

Основные лесные регионы России находятся в зонах климата умеренно континентального (европейская часть), континентального (Урал и Западная Сибирь) и резко-континентального (Восточная Сибирь). Для таких регионов характерны значительные изменения природно-климатических условий в течение года, связанные как с температурными показателями, так и с различными метеорологическими явлениями (осадки, ветра, влажность и т.д.). Такие изменения влекут за собой колебания величины и структуры затрат на лесозаготовительный процесс [4, 7, 15]. Целью настоящего исследования стало выявление динамики величины и структуры себестоимости лесозаготовки в течение года. Полученные результаты помогут скорректировать технологическую цепочку и снизить затраты, возникающие в ходе заготовки и транспортировки леса [11].

Авторами предложено деление года на пять сезонов (периодов) [5]: зимний (I), зимне-весенний (II), весенний (III), летний (IV), осенний (V). Данное деление справедливо для природно-климатических условий Красноярского края, на территории которого проводятся настоящие исследования.

Исследования авторов показывают, что процесс вывозки заготовленных лесоматериалов из лесосеки до пункта потребления (переработки) составляет большую часть себестоимости сырья и становится ключевым фактором в определении доступности лесного участка для промышленного освоения [12], это подтверждается и исследованиями других авторов [2, 3, 13].

### Материалы и методы

Производительность применяемых машин при транспортировке леса целесообразно приводить на кубокилометр [9, 10]. Найти суточную производительность транспортных единиц  $P_{сут}^{тр}$  можно по формуле

$$P_{сут}^{тр} = P_{см} \cdot t, \quad (1)$$

где  $P_{см}$  – производительность машины в час,  $м^3 \cdot км/ч$ ;

$t$  – суточное время работы при транспортировке, ч.

Вывозка древесины с лесных участков производится по дорогам разного назначения (временный лесовозный ус, дорога круглогодичного пользования) и в разные сезоны, в связи с этим производительность машин существенно изменяется [1, 14]. Для упрощения решения численного примера в данных условиях используем средневзвешенные показатели.

С учетом условий движения по разным типам дорог имеет смысл ввести такой показатель, как средневзвешенная производительность одной машины –  $P_{сред.см}$ .

Средневзвешенную производительность одной машины  $P_{сред.см}$  при движении по разным типам дорог можно найти по формуле

$$P_{сред.сут} = \frac{P_{сут(ВД)} + P_{сут(ДКП)}}{n}, \quad (2)$$

где  $P_{сут(ВД)}$  – суточная производительность одной машины по дороге временного назначения,  $м^3/сут$ ;

$P_{сут(ДКП)}$  – производительность одной машины по дороге круглогодичного пользования,  $м^3 \cdot км/сут$ ;

$n$  – суммарное количество дорог.

Для проведения расчетов (решения численного примера) в данной работе взяты два участка заготовки древесины (табл. 1) на территории Красноярского края. Условия транспортировки указаны в столбце 2. Статистические данные для проведения исследований получены на предприятиях лесного профиля Красноярского края, таких как ЗАО «Новоенисейский ЛХК», АО «Лесосибирский ЛДК № 1».

Производительность транспортировки древесины по участку маршрута (между вершинами графа) в период  $\theta$  можно найти по формуле

$$P_{\theta}^{тр} = \frac{P_{сут} \cdot p_d}{2 \cdot L}, \quad (3)$$

где  $L$  – расстояние вывозки;

$P_{сут}$  – производительность машин или  $P_{сред.сут}$  – средневзвешенная производительность (зависит от типа дорог),  $м^3/км \cdot сут$  (приведена в табл/ 1);

$p_d$  – количество дней для данного периода.

Трудозатраты – это величина, обратная производительности,  $сут/м^3$ , определяет количество суток на заготовку единицы продукции. Трудозатраты на погрузку и разгрузку древесины в

разные периоды года можно найти по формуле

$$f^{\theta} = 1/P_{сут}^{\theta}, \quad (4)$$

где  $P_{сут}$  – производительность машин,  $м^3/сут$ ,

$\theta$  – период года (I, II, III, IV, V).

Транспортировка древесины автомобильными лесовозами предполагает движение машины в рабочем и порожнем направлении, таким образом, трудозатраты на транспортировку увеличиваются в два раза. Формулу трудозатрат по маршруту вывозки можно представить следующим образом:

$$f = f \cdot L \cdot 2 \quad (5)$$

или

$$f = f_{сред} \cdot L \cdot 2, \quad (6)$$

где  $f$  – трудозатраты машины,  $сут/м^3$ ;

$f_{сред}$  – средневзвешенные трудозатраты,  $сут/м^3$ ;

$L$  – расстояние транспортировки, км.

Таблица 1

Средневзвешенная производительность одной машины  $P_{сред.см}$  при движении по разным типам дорог

№	Маршрут вывозки*	Продукция	Производительность по периодам				
			зимний (I)	зимне-весенний (II)	весенний (III)	летний (IV)	осенний (V)
Лесной участок 1	В-25+К-250=275км	Хлысты	19845	6615	-	17955	-
	В-25+К-110=135км		19845	6615	-	17955	-
	К-180км		28350	9450	-	28350	9450
	В-25+К-250=275км	Сортименты	24255	8100	-	23175	-
	В-25+К-110=135км		24255	8100	-	23175	-
	К-180км		36450	12150	-	36450	12150
Лесной участок 2	В-30+К-250=280км	Хлысты	19845	6615	-	17955	-
	К-95км		28350	9450	-	28350	9450
	Р-589км		-	-	30000	50000	-
	В-30+К-250=280км	Сортименты	24255	8100	-	23175	-
	К-95км		36450	12150	-	36450	12150
	Р-589км		-	-	30000	50000	-

\*Примечание: В – временный лесовозный ус, К – дорога круглогодичного пользования, Р – река.

*Собственные вычисления авторов*

Трудозатраты по периодам для транспортировки древесины с лесосеки до пункта потребления

Операция	Трудозатраты по периодам при 18 ч работы 1 машины				
	зимний (I)	зимне-весенний (II)	весенний (III)	летний (IV)	осенний (V)
Вывозка хлыстов по усам, сут/м <sup>3</sup> ·км	0.00008818	0.0002645	-	0.0001322	-
Вывозка сортиментов по усам, сут/м <sup>3</sup> ·км	0.00008291	0.0002469	-	0.0001010	-
Вывозка хлыстов по ДКП, сут/м <sup>3</sup> ·км	0.00003527	0.0001058	-	0.00003527	0.00010582
Вывозка сортиментов по ДКП, сут/м <sup>3</sup> ·км	0.00002743	0.00008230	-	0.00002743	0.00008230
Транспортировка сортиментов в плотках, сут/м <sup>3</sup> ·км			0.00003333	0.00002000	

*Собственные вычисления авторов*

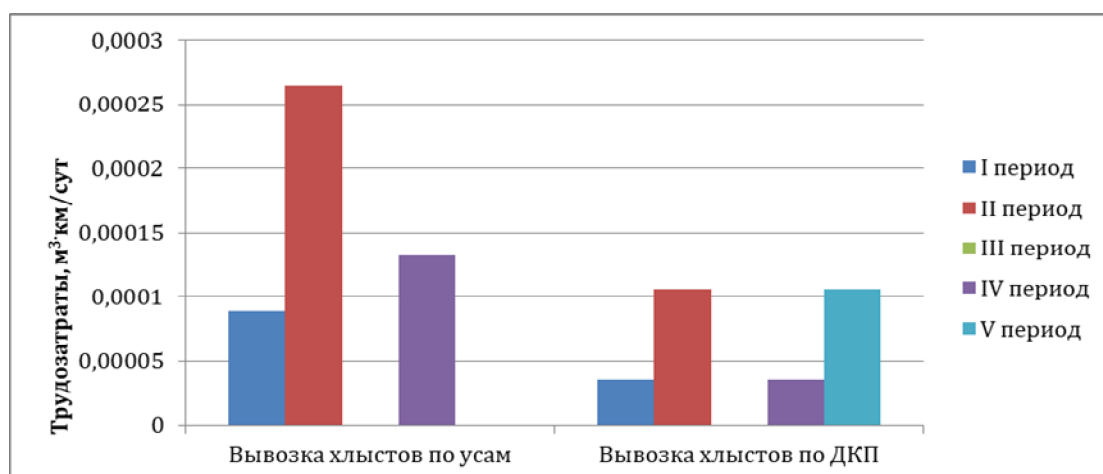


Рис. 1. Трудозатраты на вывозку хлыстов в различные периоды года (собственная разработка авторов)

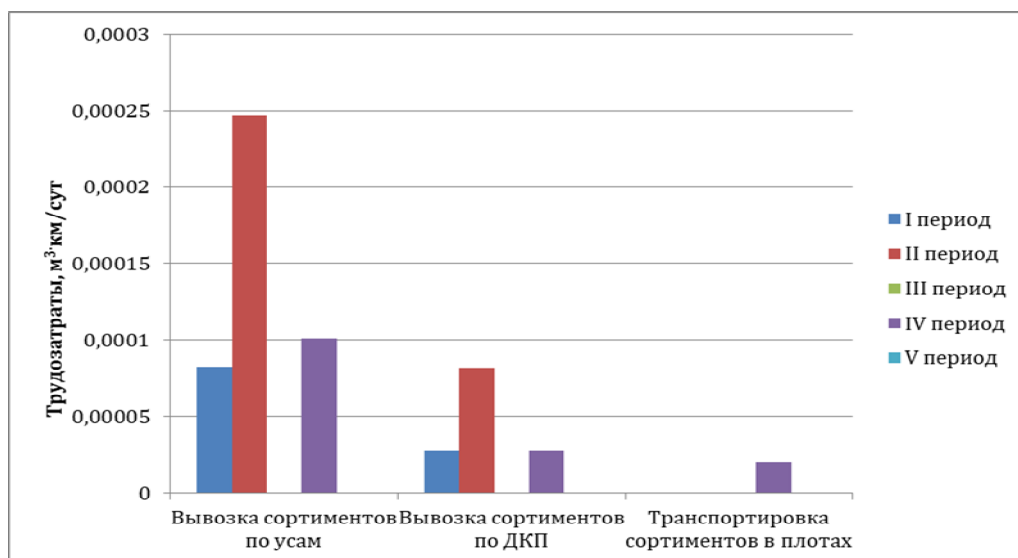


Рис. 2. Трудозатраты на вывозку сортиментов в различные периоды года (собственная разработка авторов)

Постоянные и переменные затраты на выполнение различных операций по периодам

Операция	Затраты по периодам				
	зимний (I)	зимне-весенний (II)	весенний (III)	летний (IV)	осенний (V)
Погрузка хлыстов, руб/м <sup>3</sup>	130.00	130.00	-	130.00	130.00
Погрузка сортиментов, руб/м <sup>3</sup>	130.00	130.00	-	130.00	130.00
Вывозка хлыстов по усам, руб/м <sup>3</sup> ·км	8.00	8.50	-	17.00	-
Вывозка сортиментов по усам, руб/м <sup>3</sup> ·км	6.50	7.00	-	15.00	-
Вывозка хлыстов по дорогам круглогодогового периода, руб/м <sup>3</sup> ·км	6.80	7.30	-	7.30	7.30
Вывозка сортиментов по дорогам круглогодогового периода, руб/м <sup>3</sup> ·км	5.30	6.00	-	6.00	6.00
Разгрузка хлыстов, руб/м <sup>3</sup>	100.00	100.00		100.00	100.00
Разгрузка сортиментов, руб/м <sup>3</sup>	80.00	80.00		80.00	80
Раскряжевка хлыстов на нижнем складе, руб/м <sup>3</sup>	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
Рейдовые и сплотовые работы по формированию плота, руб/м <sup>3</sup>			120.00	95.00	
Транспортировка сортиментов или хлыстов в плотах, руб/м <sup>3</sup> ·км			1	1	
Постоянные затраты на выполнение всего комплекса работ, тыс. руб/сут	16 500.00	16 500.00	16 500.00	16 500.00	16 500.00
Постоянные затраты на хранение древесины на складе, тыс. руб/сут	16 500.00	16 500.00	16 500.00	16 500.00	16 500.00

Собственные вычисления авторов

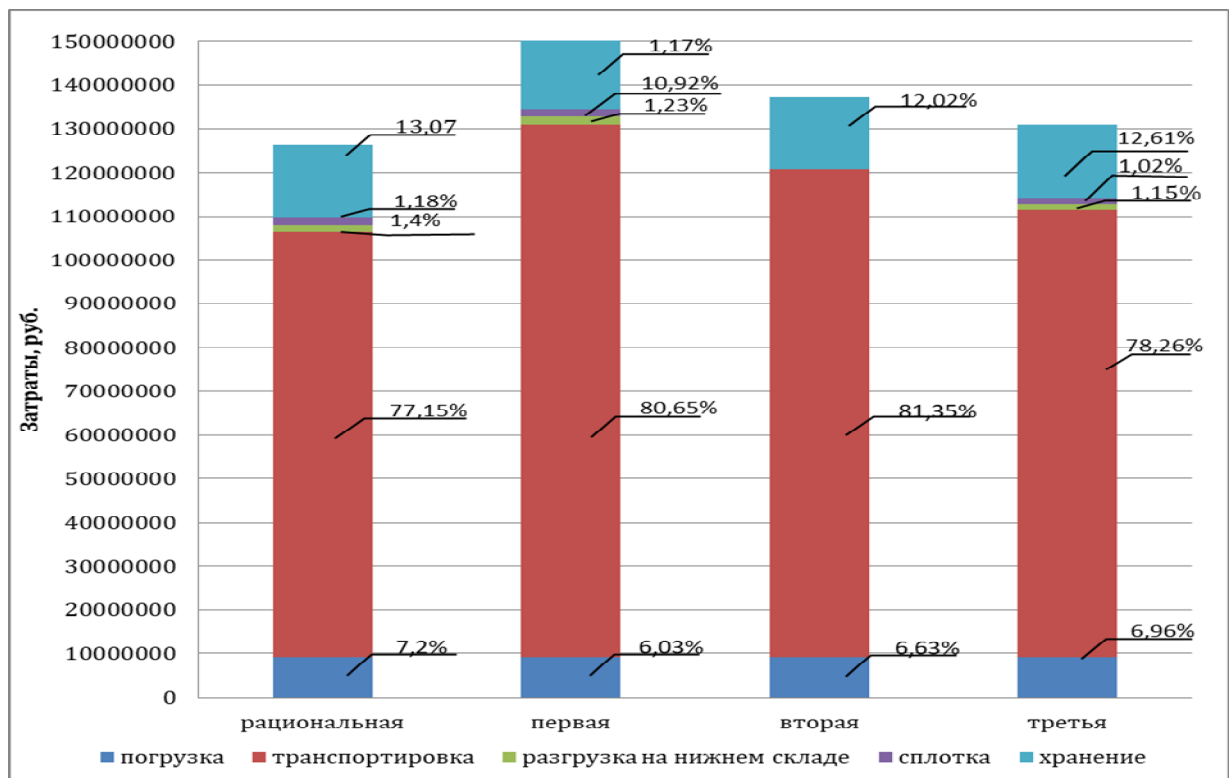


Рис. 3. Сравнение затрат на предложенную технологическую цепочку с традиционными вариантами логистики (собственная разработка авторов)

На основании полученных данных рассчитаны трудозатраты на транспортировку древесины в хлыстах (рис. 1) и в сортиментах (рис. 2).

В ходе производственного процесса возникают переменные  $C$  и постоянные  $Z$  затраты. Постоянные затраты учитываются только при условии хранения древесины между периодами. К постоянным затратам ( $Z$ ), фиксация которых осуществляется при перемещении потока с одного периода на следующий, можно отнести затраты, связанные с амортизационными отчислениями, плановые затраты на техническое обслуживание и ремонт используемой техники, аренду техники, заработную плату при повременной оплате труда рабочих (сторожа на нижнем складе), аренду территории и т. п. Они представлены в табл. 3.

При расчете переменных затрат на дуге, обозначающей транспортировку до потребителя, следует учесть доход, получаемый предприятием от реализации продукции. Цена реализации древесины принята на уровне 3 600,00 рублей – средняя рыночная цена реализации.

Требуется определить технологическую цепочку выполнения операций по первичной обработке и транспортировке заготовленной древесины с двух лесных участков до потребителя, характеризующуюся минимальной стоимостью (как следствие, максимальной прибылью от реализации продукции) и обеспечивающую максимальную комплексную выработку при выполнении всех видов работ, с учетом исходных данных.

Поставленная задача основывается на определении потока минимальной стоимости в рассматриваемой транспортной сети. Для его нахождения будем применять алгоритм Басакера-Гоуэна. Однако для решения поставленной задачи были введены корректировки алгоритма. При прохождении потока по одной из дуг пропускная способность смежных дуг снижается. Тем самым учитывается снижение производительности машин и оборудования, задействованных на разных технологических участках. Методика решения задачи [10] была основана на графоаналитических подходах [6] с использованием инструментов географических информационных систем [8].

Численное решение данной задачи проведено авторами и опубликовано в развернутом

виде [10]. В результате решения полученной задачи сформирована оптимальная схема логистики лесоматериалов от погрузочных работ на верхнем складе до разгрузки на нижнем. В рамках данной работы проведен анализ полученных результатов и их интерпретация для реалий лесозаготовительного предприятия.

### Результаты и обсуждение

Для сравнения показателей и оценки эффективности полученной технологической цепочки осуществлен анализ других вариантов технологических цепочек транспортно-переместительных работ. На территории Красноярского края при похожих условиях наиболее часто применяются следующие варианты:

1. Транспортировка в хлыстах в летний период до нижнего склада с дальнейшим сплавом максимально возможного объема древесины, остальной объем в период заготовки (зимний) автотранспортом до потребителя. В данном случае со второго лесного участка в летний период транспортируется на нижний склад с дальнейшим водным транспортом потребителю объем древесины, равный 18 600 м<sup>3</sup>. Остальная часть объема древесины второго лесного участка (31 400 м<sup>3</sup>) в зимний период доставляется автотранспортом до потребителя. Весь объем (20 000 м<sup>3</sup>) с первого лесного участка транспортируется в зимний период.

2. Автомобильным транспортом максимально возможный объем сортиментов в зимний период до потребителя, остальной объем – автотранспортом в летний период до потребителя. В данном случае транспортировка всего объема (50 000 м<sup>3</sup>) со второго участка будет доставляться потребителю в зимний период, часть объема (3770 м<sup>3</sup>) с первого участка транспортируется также в зимний период, остальная часть объема (16 230 м<sup>3</sup>) первого лесного участка – в летний период.

3. Автомобильным транспортом максимально возможный объем сортиментов в зимний период до потребителя, остальной объем – в летний период до нижнего склада с дальнейшим сплавом. В данном случае транспортировка всего объема (50 000 м<sup>3</sup>) со второго участка будет доставляться потребителю в зимний период, часть объема (3770 м<sup>3</sup>) с первого участка транспортиру-

ется также в зимний период, остальная часть объема (16 230 м<sup>3</sup>) первого лесного участка – сплавом в летний период.

Сравнение затрат на предложенную рациональную технологическую цепочку и традиционные варианты логистики приведено на диаграмме (рис. 3).

Первым очевидным наблюдением становится то, что удельная величина транспортировки в общем объеме расходов превышает совокупность всех остальных статей затрат. Такое распределение справедливо для всех рассматриваемых логистических цепочек. Основной причиной этому является протяженность расстояний, которые разделяют пункты заготовки и потребления (переработки) леса в условиях Красноярского края. Их величина составляет до 300 км и может состоять из водных путей, дорог временного пользования, магистралей и т. д. Расходы на топливо, содержание и амортизацию транспортных средств, на ремонт дорог растут с каждым километром пути. Это справедливо и для других лесных регионов России: традиционные центры деревопереработки постепенно истощают ближайшие запасы леса и вынужденно увеличивают расстояние вывозки.

Таким образом, наибольший экономический эффект от оптимизации логистики лесоматериалов можно получить, сокращая затраты непосредственно на транспортировку. В этой ситуации есть два пути: сокращение длительности расстояния вывозки и сокращение удельных затрат на вывозку.

Сокращение пути не всегда возможно и в общем случае заключается в минимизации отклонений от прямой, проведенной от пункта заготовки до пункта потребления. Также этот вариант включает в себя мероприятия по выявлению оптимального времени использования кратчайшего пути и планирование максимального объема вывозки в этот период.

Второй вариант – сокращение удельных расходов – является более достижимым и может

включать мероприятия по снижению затрат на строительство и содержание используемых дорог, установку систем контроля расхода топлива на транспорте, поиск альтернативных путей доставки древесины (сплав).

На рис. 4 приведены удельные затраты на вывозку древесины: сравнение предложенной расчетной цепочки логистики с традиционными. В данном исследовании принята цена реализации древесины на уровне 3 600,00 руб. Таким образом, даже оптимальный вариант логистики «съедает» почти 70 % от общей выручки, получаемой от реализации 1 м<sup>3</sup> древесины. Такая картина наиболее наглядно объясняет необходимость оптимизации затрат на заготовку и вывозку леса: в условиях растущих темпов мировой экономики лесная отрасль становится всё менее привлекательной для инвестиций, что, в свою очередь, создает сложности с поиском ресурсов для проведения модернизации производственного процесса.

Рыночная цена на продажу лесоматериалов варьируется в зависимости от региона, однако удельное распределение статей затрат в себестоимости заготовленного лесоматериала остается справедливым в целом для отечественной лесной отрасли.

### Выводы

Данное исследование направлено на иллюстрацию возможностей применения экономико-математических методов для решения производственных задач. В условиях острой необходимости снижения себестоимости сырья в лесозаготовительной отрасли производства выявление альтернативных вариантов логистики, способствующих снижению затрат, и как следствие – повышению рентабельности продукции, является эффективным инструментом и должно быть принято на вооружение промышленными лесопользователями.

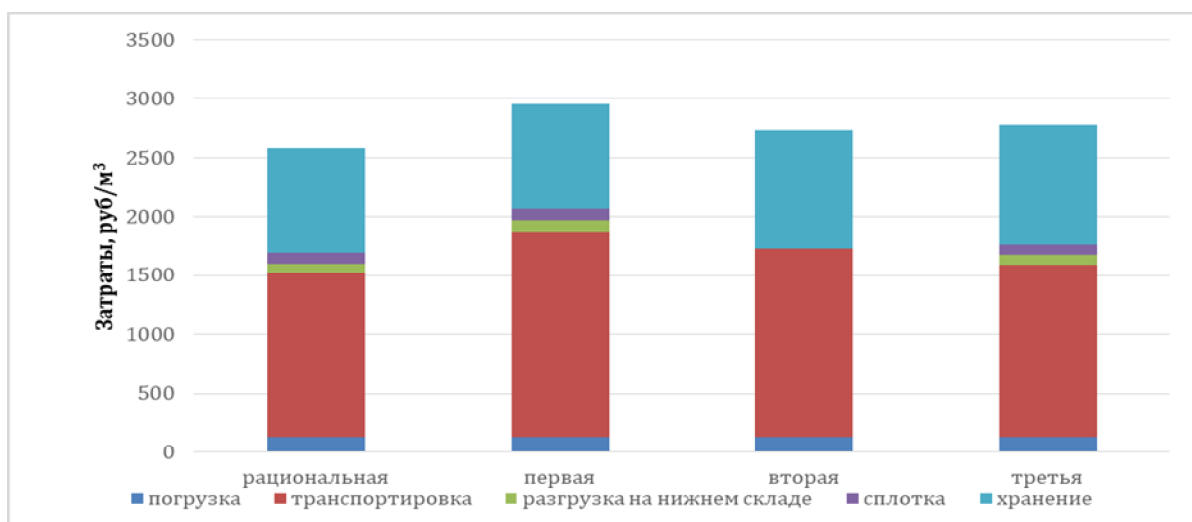


Рис. 4. Удельные затраты на технологическую цепочку (собственная разработка авторов)

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках научного проекта № 20-410-242901 и в рамках проекта «Разработка фундаментальных основ проектирования лесной инфраструктуры как динамически изменяемой системы в условиях деятельности лесозаготовительного производства», № 19-410-240005, поддержанного за счет средств целевого финансирования, предоставленного РФФИ, Правительством Красноярского края и Краевым фондом науки.*

### Библиографический список

1. Decisions and methodology for planning the wood fiber flow in the forest supply chain / D. Carlsson, S. D'Amours, A. Martel, M. Rönnqvist // Recent developments in supply chain management; eds.: R. Koster and W. Delfmann. – Helsinki : University Press, 2008. – P. 11–39.
2. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density / I. Grigorev, E. Khitrov, A. Kalistratov, M. Stepanishcheva // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2014. – P. 339–344.
3. Henningsson, M. Optimization models for forest road upgrade planning / M. Henningsson, J. Karlsson, M. Rönnqvist // Journal of Mathematical Models and Algorithms. – 2007. – № 6 (1). – P. 3–23.
4. Luce, Ch. H. Effectiveness of road ripping in restoring infiltration capacity of forest roads / Ch. H. Luce // Restoration Ecology. – 1997. – Vol. 5. – No. 3. – P. 265–270.
5. Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk territory as a case study) / A. P. Mokhiev, M. O. Pozdnyakova, S. O. Medvedev, V. O. Mammatov // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – No. 3 (16). – P. 313–319. – DOI: 10.5937/jaes16-16908.
6. Rukomoinikov, K. P. Structuring of loading points and main skid road in conditions of existing road network in forest compartment / K. P. Rukomoinikov // Journal of Applied Engineering Science. – 2015. – Vol. 13. – No. 3. – P. 167–174. – DOI: 10.5937/jaes13-8866.
7. Tromborg, E. Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway / E. Tromborg // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2009. – No. 24 (4). – P. 354–366.



8. Velazquez-Marti, B. GIS application to define biomass collection points as sources for linear programming of delivery networks / B. Velazquez-Marti, E. Annevelink // Transactions of the ASABE. – 2009. – № 52 (4). – P. 1069–1078.
9. Богданов, В. М. Инфраструктура, пропускная и провозная способность / В. М. Богданов // ВНИИЖТ – транспорту. Научные проблемы технического развития железнодорожного транспорта: сб. науч. тр. науч.-практ. конференции, посвященной 90-летию ВНИИЖТ. – 2008. – С. 62–65. – Библиогр.: 11 назв.
10. Оптимизация материальных потоков лесозаготовительного предприятия на основе теории графов / М. М. Герасимова, С. О. Медведев, А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников // Логистика и управление цепями поставок. – 2019. – № 6 (95). – С. 50–57. – Библиогр.: 13 назв.
11. Медведев, Н. А. Научные основы размещения лесопромышленных предприятий / Н. А. Медведев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2010. – № 2. – С. 40–45. – Библиогр.: 7 назв.
12. Мохирев, А. П. Оптимизация маршрутов транспортировки древесины с лесосеки с учетом сезонности грузоперевозок / А. П. Мохирев, М. О. Позднякова, Т. С. Гудень // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 4 (40). – С. 132–140. – Библиогр.: 14 назв. – DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-132-140.
13. Полшведкин, Р. В. Оценка доступности и качества лесных ресурсов Удорского района Республики Коми. Методический подход / Р. В. Полшведкин, А. Н. Мариев // Использование геоинформационных систем в управлении природопользованием и охраной окружающей среды в республике Коми : Матер. науч.-практ. конференции. – Сыктывкар, 2006. – URL: <http://www.agiks.ru/data/konf/page13.htm> (дата обращения: 30.03.2020).
14. Пугачев, И. Н. Проблемы провозной способности предприятий грузового автотранспорта и пропускной способности транспортной системы города Хабаровска и Хабаровского края / И. Н. Пугачев, Ю. И. Куликов // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2010. – № 3. – С. 34–44. – Библиогр.: 14 назв.
15. Фетищева, З. И. Совершенствование методического подхода к формированию себестоимости товарной продукции лесозаготовок / З. И. Фетищева // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – № 6. – С. 175–177. – Библиогр.: 6 назв.

### References

1. Carlsson D., D'Amours S., Martel A., Rönnqvist M. Decisions and methodology for planning the wood fiber flow in the forest supply chain. *Recent developments in supply chain management*; eds.: R. Koster and W. Delfmann. Helsinki: University Press, 2008, pp. 11-39.
2. Grigorev I., Khitrov E., Kalistratov A., Stepanishcheva M. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2014, pp. 339-344.
3. Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. (2007) Optimization models for forest road upgrade planning. *Journal of Mathematical Models and Algorithms*, no. 6 (1), pp. 3-23.
4. Luce, Ch.H. (1997) Effectiveness of road ripping in restoring infiltration capacity of forest roads. *Restoration Ecology*, Vol. 5, no. 3, pp. 265-270.
5. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Medvedev S.O., Mammatov V.O. (2018) Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk territory as a case study). *Journal of Applied Engineering Science*, no. 3 (16), pp. 313-319. DOI: 10.5937/jaes16-16908.
6. Rukomoinikov K.P. (2015) Structuring of loading points and main skid road in conditions of existing road network in forest compartment. *Journal of Applied Engineering Science*, Vol. 13, № 3, pp. 167-174. DOI: 10.5937 / jaes13-8866.

7. Tromborg E. (2009) Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, no. 24 (4), pp. 354-366.
8. Velazquez-Marti B., Annevelink E. (2009) GIS application to define biomass collection points as sources for linear programming of delivery networks. *Transactions of the ASABE*, no. 52 (4), pp. 1069-1078.
9. Bogdanov V.M. *Infrastruktura, propusknaya i provoznaya sposobnost'* [Infrastructure, capacity and freight capacity]. *VNIIZHT – transportu. Nauchnye problemy tekhnicheskogo razvitiya zheleznodorozhnogo transporta. Sbornik nauchnykh trudov nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu VNIIZHT* [VNIIZHT – transport. Scientific problems of technical development of railway transport: collection of scientific papers of the scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of VNIIZHT], 2008, pp. 62-65 (in Russian).
10. Gerasimova M.M., Medvedev S.O., Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P. (2019) *Optimizatsiya material'nykh potokov lesozagotovitel'nogo predpriyatiya na osnove teorii grafov* [Optimization of material flows of a logging enterprise based on graph theory]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* [Logistics and supply chain management], no. 6 (95), pp. 50-57 (in Russian).
11. Medvedev N.A. (2010) *Nauchnye osnovy razmeshcheniya lesopromyshlennykh predpriyatii* [Scientific bases of placement of timber enterprises]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow state University of the forest – Lesnoy Vestnik], no. 2, pp. 40-45 (in Russian).
12. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Guden' T.S. (2018) *Optimizatsiya marshrutov transportirovki drevesiny s leseseki s uchetom sezonnosti gruzoperevozok* [Optimization of wood transportation routes from the cutting area taking into account the seasonality of cargo transportation]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [The systems. Methods. Technologies], no. 4 (40), pp. 132-140 (in Russian). DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-132-140.
13. Polshvedkin R.V., Mariev A.N. *Otsenka dostupnosti i kachestva lesnykh resursov Udorskogo rayona Respubliki Komi. Metodicheskii podkhod* [Assessment of the availability and quality of forest resources in the Udorsky district of the Komi Republic. Methodical approach]. *Ispol'zovanie geoinformatsionnykh sistem v upravlenii prirodopol'zovaniem i ohranoy okruzhayushchej sredy v respublike Komi* [Use of geoinformation systems in the management of natural resources and environmental protection in the Republic of Komi], Syktyvkar, 2006 (in Russian).
14. Pugachev I.N., Kulikov Yu.I. (2010) *Problemy provoznoy sposobnosti predpriyatii gruzovogo avtotransporta i propusknoy sposobnosti transportnoy sistemy goroda Khabarovska i Khabarovskogo kraya* [Problems of carrying capacity of cargo transport enterprises and the capacity of the transport system of the city of Khabarovsk and the Khabarovsk territory]. *Gruzovoe i passazhirskoe avtohozyaystvo* [Cargo and passenger automobile economy], no. 3, pp. 34-44 (in Russian).
15. Fetishcheva Z.I. (2011) *Sovershenstvovanie metodicheskogo podkhoda k formirovaniyu u sebestoimosti tovarnoy produktsii lesozagotovok* [Improving the methodological approach to the formation of the cost of commercial logging products]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow state University of the forest – Lesnoy Vestnik], no. 6, pp. 175-177 (in Russian).

### Сведения об авторах

*Мохирев Александр Петрович* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

*Герасимова Марина Михайловна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных и технических систем Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: marina-gerasimov@list.ru.

*Позднякова Мария Олеговна* – студент Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: m\_o\_pozdnyakova@mail.ru.

### **Information about authors**

*Mokhirev Aleksandr Petrovich* – PhD (Engineering), Associate Professor, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

*Gerasimova Marina Mikhailovna* – PhD (Engineering), Associate Professor, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: marina-gerasimov@list.ru.

*Pozdnyakova Maria Olegovna* – Master's degree student, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: m\_o\_pozdnyakova@mail.ru.