

# ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

## TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS

---

УДК 630\*31(043.3)

**Р. О. Короленя, Ю. А. Бедная**

Белорусский государственный технологический университет

### **ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ СОРИМЕНТОВОЗА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Эффективное оперативное управление процессом перевозки заготовленной древесины является очень важной задачей. Ведь во время лесозаготовительной деятельности перевозка древесины может осуществляться в достаточно сложных условиях: различным потребителям древесины, по разным маршрутам работы сортиментовозов, в рамках ограничений по срокам доставки и т. д. Выбор стратегии оперативного управления в таких условиях сложен. Одной из проблем, возникающих при выборе и принятии рациональных решений, считается сложность теоретического определения продолжительности процесса перевозки древесины потребителям, в связи с чем изучение времени движения сортиментовозов является актуальной задачей.

В статье указаны основные факторы, влияющие на время движения сортиментовоза при перевозке заготовленной древесины. Рассмотрены основные недостатки существующих методов, методик и алгоритмов по определению скоростей движения и времени движения сортиментовозов. Дано описание методики проведенных исследований по определению продолжительности движения сортиментовозов на различных маршрутах перевозки древесины. Описана методика проверки выдвинутой авторами гипотезы о том, что среднее время прохождения сортиментовозами 1 км, как случайной величины, подчинено нормальному закону распределения. Приведено сравнение реальных значений времени работы сортиментовозов с данными, полученными в результате исследований. Максимальное отклонение расчетных показателей времени движения от фактических составило до 12%.

**Ключевые слова:** время движения, сортиментовоз, перевозка древесины, маршрут, нормальный закон распределения, гипотеза.

**Для цитирования:** Короленя Р. О., Бедная Ю. А. Проверка гипотезы о законе распределения времени движения сортиментовоза при перевозке древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 126–133. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-15.

**R. O. Korolenia, Yu. A. Bednaya**

Belarusian State Technological University

### **HYPOTHESIS TESTING ON THE DISTRIBUTION LAW OF TRAVEL TIME OF A TIMBER TRUCK DURING TIMBER TRANSPORTATION**

Effective operational management of the harvested timber transportation process is the most important task. When carrying out logging operations, transportation of harvested timber can be carried out in quite complex conditions: different consumers of timber, different routes of timber trucks, within the limits of delivery time constraints, etc. The choice of operational management strategy in such conditions is difficult. One of the problems arising in selecting and making rational decisions is the difficulty

of theoretically determining the duration of timber transportation to consumers. In this regard, the study of the time of movement of log trucks is an urgent task.

The article specifies the main factors influencing the movement time of log trucks when transporting harvested timber. The main drawbacks of the existing methods, techniques and algorithms of determining movement speeds and time of log carrier movement are considered. The methods of the conducted researches for determining the time of movement of assortment trucks on different timber transportation routes are described. The article describes the method of testing the hypothesis proposed by the authors that the average movement time of log trucks as a random variable is subject to the normal distribution law. The comparison of real values of log trucks operation time with the data obtained as a result of the study is given. The maximum deviation of the calculated indicators of movement time from the actual ones was up to 12%.

**Keywords:** travel time, log truck, timber transportation, route, normal distribution law, hypothesis.

**For citation:** Korolenia R. O., Bednaya Yu. A. Hypothesis testing on the distribution law of travel time of a timber truck during timber transportation. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 126–133. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-15 (In Russian).

**Введение.** Заготовка и вывозка древесины занимают одно из центральных мест в деятельности лесозаготовительных предприятий и лесохозяйственных организаций. Этот процесс довольно сложный, так как объект труда сосредоточен на большой территории, а продукт труда лесозаготовителя необходимо доставить в центры промышленной переработки или непосредственного использования на значительные расстояния, иногда по слабоустроенным лесным дорогам, дорогам общего пользования с различными типами покрытия и улицам населенных пунктов.

Рациональный выбор стратегии организации поставок древесины потребителям в таких условиях, особенно с учетом постоянного роста объемов заготовок древесины [1], неосуществим без решения вопросов определения времени транспортного процесса. Поэтому особую важность приобретают вопросы разработки новых подходов к определению продолжительности транспортировки древесины потребителям.

**Основная часть.** На время движения сортировочных вагонов влияют в общем случае различные факторы, основные из которых условно можно разделить на четыре группы: «Автомобиль», «Водитель», «Дорога» и «Общие» [2–12].

*Автомобиль.* Транспортное средство: база, колея, высота центра тяжести, габаритные размеры, сцепной вес. Двигатель: тип двигателя; техническое состояние двигателя; максимальный момент и максимальная мощность двигателя, частота вращения коленчатого вала, при которых они развиваются; приемистость двигателя; топливно-экономические характеристики двигателя; тип трансмиссии; передаточные числа трансмиссии; тип шин; параметры, определяющие сопротивление их качению и уводу;

радиус качения шин. Другие параметры: общий вес транспортного средства; сопротивление воздуха движению; инерционность транспортной единицы; потери энергии во вспомогательных агрегатах двигателя и агрегатах трансмиссии; тормозные свойства автомобиля и двигателя; номинальный (средний) коэффициент сопротивления качению; работоспособность агрегатов при различных режимах движения; параметры подвески [2, 4, 6].

*Водитель.* Зрительное и слуховое, двигательное восприятие обстановки движения; острота и точность реакции; устойчивость внимания; возраст и опыт водителя, его профессиональное мастерство; нервно-психическое состояние; особенности вестибулярного аппарата; темперамент [2].

*Дорога.* Уклоны продольного профиля; протяженности участков с одинаковыми уклонами; количество переломов продольного профиля; радиусы и длины переходных кривых; поперечные уклоны; радиусы и длины кривых в плане; характеристика микропрофиля поверхности дороги [2, 4, 6].

*Общие.* Общий характер движения (населенный пункт или вне, время суток, метеорологические условия); состав движения; интенсивность движения; число пересечений в одном уровне; способ регулирования движения; характер ограничений и запрещений; число регламентированных остановок; наличие помех [2, 4, 6].

Изучением вопроса расчета скорости и времени движения лесовозных транспортных средств занимались многие ученые и специалисты [2–12].

Разработанные методы (графические, графоаналитические, метод приближенного интегрирования уравнения движения и др.), а также

основные республиканские нормы [13] не нашли широкого практического применения в лесозаготовительном производстве.

Как показывают результаты, получаемые по основным из существующих методов, значения времени движения либо имеют ограниченную достоверность, либо сложны и громоздки для использования на практике в силу необходимости проведения значительного объема экспериментально-производственных исследований. Все это и предопределяет малое использование существующих методов и методик в лесозаготовительном производстве.

Кроме того, аналитически и однозначно выделить время движения с учетом факторов всех четырех групп, большинство из которых являются случайными, затруднительно.

Для определения скоростей движения лесовозных транспортных средств и времени их движения профессор В. И. Алябьев и др. указывают на целесообразность использования вероятностных моделей [14].

Ввиду всего вышесказанного, для получения временных характеристик движения сортиментовозов, на наш взгляд, необходимо использовать статистические методы. Именно поэтому в качестве рабочей гипотезы выступает следующая: время движения на маршруте для конкретного вида транспортного средства можно определить, зная среднее время проезда 1 км по заданным маршрутам работы в грузовом и порожнем направлениях, протяженности этих маршрутов, а также учитывая закон распределения времени движения как случайной величины.

Для проверки данной гипотезы были проведены исследования работы сортиментовоза МАЗ-630308 с прицепом МАЗ-83781020, включающие следующие этапы.

**Этап 1.** Проведение предварительной серии эксперимента. Цель – определение необходимого объема выборки для порожнего и грузового направлений.

Определение необходимого объема выборки проводилось по методике, описанной в работе [15].

Количество замеров времени движения определяли по зависимости (1):

$$n = \frac{t^2 \cdot S^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где  $n$  – необходимое количество замеров времени движения;  $t$  – значение критерия Стьюдента при заданном уровне значимости и числе степеней свободы;  $S^2$  – выборочная дисперсия, вычисляемая по предварительно определенным

значениям времени движения;  $\Delta$  – предельное отклонение выборочного среднего значения времени движения от его математического ожидания, мин.

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Результаты предварительного определения времени движения

Номер замера, показатели	Порожнее направление, мин	Грузовое направление, мин
1	1,93	3,25
2	1,08	2,50
3	1,55	2,60
4	1,23	2,60
5	1,39	2,60
6	1,30	2,60
7	0,98	2,64
8	1,19	2,60
9	1,88	2,00
10	2,15	1,90
Средние значения, мин	1,47	2,53
Дисперсия, мин <sup>2</sup>	0,157	0,137
Коэффициент Стьюдента	2,26	2,26
Погрешность	0,10	0,10
Количество опытов	80	70

Объемы выборки были приняты равными 80 значениям времени для каждого из направлений.

**Этап 2.** Получение значений времени движения сортиментовозов на маршрутах работы в порожнем и грузовом направлениях.

Необходимые данные были получены с помощью навигационного оборудования, которое установлено на сортиментовозах предприятия. Для этого проведена выборка фактических данных о времени движения сортиментовозов по различным маршрутам работы в грузовом и порожнем направлениях. Кроме того, изучались маршруты на предмет непредусмотренных технологическим процессом простоев, пробегов и других нерегламентированных действий водителей сортиментовозов. Полученные значения времени проезда 1 км пути в порожнем и грузовом направлениях представлены в табл. 2.

Над всеми полученными значениями (табл. 2) была проведена проверка и исключение грубых ошибок.

Таблица 2  
Значения времени проезда 1 км, мин

Порожнее направление				
2,6	2,1	1,9	1,7	1,2
2,7	2,1	1,9	1,7	1,2
2,5	2,1	1,9	1,7	1,2
2,8	2,1	1,9	1,7	1,1
2,2	2,3	1,9	1,7	1,1
2,2	2,3	1,8	1,7	1,1
2,2	2,3	1,8	1,7	1,1
2,2	2,3	1,8	1,6	1,1
2,2	2,3	1,8	1,6	1,1
2,2	1,9	1,8	1,6	1,3
2,2	1,9	1,8	1,6	1,2
2,2	1,9	1,8	1,6	1,3
2,2	1,9	1,8	1,6	1,3
2,2	1,9	1,8	1,5	0,9
2,2	1,9	1,7	1,5	0,9
2,1	1,9	1,7	1,5	0,9
Грузовое направление				
3,2	2,6	2,2	2,0	1,6
3,1	2,5	2,2	1,9	1,6
3,1	2,5	2,2	1,9	1,5
3,1	2,5	2,2	1,9	1,5
3,1	2,5	2,2	1,9	1,5
2,9	2,5	2,2	1,8	1,2
2,9	2,4	2,2	1,8	1,2
2,9	2,4	2,2	1,8	1,2
2,9	2,4	2,2	1,7	1,1
2,8	2,4	2,2	1,7	1,1
2,8	2,4	2,2	1,7	1,1
2,8	2,4	2,1	1,6	1,1
2,7	2,4	2,1	1,6	1,1
2,7	2,3	2,1	1,6	1,1
2,7	2,3	2,1	1,6	1,1
2,6	2,3	2,0	1,6	0,9

Этап 3. Обработку результатов исследований времени проезда 1 км проводили на основании методики, которая была представлена в работе [16]. Согласно данной методике, первоначально определяются такие показатели, как размах выборки значений времени движения (2), количество интервалов (3) и длина интервала (4):

$$W = t_{\max} - t_{\min}; \tag{2}$$

$$k = 1 + 3,21 \cdot \lg n; \tag{3}$$

$$h = \frac{W}{k}, \tag{4}$$

где  $W$  – размах выборки значений времени движения, мин;  $t_{\max}$  – максимальное значение времени движения, мин;  $t_{\min}$  – минимальное

значение времени движения, мин;  $k$  – количество интервалов;  $n$  – число значений времени в выборке;  $h$  – длина интервала, мин.

После определения указанных показателей находили количество значений времени проезда 1 км в выборке в каждом интервале, их относительные частоты и высоты.

Значения интервальных статистических рядов представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3  
Интервальный статистический ряд значений времени проезда 1 км в порожнем направлении

Интервал			Частота	Относительная частота	Высота
начало	конец	середина			
0,90	1,17	1,04	10,00	0,13	0,46
1,17	1,44	1,31	6,00	0,08	0,28
1,44	1,71	1,58	15,00	0,19	0,69
1,71	1,98	1,85	24,00	0,30	1,11
1,98	2,26	2,12	16,00	0,20	0,74
2,26	2,53	2,39	6,00	0,08	0,28
2,53	2,81	2,67	3,00	0,04	0,14
Сумма			80	1	–

Таблица 4  
Интервальный статистический ряд значений времени проезда 1 км в грузовом направлении

Интервал			Частота	Относительная частота	Высота
начало	конец	середина			
0,90	1,23	1,066	10	0,125	0,381
1,23	1,558	1,394	4	0,05	0,152
1,558	1,886	1,722	15	0,1875	0,572
1,886	2,214	2,05	18	0,225	0,686
2,214	2,542	2,378	15	0,1875	0,572
2,542	2,87	2,706	9	0,1125	0,343
2,87	3,208	3,039	9	0,1125	0,343
Сумма			80	1	–

После этого строились гистограммы относительных частот попадания значений времени в расчетные интервалы для порожнего (рис. 1) и грузового (рис. 2) направлений.

По виду гистограмм была выдвинута статистическая гипотеза о нормальности закона распределения времени проезда 1 км как случайной величины. Далее определяли точечную оценку математического ожидания (выборочное среднее) по зависимости

$$t_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i^c \cdot n_i, \quad (5)$$

где  $t_{cp}$  – выборочное среднее значений ряда, мин;  $t_i$  – текущее значение времени движения, мин;  $t_i^c$  – середина интервала, мин;  $n_i$  – частота попаданий в интервал.

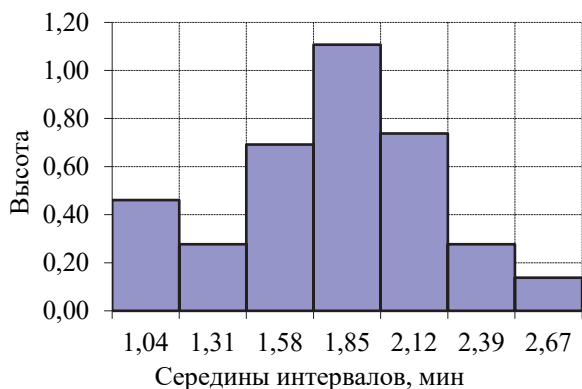


Рис. 1. Гистограмма относительных частот для порожнего направления

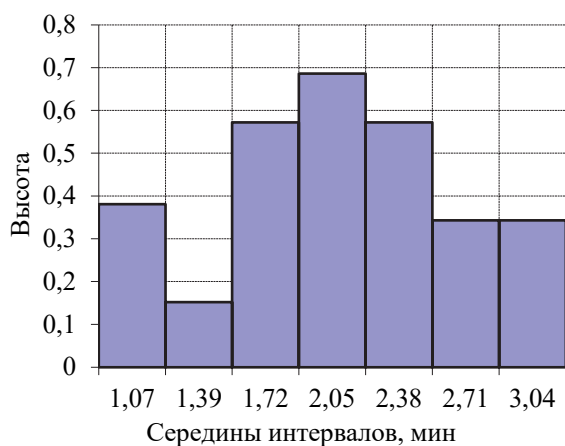


Рис. 2. Гистограмма относительных частот для грузового направления

Кроме того, вычисляли исправленное выборочное среднее квадратическое отклонение по зависимости

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}. \quad (6)$$

После этого рассчитывали теоретические вероятности по зависимости (7):

$$p_i = \Phi\left(\frac{t_{i+1} - t_{cp}}{S}\right) - \Phi\left(\frac{t_i - t_{cp}}{S}\right). \quad (7)$$

где  $\Phi$  – функция Лапласа [15, 16].

Далее определяли наблюдаемую величину критерия Пирсона  $\chi^2$  по зависимости (8):

$$\chi_{набл}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}. \quad (8)$$

Контроль вычислений осуществлялся по равенству (9):

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i^2}{n \cdot p_i} - n = \chi_{набл}^2. \quad (9)$$

Критерием принятия гипотезы служило неравенство (10):

$$\chi_{набл}^2 < \chi_{\alpha;v}^2. \quad (10)$$

где  $\chi_{\alpha;v}^2$  – теоретическое значение критерия Пирсона при заданном уровне значимости и числе степеней свободы  $\chi_{\alpha;v}^2 = 9,488$ ;  $\alpha$  – уровень значимости,  $\alpha = 0,05$ ;  $v$  – число степеней свободы, равное для нормального закона распределения разности между числом интервалов и числом 3.

Если условие (10) выполняется, то статистическая гипотеза о нормальном законе распределения времени проезда 1 км по маршруту принимается, а если указанное неравенство не выполняется, то гипотеза отвергается.

Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5  
Определение критерия Пирсона  $\chi_{набл}^2$  для порожнего направления

Границы интервала		Частота $n_i$	Теоретическая вероятность $p_i$	$\frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$	$\frac{n_i^2}{n \cdot p_i}$
$-\infty$	1,171	10	0,074	2,812	16,892
1,171	1,442	6	0,137	2,221	3,295
1,442	1,713	15	0,225	0,500	12,501
1,713	1,984	24	0,249	0,843	28,938
1,984	2,255	16	0,185	0,101	17,324
2,255	2,526	6	0,092	0,253	4,888
2,526	$+\infty$	3	0,039	0,004	2,897
Сумма			0,999	6,733	86,734

Расчетами установлено, что наблюдаемое значение критерия Пирсона для порожнего направления равно 6,733; для грузового направления – 6,324.

Таким образом, из расчетов видно, что поскольку выполняется условие (10), то статистическая гипотеза принимается для грузового и порожнего направлений.

Таблица 6  
**Определение критерия Пирсона  $\chi^2_{\text{набл}}$**   
**для грузового направления**

Границы интервала		Частота $n_i$	Теоретическая вероятность $p_i$	$\frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$	$\frac{n_i^2}{n \cdot p_i}$
$-\infty$	1,230	10	0,074	2,845	16,942
1,230	1,558	4	0,113	2,829	1,765
1,558	1,886	15	0,184	0,006	15,309
1,886	2,214	18	0,220	0,010	18,427
2,214	2,542	15	0,194	0,017	14,500
2,542	2,870	9	0,126	0,120	8,018
2,870	$+\infty$	9	0,089	0,498	11,379
Сумма			0,999	6,324	86,340

**Этап 4.** По полученным данным, зная, что выборочное среднее значение времени проезда 1 км для порожнего направления равно 1,78 мин, а для грузового – 2,08 мин, была проведена оценка адекватности этих значений. Для этого по методике, которая была изложена

в работе [16], проводилась оценка однородности дисперсий значений времени движения по 10 маршрутам в грузовом и порожнем направлениях с учетом критерия Фишера, что показало высокую сходимость результатов.

Методика оценки также включала расчет процентного расхождения между фактическим временем движения по реальным маршрутам работы сортиментовозов и временем движения, рассчитанным с помощью полученных значений выборочного среднего. Максимальный размах значений времени движения на маршрутах в грузовом и порожнем направлениях не превышал 12%.

**Закключение.** В результате была подтверждена рабочая гипотеза о том, что среднее время проезда сортиментовозами 1 км подчинено нормальному закону распределения. Полученные в итоге значения выборочного среднего времени проезда 1 км в грузовом и порожнем направлениях были рекомендованы для практического использования при планировании работы сортиментовоза МАЗ-630308 с прицепом МАЗ -83781020.

#### Список литературы

1. Заготовка и переработка древесных лесных ресурсов // Официал. сайт М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь. URL: <https://www.mlh.by/our-main-activites/forest/zagotovka-i-ispolzovanie-drevesnykh-lesnykh-resursov/> (дата обращения: 01.02.2023).
2. Нефедов А. Ф., Высочкин Л. Н. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей. Львов: Вища школа, 1976. 160 с.
3. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация / И. Р. Шегельман [и др.]. СПб.: ПРОФИКС, 2008. 304 с.
4. Пладов А. В. Совершенствование методов обоснования рациональных эксплуатационных параметров лесовозных автопоездов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Петрозаводск, 2007. 20 с.
5. Короленя Р. О. Результаты исследований временных характеристик движения сортиментовозов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. С. 67–70.
6. Насковец М. Т., Короленя Р. О. Классификация маршрутов транспортировки сортиментов с использованием XYZ-анализа // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 71–75.
7. Алябьев В. И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. М.: Лесная пром-сть, 1977. 232 с.
8. Короленя Р. О. Классификация маршрутов перевозки древесины и определение продолжительности движения по ним сортиментовозов в условиях работы лесохозяйственных учреждений Республики Беларусь // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сб. науч. тр. СПбГЛТУ. 2013. Вып. 6. С. 109–116.
9. Мохирев А. П., Рукомойников К. П., Мазуркин П. М. Рейтинг экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины с лесных участков // Успехи современного естествознания. 2021. № 2. С. 26–33. DOI: 10.17513/use.37570.
10. Короленя Р. О. Результаты статистической обработки данных, характеризующих время работы сортиментовозов на вывозке древесины // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 85-й науч.-техн. конф. профес.-преподоват. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–13 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 97–99.
11. Влияние условий движения на скоростные режимы транспортных потоков при вывозке древесины / А. В. Скрыпников [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 4. С. 153.

12. Makeev V. N., Dymova N. N., Dolmatov D. V. Определение технической скорости движения лесовозных автопоездов // Лесотехнический журнал. 2011. № 3(3). С. 81-83.

13. Отраслевые республиканские нормы выработки и расценки на работы в лесном хозяйстве: Сборник 3. Вывозка древесины на рубках ухода за лесом и рубках главного пользования. Книга 2. Вывозка древесины на рубках главного пользования. Минск: Белгипролес, 2002. 268 с.

14. Сухопутный транспорт леса / В. И. Алябьев [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1990. 413 с.

15. Пижурич А. А. Основы научных исследований в деревообработке: учебник для вузов. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.

16. Игнатенко В. В., Пыжкова О. Н., Яроцкая Л. Д. Высшая математика. Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ. Лабораторный практикум: учеб. пособие. Минск: БГТУ 2006. 126 с.

### References

1. Harvesting and processing timber resources. Available at: <https://www.mlh.by/our-main-activities/forest/zagotovka-i-ispolzovanie-drevesnykh-lesnykh-resursov/> (accessed 01.02.2023) (In Russian).

2. Nefedov A. F., Vysochkin L. N. *Planirovaniye eksperimenta i modelirovaniye pri issledovanii ekspluatatsionnykh svoystv avtomobiley* [Experimental planning and modelling in the study of vehicle performance]. L'vov, Vishcha shkola Publ., 1976. 160 p. (In Russian).

3. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V., Pladov A. V. *Vyvozka lesa avtopoyezdami. Tekhnika. Tekhnologiya. Organizatsiya* [Timber hauling by road-train. Technique. Technology. Organisation]. St. Petersburg, PROFIKS Publ., 2008. 304 p. (In Russian).

4. Pladov A. V. *Sovershenstvovaniye metodov obosnovaniya ratsional'nykh ekspluatatsionnykh parametrov lesovoznykh avtopoyezdov. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Improving the justification methods for rational operational parameters of timber trucks. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Petrozavodsk, 2007. 20 p. (In Russian).

5. Korolenia R. O. The results of research on the temporal characteristics of the movement of log trucks. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 67–70 (In Russian).

6. Naskovets M. T., Korolenia R. O. Classification of assortment transport routes using XYZ analysis. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 71–75 (In Russian).

7. Alyab'ev V. I. *Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov na lesozagotovkakh* [Optimization of production processes in logging]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 232 p. (In Russian).

8. Korolenia R. O. Classification of timber transportation routes and determination of the duration of movement of log trucks on them in the conditions of forestry institutions of the Republic of Belarus. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesopromyshlennogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov SPbGLTU* [Technology and equipment for the timber industry: a collection of scientific papers from St. Petersburg State Forestry University], 2013, issue 6, pp. 109–116 (In Russian).

9. Mokhiev A. P., Rukomoynikov K. P., Mazurkin P. M. Ranking of experiments in multivariate analysis of timber removals from forest plots. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2021, no. 2, pp. 26–33. DOI: 10.17513/use.37570 (In Russian).

10. Korolenia R. O. Results of statistical processing of log truck operating times for timber hauling. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorско-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest Engineering, Material Science and Design: proceedings of the 85th scientific and technical conference of academic staff, researchers and PhD students (with international participation)]. Minsk, 2021, pp. 97–99 (In Russian).

11. Skrypnikov A. V., Kondrashova E. V., Skvortsova T. V., Dorokhin S. V. Influence of traffic conditions on traffic speeds in timber hauling. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii* [Modern knowledge-intensive technologies], 2014, no. 4, p. 153 (In Russian).

12. Makeev V. N., Dymova N. N., Dolmatov D. V. Determining the technical speed of timber trucks. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2011, no. 3 (3), pp. 81–83 (In Russian).

13. *Otraslevyye respublikanskiye normy vyrabotki i rastsenki na raboty v lesnom khozyaystve. Sbornik 3. Vyvozka drevesiny na rubkakh ukhoda za lesom i rubkakh glavnogo pol'zovaniya. Kniga 2. Vyvozka drevesiny na rubkakh glavnogo pol'zovaniya* [Branch republican norms of production and rates for works in forestry. Collection 3. Timber extraction on thinning and final felling. Book 2. Removal of wood on thinning operations]. Minsk, Belgiproles Publ., 2002. 268 p. (In Russian).

14. Alyab'ev V. I., Grekhov G. F., Il'in B. A., Kuvaldin B. I. *Sukhoputnyy transport lesa* [Forest land transport]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 413 p. (In Russian).

15. Pizhurin A. A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Fundamentals of scientific research in woodworking]. Moscow, MGUL Publ., 2005. 305 p. (In Russian).

16. Ignatenko V. V., Pyzhkova O. N., Yarotskaya L. D. *Vysshaya matematika. Matematicheskiye metody i modeli v raschetakh na EVM* [Higher mathematics. Mathematical methods and models in computer calculations]. Minsk, BGTU Publ., 2006. 126 p. (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**Короленя Руслан Олегович** – доцент кафедры информатики и веб-дизайна. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: korolenia@belstu.by

**Бедная Юлия Александровна** – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bednaja3423@gmail.com

#### **Information about the authors**

**Korolenia Ruslan Olegovich** – Assistant Professor, the Department of Informatics and Web-Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: korolenia@belstu.by

**Bednaya Yuliya Aleksandrovna** – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bednaja3423@gmail.com

*Поступила 20.03.2023*