

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК

---

УДК 630\*812

К.Д. Жук, С.А. Угрюмов, Ф.В. Свойкин

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ STM-ФАЙЛОВ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

*Введение.* Эффективность работы лесозаготовительных и деревоперерабатывающих предприятий во многом зависит от размерно-качественных характеристик сырья, прежде всего, длины, диаметра, сбежистости круглых лесоматериалов и иных параметров [Тамби и др., 2020]. В условиях динамично изменяющегося спроса на древесину в круглом виде ввиду рыночной экономики эффективность работы предприятий лесопромышленного комплекса во многом определяется соответствием характеристик лесоматериалов техническим возможностям перерабатывающего оборудования и используемых технологий в целом [Большаков и др., 2015], что становится особо актуальным в условиях новой коронавирусной инфекции (2019-nCoV). При использовании на лесозаготовках современных многооперационных валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин информация по размерным параметрам заготовленной древесины в результате выполнения каждого поперечного реза пильным механизмом цепной пилы харвестерной головки (ХГ) может поступать в систему контроля-измерения и храниться в файлах с расширением stm [Мануковский и др., 2020].

В процессе заготовки древесины в больших объемах с применением высокопроизводительного оборудования возникает необходимость в статистической обработке получаемых массивов данных по каждому контролируемому параметру. Принимая во внимание то, что некоторые методы статистической обработки требуют сложных вычислений, возникает необходимость в создании унифицированного программного средства для статистического анализа выборок данных различного объема с достаточным набором рассчитываемых статистических параметров [Швалева, 2012; Шпаков, Попов, 2003].

*Целью работы* является статистическая обработка размерных характеристик партии лесоматериалов, заготовленных в типичных условиях средней тайги Республики Коми, с использованием специально разработанного программного обеспечения.

*Методика исследования.* В ходе исследования были изучены параметры заготовленной древесины – длина и сбег ствола, длина сортиментов, средний диаметр сортиментов, полученные системой контроля-измерения и контроля-управления TimberMatic колесной валочно-сучкорезно-раскряжевочной машиной среднего класса John Deere 1270G 8W (2019 г.в., наработка 11 256 м/ч), работающей на заготовке древесины в условиях зимнего заготовительного периода, в типичных природно-производственных условиях средней тайги РК, предприятие ООО «Няжпогостский лесоруб», расположенном в 135 км от села Емва, Мещурское участковое лесничество, 527 квартал, делянка №1, таксационные характеристики: смешанный лес, породный состав насаждений: 5СЗБ2Ос, средний объем хлыста 0,31 м<sup>3</sup>.

Обработка полученных массивов данных осуществлялась с применением специально разработанного программного обеспечения statsProg, написанного на языке программирования Python [Никонорова, Тимофеев, Кузнецова, 2019]. Выбор данного языка обусловлен тем, что содержит необходимые библиотеки для отображения графиков различных сложностей, а также с его помощью возможно создавать удобные и гибкие графические интерфейсы. Также, в Python существует возможность скомпилировать исходный код в исполняемый файл (.exe). Таким образом, данную программу возможно будет запустить на ПК, который поддерживает Windows XP или более позднюю версию, что позволяет применять разработанный комплекс практически на всех ВСРМ в РФ.

Процесс создания происходил в программной среде PyCharm Community. Стоит отметить, что и язык Python и среда разработки PyCharm распространяются под свободной лицензией, что упрощает работу с программой.

При открытии исходного файла с массивом данных в формате xls, разработанная программа позволяет отобразить таблицу с рассчитанными статистическими характеристиками [Хасти, Тимбришани, Фридман, 2020]. В ходе вычислений определяется также наличие грубых ошибок по критерию Стьюдента и осуществляется оценка нормальности распределения по критерию Пирсона.

*Результаты исследований.* Экспериментальные данные были получены с бортового компьютера ВСРМ John Deere 1270G 8W от системы измерения, контроля и управления TimberMatic H-16 из файлов stm-формата.

Стоит отметить, что в отличие от файлов продукции (prd, prl) и файлов статистики работ (art, drf), активации начала и окончания набора стволов stm происходит в мануальном режиме, т. е. оператор ВСРМ осуществляет это собственноручно. Пример начала накопления файлов стволов приведен на рис. 1. В системе измерение длин для визуального удобства (восприятия интерфейса оператором для оперативного принятия решений по осуществлению того или иного реза) ведется в сантиметрах.



Рис. 1. Начало накопления файлов стволов stm  
 Fig. 1. The beginning of the accumulation of stm files

Пример окончания набора стволов приведен на рис. 2.



Рис. 2. Окончание накопления файлов стволов stm  
 Fig. 2. End of the accumulation of stm files

Файлы stm построены по универсальному для большинства многооперационных лесных машин протоколу StanForD2010, что позволяет считывать такие файлы и расшифровывать. Из всех кодов, которые указаны внутри stm файлов, авторами использованы следующие:

- 293 5 (длины сортиментов ствола);
- 273 3 (стартовый диаметр и его последующие изменения с фиксированным шагом).

В табл. 1 представлены результаты статистической обработки длин обработанных стволов. На рис. 3 показана гистограмма распределения длин стволов.

*Таблица 1*

**Статистические характеристики по параметру «длина ствола»  
Statistical characteristics for the stem length parameter**

Статистические характеристики	Значения характеристик	
	исходный массив	без учета грубых ошибок
Объем выборки, шт.	82	78
Среднее значение, см	1199,1	1198,5
Среднее квадратическое отклонение, см	453,2	407,6
Коэффициент вариации	0,38	0,34
Минимальное значение, см	219,0	413,0
Максимальное значение, см	2275,0	2025,0
Ошибка среднего арифметического	50,05	46,15
Ошибка стандартного отклонения	35,39	32,63
Показатель точности	4,20	3,90
Отношение среднего значения к ошибке среднего арифметического	23,96	25,97
Отношение среднего квадратического отклонения к ошибке стандартного отклонения	12,81	12,49
Расчетное значение критерия Пирсона	3,51	5,56
Табличное значение критерия Пирсона	9,49	9,49
Нормальное распределение	Да	Да

В ходе заготовки древесины были обработаны стволы средней длиной 11,9 м, что соответствует среднему показателю Средней тайги [Бобкова, Перчаткин, Свойкин, 2000], при этом распределение характеризуется большой изменчивостью – минимальная зафиксированная длина составляет 2,19 м, максимальная 22,75 м, коэффициент вариации 0,38. Выборка подчиняется закону нормального распределения.

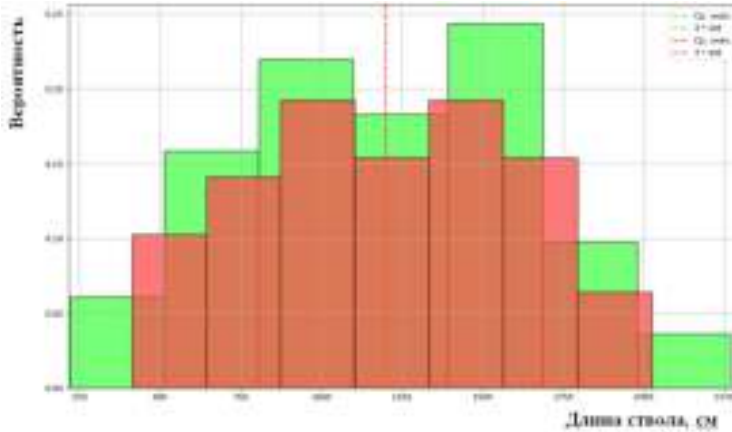


Рис. 3. Гистограмма распределения длин стволов  
 Fig. 3. The histogram of stems length distribution

В табл. 2 представлены результаты статистической обработки сбег древесины. На рис. 4 показана гистограмма распределения длин сбег древесины.

Таблица 2

**Статистические характеристики по параметру «сбег древесины»**  
**Statistical characteristics for the taper coefficient parameter**

Статистические характеристики	Значения характеристик	
	исходный массив	без учета грубых ошибок
Объем выборки, шт.	82	79
Среднее значение, м/м	0,123	0,113
Среднее квадратическое отклонение, м/м	0,058	0,026
Коэффициент вариации	0,47	0,23
Минимальное значение, м/м	0,050	0,050
Максимальное значение, м/м	0,460	0,180
Ошибка среднего арифметического	0,006	0,003
Ошибка стандартного отклонения	0,005	0,002
Показатель точности	5,2	2,6
Отношение среднего значения к ошибке среднего арифметического	19,302	39,202
Отношение среднего квадратического отклонения к ошибке стандартного отклонения	12,81	12,57
Расчетное значение критерия Пирсона	1316,4	4,36
Табличное значение критерия Пирсона	9,49	9,49
Нормальное распределение	Нет	Да

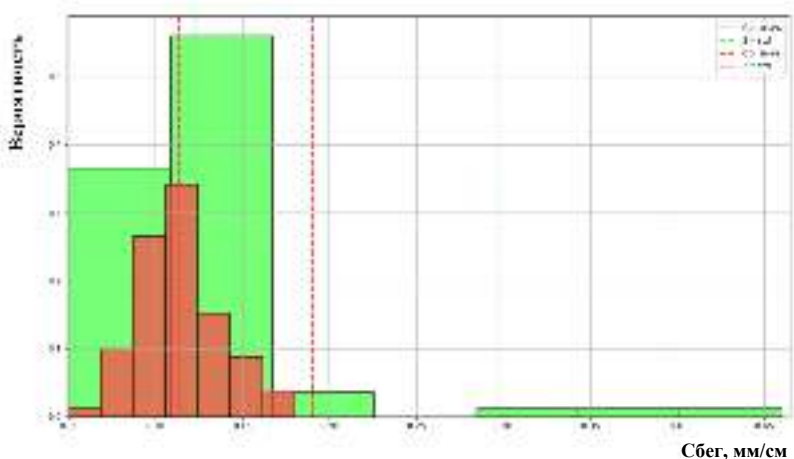


Рис. 4. Гистограмма распределения сбега древесины

Fig. 4. The histogram of the taper coefficient distribution

Среднее значение сбега заготовленной древесины составляет 1,2 см на 1 м длины, при этом зафиксирован минимальный сбег 0,5 см/м, максимальный – 4,6 см/м, коэффициент вариации 0,47. Наличие величин, выходящих за пределы среднестатистических как с минимальной, так и с максимальной стороны, объясняется фиксацией сбега по всей длине стволов и сортиментов с шагом в 1 см, в том числе на участках комлевых и верхних.

В табл. 3 представлены результаты статистической обработки длины заготовленных сортиментов. На рис. 5 показана гистограмма распределения длин сортиментов.

Среднее значение длины заготовленных сортиментов составляет 3,15 м, при этом распределение характеризуется большой изменчивостью – минимальная длина сортиментов составляет 2,0 см (рез оторцовки) максимальная длина сортиментов составляет 5,55 м, коэффициент вариации 0,42. Основная доля сортиментов имеет длину 4,0 м, иные длины сортиментов получены в ходе вырезки дефектных мест и раскря с учетом качества древесины.

В табл. 4 представлены результаты статистической обработки длины заготовленных сортиментов. На рис. 6 показана гистограмма распределения длин сортиментов.

Таблица 3

**Статистические характеристики по параметру «длина сортиментов»****Statistical characteristics for the assortments length parameter**

Статистические характеристики	Значения характеристик	
	исходный массив	без учета грубых ошибок
Объем выборки, шт.	312	302
Среднее значение, см	315,2	324,5
Среднее квадратическое отклонение, см	133,7	125,0
Коэффициент вариации	0,42	0,39
Минимальное значение, см	2,0	56,0
Максимальное значение, см	555,0	555,0
Ошибка среднего арифметического	7,55	7,19
Ошибка стандартного отклонения	5,39	5,08
Показатель точности	2,4	2,2
Отношение среднего значения к ошибке среднего арифметического	41,7	45,1
Отношение среднего квадратического отклонения к ошибке стандартного отклонения	24,9	24,6
Расчетное значение критерия Пирсона	646,2	768,8
Табличное значение критерия Пирсона	12,6	12,6
Нормальное распределение	Нет	Нет

Среднее значение диаметра заготовленных сортиментов составляет 16,9 см, при этом распределение характеризуется большой изменчивостью – минимальный диаметр сортиментов составляет 5,5 см, максимальный диаметр сортиментов – 47,5 см, коэффициент вариации 0,43. Основная доля сортиментов относится к среднетолщинным (от 14 до 24 см) в соответствии с классификациями по ГОСТ 17462-84, 9462-2016, 9463-2016. Стоит отметить, что крупнейшие потребители древесины обладают производственными мощностями для потребления балансовой древесины диаметром от 4 см (в коре) и длиной от 3 м, однако на данный момент осуществляют матричное планирование заготовки в apt файлах ВСПМ с параметрами балансовой древесины от 8 см (в коре) и длиной от 4 м.

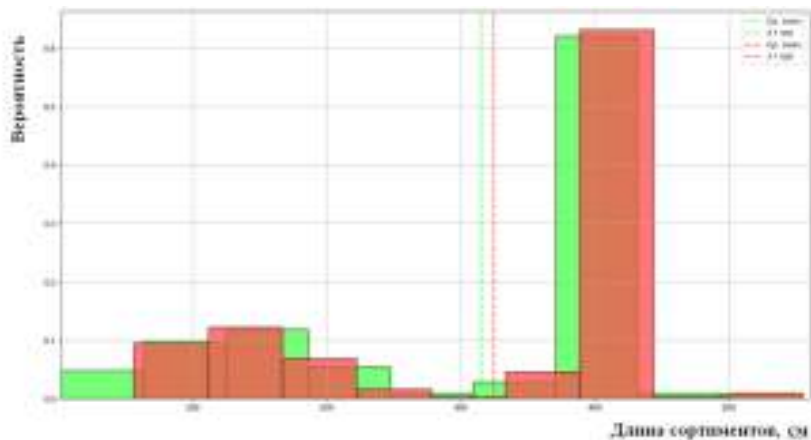


Рис. 5. Гистограмма распределения длины сортиментов

Fig. 5. Histogram of the length distribution of logs

Таблица 4

**Статистические характеристики по параметру «диаметр сортиментов»**

**Statistical characteristics for the diameters of assortments**

Статистические характеристики	Значения характеристик	
	исходный массив	без учета грубых ошибок
Объем выборки, шт.	312	298
Среднее значение, мм	169,6	160,7
Среднее квадратическое отклонение, мм	73,0	60,9
Коэффициент вариации	0,43	0,38
Минимальное значение, мм	55,0	55,0
Максимальное значение, мм	475,0	307,0
Ошибка среднего арифметического	4,14	3,53
Ошибка стандартного отклонения	2,92	2,50
Показатель точности	2,40	2,20
Отношение среднего значения к ошибке среднего арифметического	41,02	45,50
Отношение среднего квадратического отклонения к ошибке стандартного отклонения	24,98	24,41
Расчетное значение критерия Пирсона	105,1	27,2
Табличное значение критерия Пирсона	12,6	12,6
Нормальное распределение	Нет	Нет



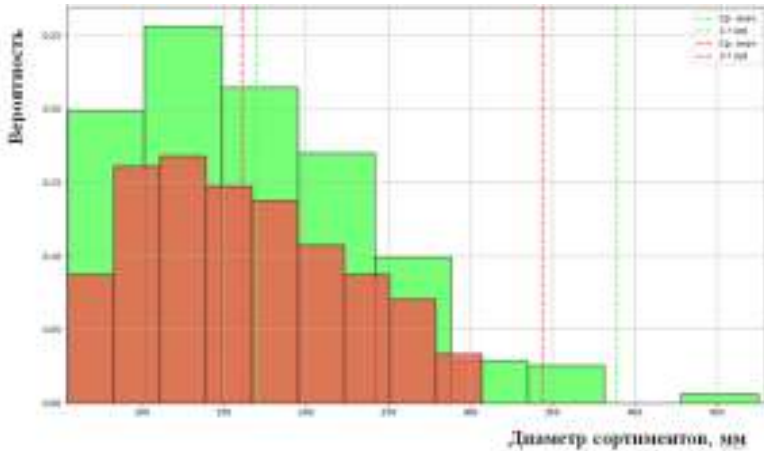


Рис. 6. Гистограмма распределения диаметра сортиментов

Fig. 6. The histogram of the diameters of the assortments distribution

*Вывод.* Разработанное программное обеспечение позволяет обрабатывать любые числовые массивы данных, с последующим расчетом статистических параметров и проверки распределения на нормальность. Графическое распределение в виде гистограммы позволяет пользователю представлять данные в удобном для восприятия формате для оперативного принятия решений ЛПП в условиях срочного и среднесрочного планирования. Отражение зон, в которых наблюдается брак, также положительно влияет на восприятие полученных результатов, и позволяет представлять целостность картины находящихся перед пользователем данных. Таким образом, разработанная программа statsProg позволяет быстро оценить размерно-качественные параметры лесопродукции, что позволит принять дальнейшие решения при последующей переработке полученной древесины.

Статистическая оценка партии лесоматериалов, заготовленных в типичных природно-производственных условиях средней тайги Республики Коми с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины John Deere 1270G 8W, показала большую изменчивость (вариативность) размерных характеристик, что объясняется природно-климатическими условиями произрастания древесины, в том числе заготовкой смешанных пород, а также выработку сортиментов с учетом их качества и вырезкой дефектных мест, в соответствии с требованиями потребителя древесины.

### Библиографический список

Большаков Н.М. [и др.]. Инновационные основы системного развития регионального лесного сектора экономики: методология, технология, механизмы: монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 312 с.

Бобкова К.С., Перчаткин П.А., Свойкин В.Ф. Древесные ресурсы // Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми, 2000. –С. 331-369.

Мануковский А.Ю. [и др.]. Программные комплексы современных лесных машин // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей. Казань: ООО «KONVERT», 2020. – С. 57-59.

Никонорова Л.И., Тимофеев М.Г., Кузнецова А.П. PYTHON как современный язык программирования // Наука и образование, 2019. Т. 2. № 2. С. 263.

Тамби А.А. [и др.]. Основные размерно-качественные характеристики круглых лесоматериалов, заготавливаемых в Архангельской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 4 (376). С. 147–156.

Швалева А.В. Методы математической статистики в технических исследованиях // Молодой ученый, 2012. № 3. С. 427–430.

Шпаков П.С., Попов В.Н. Статистическая обработка экспериментальных данных. М.: МГУ, 2003. 261 с.

Хасты Т., Тибришани Р., Фридман Д. Основы статистического обучения: интеллектуальный анализ данных, логический ввод и прогнозирование. 2020. 768 с.

### References

Bobkova K.S., Perchatkin P.A., Svoikin V.F. Wood resources // Forestry and forest resources of the Komi Republic, 2000, pp. 331–369. (In Russ.)

Bolshakov N.M. [et al.]. Innovative foundations of the system development of the regional forest sector of the economy: methodology, technology, mechanisms: monograph. SPb.: SPbGLTU, 2015. 312 p. (In Russ.)

Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2020. 768 p.

Manukovsky A.Yu., [et al.]. Software complexes of modern forest machines. Priority directions of innovative activity in industry: collection of scientific articles. Kazan: ООО «KONVERT», 2020, pp. 57–59. (In Russ.)

Nikonorova L.I., Timofeev M.G., Kuznetsova A.P. Python as a modern programming language. *Science and education*, 2019, vol. 2, no. 2, p. 263. (In Russ.)

Shpakov P.S., Popov V.N. Statistical processing of experimental data. – М.: MSGU, 2003. 261 p. (In Russ.)

Shvaleva A.V. Methods of mathematical statistics in technical research. *Young Scientist*, 2012, no. 3, pp. 427–430. (In Russ.)

Tambi A.A. [et al.] The main dimensional and qualitative characteristics of round timber harvested in the Arkhangelsk region. *News of higher educational institutions. Forest journal*, 2020. No. 4 (376), pp. 147–156. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 25.01.2021*

**Жук К.Д., Угрюмов С.А., Свойкин Ф.В.** Статистическая оценка размерных характеристик лесоматериалов с использованием данных stm-файлов многооперационных лесных машин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 137–149. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.137-149

В условиях рыночной экономики эффективность работы предприятий лесопромышленного комплекса во многом определяется соответствием характеристик лесоматериалов техническим возможностям перерабатывающего оборудования и используемых технологий в целом. В процессе заготовки древесины в больших объемах с применением высокопроизводительного оборудования возникает необходимость в статистической обработке получаемых массивов данных по каждому контролируемому параметру. Методы статистической обработки требуют сложных вычислений, поэтому возникает необходимость в создании унифицированного программного средства для статистического анализа выборок данных различного объема с достаточным набором рассчитываемых статистических параметров. Целью работы является статистическая обработка размерных характеристик партии лесоматериалов, заготовленных в условиях средней тайги Республики Коми, с использованием специально разработанного программного обеспечения. В ходе исследования были изучены параметры заготовленной древесины – длина и сбеж ствола, длина сортиментов, средний диаметр сортиментов, полученные из системы контроля-измерения колесной валочно-сучкорезно-раскряжевой машины среднего класса фирмы John Deere 1270G 8W, работающей на заготовке древесины в условиях зимнего заготовительного периода. Обработка полученных массивов данных осуществлялась с применением специально разработанного программного обеспечения statsProg, написанного на языке программирования Python. Разработанное программное обеспечение позволяет обрабатывать любые числовые массивы данных, с последующим расчетом статистических параметров и проверки распределения на нормальность. Статистическая оценка партии лесоматериалов, заготовленных в условиях средней тайги Республики Коми с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины John Deere 1270G 8W, показала большую изменчивость размерных характеристик, что объясняется природно-климатическими условиями произрастания древесины, в том числе заготовкой смешанных пород, а также выработку сортиментов с учетом их качества и вырезкой дефектных мест.

**Ключевые слова:** лесоматериалы, размерно-качественные параметры, массив данных, статистика, программное обеспечение, сортименты, ВСПМ.

**Zhuk K.D., Ugryumov S.A., Svoikin F.V.** Statistical evaluation of the dimensional characteristics of timber products using data from stm-files of multi-operation forest machines. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2021, is. 235, pp. 137–149 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.137-149

In a market economy the efficiency of timber enterprises is largely determined by the compliance characteristics of the timber technical capabilities of processing equipment and technologies in General. In the process of harvesting wood in large volumes with the use of high-performance equipment, there is a need for statistical processing of the obtained data sets for each controlled parameter. Statistical processing methods require complex calculations, so there is a need to create a unified software tool for statistical analysis of data samples of various volumes with a sufficient set of calculated statistical parameters. The aim of the work is the statistical processing of the dimensional characteristics of a batch of timber harvested in the conditions of the middle taiga of the Komi Republic, using specially developed software. In the study, were studied parameters of the harvested timber – length and stem taper, length of segments, the average diameter of the logs obtained from the monitoring system-measuring wheel harvesters are of the middle class harvester John Deere 1270G 8W, working at logging in the winter procurement period. Processing of the received data arrays was carried out using specially developed software statsProg, written in the Python programming language. The developed software allows you to process any numerical data arrays, with subsequent calculation of statistical parameters and checking the distribution for normality. Statistical evaluation of a batch of timber harvested in the middle taiga of the Komi Republic using the wheel harvester John Deere 1270G 8W showed a large variability in size characteristics, which is explained by the natural and climatic conditions of wood growth, including the preparation of mixed breeds, as well as the development of sortings taking into account their quality and cutting out defective places.

**Key words:** timber, dimensional and qualitative parameters, data set, statistical processing, software, logs, harvester.

---

**ЖУК Кирилл Дмитриевич** – аспирант кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ResearcherID: T-6299-2017. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0619-1242>.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: zhuk\_kd@mail.ru

**ZHUK Kirill D.** – PhD student of the Technological processes and machines of the forest complex department, St.Petersburg State Forest Technical University. ResearcherID: T-6299-2017. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0619-1242>.

194021. Institutsky per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: zhuk\_kd@mail.ru

**УГРЮМОВ Сергей Алексеевич** – профессор кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. ResearcherID: F-6510-2016. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8077-3542>.

194021, Институтский пер. д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ugr-s@yandex.ru

**UGRYUMOV Sergei A.** – DSc (Technical), Professor of the Technological processes and machines of the forest complex department, St.Petersburg State Forest Technical University. ResearcherID: F-6510-2016. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8077-3542>.

194021, Institutsky per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: [ugr-s@yandex.ru](mailto:ugr-s@yandex.ru)

**СВОЙКИН Федор Владимирович** – доцент кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 8938-6910. ResearcherID: AAC-4074-2020. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>.

194021, Институтский пер. д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [svoykin\\_fv@mail.ru](mailto:svoykin_fv@mail.ru)

**SVOIKIN Fedor V.** – PhD (Technical), associate professor of Technological processes and machines forest complex department, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8938-6910. ResearcherID: AAC-4074-2020. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>.

194021, Institutsky per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: [svoykin\\_fv@mail.ru](mailto:svoykin_fv@mail.ru)