

Научная статья

УДК 630\*811

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-5-114-130

### Размерно-качественные характеристики круглых сортиментов, заготавливаемых с применением многооперационных лесных машин

**К.Д. Жук<sup>1</sup>, аспирант;** *ResearcherID: T-6299-2017,*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0619-1242>*

**С.А. Угрюмов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.;** *ResearcherID: F-6510-2016,*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8077-3542>*

**Ф.В. Свойкин<sup>2</sup>, канд. техн. наук;** *ResearcherID: AAC-4074-2020,*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>*

**В.Ф. Свойкин<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.;** *ResearcherID: AAQ-8212-2020,*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8989-4626>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, литер У, Санкт-Петербург, Россия, 194021; zhuk\_kd@mail.ru, ugr-s@yandex.ru

<sup>2</sup>Сыктывкарский лесной институт филиал Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, ул. Ленина, д. 39, г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 167982; svoykinvf@mail.ru, svoykin\_fv@mail.ru

Поступила в редакцию 09.04.21 / Одобрена после рецензирования 12.07.21 / Принята к печати 18.07.21

**Аннотация.** При работе многооперационных лесных машин необходимо проводить статистическую оценку параметров и объемов заготовленной древесины с целью увеличения выхода круглых лесоматериалов и повышения общей производительности лесозаготовительных работ. Современные валочно-сучкорезно-раскряжевные машины оборудованы множеством датчиков системы контроля-управления архитектуры CAN, а также имеют в бортовой системе программное обеспечение, способное собирать и сохранять входные данные по разным типам файлов для поддержания непрерывной корректной работы машины. Одним из основных типов файлов являются форматы .stm (файлы ствола). Эти файлы представляются в двух видах: одни содержат информацию по каждому отдельному стволу дерева в разных файлах, а другие хранят все данные по всем стволам в одном. При анализе работ, проведенных на лесосеке, самым актуальным является применение второго типа stm-файлов. Однако использовать каждый раз файлы .stm для получения информации неудобно, поэтому возникает необходимость в преобразовании исходных данных в табличный формат для простоты их трансфера и принятия решений в условиях риска и неопределенности. Предложена методика трансфера таких данных в табличный формат .csv с помощью библиотек языка программирования Python pandas, numpy, seaborn, matplotlib, которые помогают быстро и эффективно обрабатывать большие массивы данных и отображают их графически. При трансфере были использованы данные, полученные при работе двух операторов на машине среднего класса Ponsse Ergo 8W в типичных природно-производственных условиях арендной базы АО «Монди СЛПК» (Республика Коми, зона средней тайги). Оценена эффективность работы операторов. Получены функции для определения объема ствола дерева на основе отчетных данных с лесных машин.

© Жук К.Д., Угрюмов С.А., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., 2022

Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Анализ структурированных данных о работе многооперационных лесных машин способствует совершенствованию принятия решений при последующей валке деревьев с выбором породы, что обеспечивает наибольший объем выхода круглых лесоматериалов. Кроме того, есть возможность корректировать сортиментные таблицы (АРТ-матрицы) для кратко- и среднесрочного планирования объемов заготовки сортиментов.

**Ключевые слова:** валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина, stm-файл, файл ствола, StanForD2010, харвестер, производительность валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины, Python, pandas, .csv, скандинавская сортиментная технология заготовки древесины

**Для цитирования:** Жук К.Д., Угрюмов С.А., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф. Размерно-качественные характеристики круглых сортиментов, заготавливаемых с применением многооперационных лесных машин // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 5. С. 114–130. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-114-130>

Original article

## Dimension and Quality Specifications of Round Logs Harvested with the Use of Multi-Operational Forest Machines

**Kirill D. Zhuk**<sup>1</sup>, Postgraduate Student, ResearcherID: [T-6299-2017](https://orcid.org/0000-0003-0619-1242),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0619-1242>

**Sergey A. Ugryumov**<sup>2</sup>, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [F-6510-2016](https://orcid.org/0000-0002-8077-3542),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8077-3542>

**Fedor V. Svoikin**<sup>2</sup>, Candidate of Engineering; ResearcherID: [AAC-4074-2020](https://orcid.org/0000-0002-8507-9584),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>

**Vladimir F. Svoikin**<sup>2</sup>, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAQ-8212-2020](https://orcid.org/0000-0001-8989-4626), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8989-4626>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, liter U, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; zhuk\_kd@mail.ru, ugr-s@yandex.ru<sup>✉</sup>

<sup>2</sup>Syktvykar Forestry Institute (Branch) of Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, ul. Lenina, 39, Syktvykar, 167982, Russian Federation; svoykinvf@mail.ru, svoykin\_fv@mail.ru

Received on April 9, 2021 / Approved after reviewing on July 12, 2021 / Accepted on July 18, 2021

**Abstract.** It is necessary to carry out a statistical assessment of the harvested wood parameters in order to increase the yield of round timber and the overall productivity of logging operations while operating multi-operational forest machines. Modern forestry harvesters are equipped with a variety of CAN control sensors to monitor operation and have onboard software that can collect and store input data on various file types to ensure continuous correct operation. One of the main file types is STM (trunk files). These files are presented in two forms: some contain information for each individual tree trunk in different files, and others store all the data for all trunks in one. The second type of STM files is the most relevant when analyzing the operations carried out at the logging site. However, it is inconvenient to use STM files every time to get information, so there is a need to convert the initial data into a table for easy transfer and decision-making at risk and uncertainty. The article proposes a method for transferring



such data to a CSV table using Python pandas, numpy, seaborn, matplotlib programming language libraries, which help to process large data arrays quickly and efficiently and display them graphically. The data obtained by two operators using a medium-class Ponsse Ergo 8W machine in the typical natural and production conditions of the Mondi Syktyvkar JSC (Komi Republic, middle taiga zone) were used for the transfer. The efficiency of the operators' work was assessed. We obtained functions for determining the volume of a tree trunk on the basis of the reported data from the forest machines. The analysis of structured data on the operation of multi-operational forest machines helps to improve decision-making during subsequent felling of trees with the selection of species, which provides the largest volume of round timber output. Moreover, it is possible to adjust assortment tables (APT-matrices) for short- and medium-term planning of assortment harvesting volumes.

**Keywords:** multi-operational forest machine, STM file, trunk file, StanForD2010, harvester, multi-operational forest machine productivity, Python, pandas, .csv, Scandinavian cut-to-length technology (CTL-technology)

**For citation:** Zhuk K.D., Ugrumov S.A., Svoikin F.V., Svoikin V.F. Dimension and Quality Specifications of Round Logs Harvested with the Use of Multi-Operational Forest Machines. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 5, pp. 114–130. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-114-130>

### Введение

В лесопромышленном комплексе РФ на данный момент основной упор при использовании скандинавской сортиментной технологии заготовки древесины делается на производство круглых лесоматериалов [1], обладающих максимальной рыночной стоимостью по критерию качества [10]. Для производства круглых лесоматериалов в основном применяют высокопроизводительную специализированную многооперационную лесозаготовительную технику (пришедшую на замену ручному моторному инструменту [16]), оснащенную современными техническими решениями и программными комплексами [6], повышающими эффективность заготовки древесной продукции [4, 5, 11, 13, 17]. Однако при достаточно большой скорости обработки древесной продукции возникает проблема, которая заключается в качестве и в процентном выходе относительно предмета труда древесины в круглом виде [10, 11]. Здесь играет роль большое количество факторов: внешней среды – таксационные характеристики насаждений, природно-производственные, климатические и рельефные условия арендной базы лесозаготовительного предприятия; внутренние факторы – состояние лесной машины, ее техническая и технологическая готовность, используемый функционал; квалификация, опыт и мотивация оператора, уровень его диджитализации [2, 3, 20, 21].

При переходе от экстенсивной модели ведения лесного хозяйства к интенсивной в РФ в части заготовки древесины многооперационными лесными машинами по сортиментной технологии транслируется опыт Скандинавских стран не только в части техники и технологии, но и организации труда операторов. Так, крупнейшие лесозаготовители Северо-Западного федерального округа (АО «Монди СЛПК», АО «Группа «ИЛИМ»») активно тестируют как более корректный показатель эффективности операторов лесных машин почасовую оплату труда, общепринятую в Скандинавских странах

(а не сделанную, т. е. за количество заготовленного–перемещенного предмета труда, принятую в РФ). Показатель эффективности операторов «почасовая оплата труда» является одним из важнейших критериев, который в Скандинавских странах определяется количеством обработанных стволов в 1 ч. Это позволяет уйти от дифференцированного подхода «Предмет труда–оператор–лесная машина» и перейти к системному подходу планирования производственного процесса в сложной вероятностной системе, осуществлять управление процессом в условиях дефицита информации.

Данные, которые считываются с датчиков лесной машины, записываются в ее бортовую систему [18, 19, 22]. Они хранятся в различных форматах, что позволяет структурировать информацию. Основные файлы, содержащие сведения о каждом прошедшем через харвестерную головку (ХГ) и зарегистрированном системой контроля–измерения дереве, имеют формат .stm [8]. Данные в таком файле построены с применением стандарта StanForD2010 [15, 26].

Стоит отметить, что, например, в Чешской Республике, где высока доля альтернативных скандинавской сортиментной технологии способов заготовки и первичной вывозки древесины в круглом виде с использованием катаных трелевочных установок, применяют старый формат записи и хранения данных по стандарту StanForD Classic. Однако в большинстве европейских стран используется современный стандарт StanForD2010. Основные производители решений для скандинавской сортиментной технологии заготовки древесины сортиментами в РФ (John Deere Forestry, Rottne AB, Komatsu Forest AB, Ponsse Oy, Tigercat, Dasa AB, LogMax AB, Parker, Hannifin Corp., Technion Oy, LogSet Oy, ForestPHD, Biometria (бывший SDC), CGI, Skog-Data, Coillté) практикуют именно стандарт StanForD2010, на данный момент являющийся универсальным, межплатформенным и общепринятым в мировой практике отрасли.

Для «чтения» и расшифровки stm-файлов применяют различные программные продукты от компаний-производителей лесозаготовительной техники и оборудования (ХГ, систем измерения и т. д.). На рынке представлен широкий спектр программ для обработки данных, получаемых с бортовой системы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСРМ). Файлы в формате .stm могут быть использованы для исследования собранных в ходе работы ВСРМ данных. Существует два вида stm-файлов. Один вид хранит всю информацию по всем обработанным (снятым с пня) стволам за выбранный период времени в одном файле. Другой вид вмещает данные по каждому отдельному стволу в отдельном файле, т. е. файлов несколько.

Для повышения эффективности управления лесными ресурсами в условиях риска и неопределенности принятия решений на каждом этапе многоступенчатого технологического процесса на основании передового опыта Скандинавских стран следует анализировать полученные данные о заготовленной продукции с многооперационных лесных машин, особенно ВСРМ [23, 24]. Таким образом, возникает потребность в частом дальнейшем использовании stm-файлов для анализа лесозаготовительного процесса, что при хранении данных в отдельных stm-файлах или в одном целом stm-фай-

ле не всегда удобно по причине затрудненности доступа и отсутствия межплатформенности (протокол StanForD2010 доступен только на лесных машинах и при установке специализированного программного обеспечения (ПО) от производителей такой техники).

Для решения этой задачи найдено решение [9]. В развитие темы предлагается использовать формат .csv, обеспечивающий хранение данных в одной объемной таблице и простой доступ к ним. К тому же данные в таком формате удобно анализировать средствами языков программирования Python [7, 12, 14]. К примеру, можно применять библиотеку pandas, которая предоставляет широкие возможности для работы и анализа табличных данных в формате .csv. Предложен вариант конвертации данных из одного обширного stm-файла в формат .csv для дальнейшего анализа с учетом возможности усовершенствования обработки информации лицом, принимающим решения (ЛПР), для повышения выхода круглых лесоматериалов путем оптимального раскроя отдельного древесного ствола на основании АРТ-матриц.

#### *Объекты и методы исследования*

При наборе данных особое внимание уделялось калибровке ХГ электронной мерной вилкой Haglof DP и соответствующим программным настройкам систем контроля – измерения базовой машины для обеспечения сходимости результатов измерений датчиками ХГ с фактическими параметрами круглых лесоматериалов. Калибровка ХГ осуществлялась по аналогии с опытом Скандинавских стран, т. е. 4 раза в смену (в РФ периодичность калибровки ХГ зачастую недостаточная, что приводит к расхождению показателей датчиков ХГ с реальными параметрами сортиментов, это является одной из причин снижения выхода деловых круглых лесоматериалов).

Проведен анализ данных, которые были получены с одной ВСРМ двумя операторами за типичный день в марте 2021 г. Для определения наиболее типичного дня предварительно проанализированы данные за четыре 2-недельных периода (вахты) с разных кварталов (№ 10, 44, 45, 46, 78), т. е. за 56 сут. с общим количеством обработанных ХГ и зарегистрированных стволов – 58 359 (согласно PRD-отчетам и информации из stm-файлов с программного комплекса (ПК) ВСРМ). Принято допущение, что данные по учету заготовленной древесины по информации из stm-файлов совпадают с PRD-отчетом и с материально-денежной оценкой лесосеки. Экспериментальные данные по размерным характеристикам заготовленной древесины получены при проведении полевых испытаний в типичных природно-производственных условиях средней тайги Республики Коми на арендной базе предприятия АО «Монди СЛПК» (Корткеросский район, 150 км от с. Корткерос, Постакеросское участковое лесничество, квартал 78, делянка 2). Породный состав насаждений – 6СЗБОс, средний объем хлыста – 0,31 м<sup>3</sup>. Используются ВСРМ Ponsse Egro 8W [25, 27, 28] 2018 года выпуска и ХГ Н7 (наработка – 14 561 м/ч), а также система контроля–измерения Ponsse Opti4G [29].

*Результаты исследования и их обсуждение*

Входными данными является сформированный список данных, которые необходимо получить для составления информативной таблицы в формате .csv. Часть данных для конвертации может быть считана из общего stm-файла, а другая часть будет вычисляться на основе полученной информации. На рис. 1 изображен фрагмент данных в формате .stm, построенных по стандарту StanForD2010.

```

~297 1 1 1 1 1~298 1 1 1 1 1~845 1 22~846 1 100 150 200 250 300 350
20200608202350_33113_84328~299 1 482 296 101 67~299 2 482 296 101 6
84328
84329
84330
84331~306 2 0 0 0 0~361 1 1~361 2 1~361 3 0~361 4 1~361 5 200~361 6
Kuitu~541 2
2~542 1 64~543 1 1200~544 1 547 329 112 74~110 2 1~270 1 33114~270
Дмитрий Иванов~38 4 0~38 5 0~303 2 200~269 2 10~271 2 0~272 2 1237~
Q1~281 1 195~290 1 4~291 5 214 174 148 100~292 5 203 165 141 95~293
Unclassified
пил. кр
пил. сред.
бал.~296 3
0
101
103
104~296 4 0 2 2 2~832 2
0

```

Рис. 1. Фрагмент общего файла .stm

Fig. 1. Fragment of the general STM file

Для формирования файла формата .csv применяются следующие переменные из файла .stm:

- 31 2 – информация о регионе, в котором производилась заготовка;
- 38 1 – идентифицирующая оператора информация – имя и фамилия;
- 110 1(2) – информация о породе обрабатываемого дерева;
- 270 1 – информация о номере ствола;
- 120 1 – информация о наборе пород;
- 273 3 – информация о стартовом (начальном) диаметре ствола (в комле) и набор последующих разниц;
- 291 5 – информация о диаметре всех сортиментов в верхнем торце (резе);
- 293 5 – массив с длинами всех сортиментов.

Стоит отметить, что переменная 291 5 содержится только в общем stm-файле. В отдельных файлах вместо данной переменной есть другая, которая вмещает уже высчитанные объемы для каждого бревна. Вычисляемые параметры следующие: длина ствола, массив с объемами сортиментов, массив со сбегами для каждого сортимента, максимальный сбег, минимальный сбег, объем ствола, диаметр ствола на высоте груди (1,3 м).

Для того чтобы осуществить конвертацию данных из формата .stm в .csv, следует использовать библиотеки языка программирования Python numpy и pandas.



Фрагмент программного кода для конвертации файла .stm в csv-формат приведен на рис. 2.

```
17     region = ""
18     spec_list = ""
19
20     for code in stm:
21         if code == "":
22             continue
23
24         parts = code.split(" ", 2)
25
26         if parts[0] == "31" and parts[1] == "2":
27             region = parts[2]
28
29         if parts[0] == "120" and parts[1] == "1":
30             spec_list = parts[2].split(" ")
31
32         if parts[0] == "38" and parts[1] == "1":
33             stm_operator = np.append(stm_operator, parts[2])
34
35     # может быть код переменной для породы как 1 так и 2
36
37     if parts[0] == "110" and parts[1] == "1":
38         stm_spec = np.append(stm_spec, parts[2])
39
```

Рис. 2. Фрагмент кода программы для конвертации в csv-формат

Fig. 2. A fragment of the program code for conversion as a CSV file

В самом stm-файле переменные, которые хранят данные, отделяются знаком «тильда». В таблице ASCII этот символ имеет обозначение «126». При считывании данных весь файл необходимо разбить на части, используя такой символ. В итоге получается большой массив данных, в котором осуществляется поиск необходимой информации в соответствии с кодами переменных. Сама переменная и ее тип отделяются пробелами. Аналогичным образом происходит отделение массивов данных. Предлагаемый подход удобен при разбиении элемента из общего массива данных. На выходе получаются три элемента. Первый элемент имеет код переменной (уникальный номер, указанный в стандарте StanForD2010), второй хранит тип текущей переменной, а третий – данные, содержащиеся в этой переменной. У одной переменной может быть несколько типов, поэтому при считывании необходимо указывать не только ее код, но и тип. Только в этом случае данные будут корректно считаны.

Не стоит исключать возможности, что записанные из бортовой системы ВСРМ данные будут сохранены не в полной мере, учитывая экстремальные природно-производственные условия работы лесных машин (перепады температур, повышенная влажность, механические повреждения, неблагоприятное воздействие на модули и контроллеры почвенно-грунтовых факторов, лесного настила, порубочных остатков, грязи и т. д.). Чтобы убедиться в корректности полученной информации, необходимо проверить считанные данные путем сравнения длин заполненных массивов. Если длины будут равны, то данные считаны верно. В противном случае системе нужно сигнализировать об ошибке.

Тогда для создания таблицы в формате .csv необходимо проанализировать файлы для каждого ствола в отдельности. После проверки данных на наличие ошибок можно использовать полученный csv-файл.

На рис. 3 изображен фрагмент таблицы в формате .csv. Для удобства и комфорта конечного пользователя был использован инструмент Jupyter Notebook, позволяющий работать с таблицами в интерактивном режиме. При анализе полученных таблиц можно заметить, что в колонке «is\_correct» содержатся два значения: «True» и «False». Значение «False» сигнализирует о том, что для колонки «diam\_diff» были получены некорректные данные. При анализе необходимо это учитывать и исключать по возможности такие данные.

	start_diam	diam_diff	top_diams	length_asrt	bot_top_diams	sbegs	sbeg_min	sbeg_max	volumes	total_length	total_volumes	DBH	region	is_correct
215	-11 3 3 3 3 3 3 4 5 3 1 0 0 0 0 1 1 2 1 0 0 2 ...	214 174 148 100	10 414 412 401	[[215.0, 214.0], [214.0, 174.0], [174.0, 148.0...]]	[0.1, 0.097, 0.063, 0.12]	0.063	0.120	[0.0036, 0.1228, 0.0841, 0.049]	1237	0.2595	195	Помоздино	False	
222	0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 4 2 1 1 0 0 1 ...	197 170 121 90	414 414 411 191	[[222.0, 197.0], [197.0, 170.0], [170.0, 121.0...]]	[0.06, 0.065, 0.119, 0.162]	0.060	0.162	[0.1429, 0.1087, 0.089, 0.0188]	1430	0.3384	217	Помоздино	True	
136	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 2 2 0 0 0 ...	124 90 76	414 402 193	[[136.0, 124.0], [124.0, 90.0], [90.0, 76.0]]	[0.029, 0.085, 0.073]	0.029	0.085	[0.055, 0.0395, 0.0105]	1009	0.1020	136	Помоздино	True	
173	0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1 4 4 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...	148 127 95	404 399 401	[[173.0, 148.0], [148.0, 127.0], [127.0, 95.0]]	[0.062, 0.053, 0.08]	0.053	0.080	[0.0819, 0.0594, 0.0391]	1204	0.1804	158	Помоздино	True	
305	9 9 10 9 10 9 10 13 18 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...	200 168	415 414	[[305.0, 200.0], [200.0, 168.0]]	[0.253, 0.077]	0.077	0.253	[0.2108, 0.1104]	829	0.3212	200	Помоздино	True	
173	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 2 2 1 1 ...	153 131 96 70	413 411 400 194	[[173.0, 153.0], [153.0, 131.0], [131.0, 96.0]...]]	[0.048, 0.054, 0.087, 0.134]	0.048	0.134	[0.0883, 0.0652, 0.0408, 0.0106]	1418	0.2029	173	Помоздино	True	

Рис. 3. Фрагмент таблицы в csv-формате

Fig. 3. A fragment of a table in the CSV file

Таким образом, переводя файлы из .stm в .csv, можно анализировать данные в более удобном и наглядном формате. Пакет pandas позволяет быстро и эффективно изучить полученные данные.

После экспорта данных в формат .csv они могут быть использованы ЛПП для аналитики сводных данных по производству сортиментов ВСРМ для корректировки АРТ-матриц. Например, Jupyter Notebook дает возможность получить сводную таблицу с базовыми статистическими показателями для количественных переменных. На рис. 4 представлена сводная таблица со следующими статистическими показателями: mean – выборочное среднее значение по всем строкам; std – стандартное отклонение; min – минимальное значение для каждого столбца; 25 % – нижний квантиль; 50 % – медианное значение; 75 % – верхний квантиль; max – максимальное значение для каждого столбца.

Для примерной оценки производительности работы оператора ВСРМ будем использовать объем заготовленной оператором продукции с одного ствола дерева. Подсчитаем количество всех стволов по каждой отдельной породе для каждого оператора, а также вычислим весь объем заготовленной древесины по каждой из пород.



	stem_number	start_diam	sbeg_mean	sbeg_min	sbeg_max	total_length	total_volumes	DBH
count	1385.000000	1385.000000	1385.000000	1385.000000	1385.000000	1385.000000	1385.000000	1385.000000
mean	1343.000000	168.622383	0.085243	0.030976	0.156744	1299.976173	0.217051	162.889531
std	399.959373	53.808719	0.036762	0.049332	0.098179	471.857027	0.185593	49.402090
min	651.000000	56.000000	-0.110000	-0.800000	0.012000	403.000000	0.013400	44.000000
25%	997.000000	128.000000	0.062000	0.012000	0.101000	934.000000	0.083300	125.000000
50%	1343.000000	159.000000	0.078000	0.032000	0.130000	1341.000000	0.156900	154.000000
75%	1689.000000	203.000000	0.099500	0.052000	0.178000	1684.000000	0.298300	194.000000
max	2035.000000	431.000000	0.309750	0.235000	1.020000	4689.000000	1.466700	379.000000

Рис. 4. Сводная таблица в формате .csv по исходным данным

Fig. 4. The summary table based on the initial data in the CSV file

На рис. 5 изображен фрагмент сравнительной таблицы для осуществления оценки производительности операторов.

operator	spec	total_volumes	coeff_(tv/spec)
Николай	Береза	53	12.0931
	Ель	275	46.6433
	Осина	326	95.1447
Талгат	Береза	52	11.7149
	Ель	282	28.2767
	Осина	397	106.7434

Рис. 5. Фрагмент таблицы в формате .csv для оценки производительности операторов

Fig. 5. Operator performance evaluation table in the CSV file

Последний столбец (рис. 5) вычислен путем деления общего объема заготовленной древесины для отдельной породы каждым оператором на общее количество обработанных стволов. Таким образом, получаем среднее значение объема, который оператор вырабатывает с одного ствола дерева. Анализируя данные на рис. 5, можно заметить, что при работе с породой «береза» у операторов производительность практически одинакова, а ее среднее значение составляет 0,2267. При работе с породой «осина» отличие среднего значения небольшое. Однако операторы показали существенные различия, работая с породой «ель». При данной методике оценки производительности различия у операторов были примерно в 1,7 раза. У оператора «Николай» в среднем получался больший объем заготавливаемой древесины с одного ствола, чем у оператора «Талгат». Данная методика может быть рекомендована при первичной оценке производительности операторов, поскольку вероятны сильно отклоняющиеся значения от среднего в представленной выборке, что дает завышенную оценку показателю производительности.

Таким образом, используя формат данных .csv совместно с языком программирования Python, можно проводить оперативную оценку полученных данных. Данные, которые хранятся в файлах, сконфигурированные системой контроля–управления–измерения ВСРМ (.stm, .prd, .drf), формируются с использованием стандарта StanForD2010. Подавляющее большинство ВСРМ в РФ работают с использованием этого стандарта, что позволяет корректно извлекать данные с лесных машин различных производителей.

Полученные файлы читаются как обычные текстовые файлы и открываются с применением встроенных функций языка Python. Это обеспечивает корректный трансфер информации.

При анализе данных, полученных с бортового ПК ВСРМ, помимо их количественной оценки, существует возможность просмотра влияния и зависимости исходных параметров друг от друга.

Регрессионная модель зависимости объема дерева от нижнего диаметра представлена формулой

$$f(x)_{\text{осина}} = -5,96 \cdot 10^{-8} x^3 + 4,33 \cdot 10^{-5} x^2 - 6,19 \cdot 10^{-3} x + 0,312, \quad (1)$$

а на рис. 6 изображен график этой зависимости.

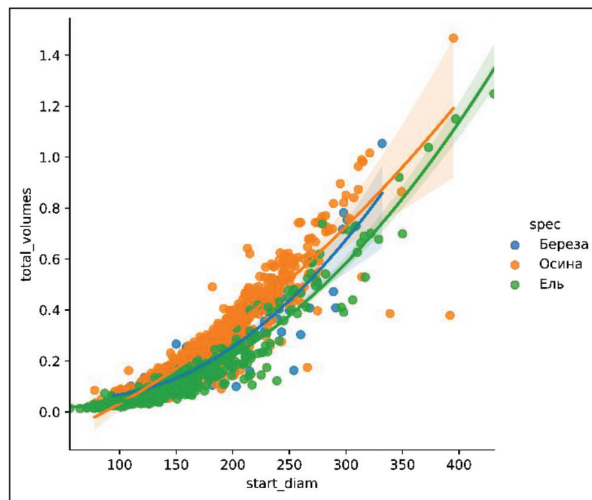


Рис. 6. Зависимость объема дерева от нижнего диаметра. Библиотека seaborn языка программирования Python

Fig. 6. Dependence diagram of the tree volume on the lower diameter. The seaborn library of the Python programming language

Регрессионная модель зависимости длины ствола от нижнего диаметра:

$$f(x)_{\text{ель}} = -6,58 \cdot 10^{-9} x^3 + 1,36 \cdot 10^{-5} x^2 - 1,85 \cdot 10^{-3} x + 0,0962. \quad (2)$$

На рис. 7 показан график такой зависимости.

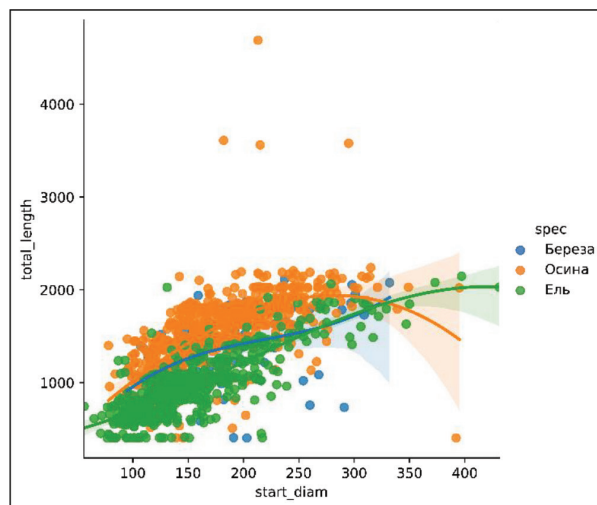


Рис. 7. Зависимость длины ствола от нижнего диаметра. Библиотека seaborn языка программирования Python

Fig. 7. Dependence diagram of the tree length on the lower diameter. The seaborn library of the Python programming language

На рис. 6 и 7 представлены данные, дифференцированные по породам. График для каждой из пород промаркирован различным цветом. Из рис. 6 следует, что есть некоторое отличие в зависимостях для осины и ели. Регрессионная линия для данных по породе «осина» проходит немного выше, чем для породы «ель». Исходя из формул (1) и (2), можно сделать вывод, что при одном и том же значении нижнего диаметра ствола, объем, который получается с одного дерева, будет иметь большее значение у осины, чем у ели. В данных присутствуют некоторые выбросы (ошибки), однако их влияние на общую регрессионную кривую (тренд) за счет их малого количества незначительно.

Рассмотрим данные, для которых построены графики зависимостей (рис. 7). Наиболее выразительно прослеживается зависимость длины ствола от нижнего диаметра для породы «осина». Здесь, в отличие от графика на рис. 6, самое подходящее значение степени регрессии оказалось равным 3, поскольку оно наиболее точно описывает исходные данные. При увеличении степени полинома происходит «переобучение», т. е. линия тренда начинает подстраиваться под исходные данные, и, таким образом, для новых данных применение полученной модели не будет иметь смысла. Оба графика (рис. 6 и 7) строились по значениям нижнего диаметра (диаметра комлевого реза). В данном случае это диаметр, который был зафиксирован бортовой системой ВСРМ при начале обработки ствола дерева.

Однако существует такой параметр, как диаметр ствола на высоте груди. В каждой стране высота замера различна. В РФ она равна 1,3 м. В *stm*-файлах, которые получены по всем стволам за одну рабочую смену, данный параметр находится под отдельным кодом и при этом не всегда записывается в конечные данные. Наиболее целесообразным способом определения диаметра на уровне 1,3 м будет использование кода 273 3 или 273 4, в которых находятся нижний диаметр и его изменения через каждые 0,1 м. Для того чтобы вычислить необходимое значение, требуется из нижнего диаметра вычесть сумму изменений диаметра за первые 13 шагов, поскольку высота 1,3 м кратна величине шага с учетом допущения, что комлевой рез ХГ осуществляется заподлицо с нулевым уровнем (т. е. уровнем лесного настила). На практике, учитывая погрешность натурального отвода, это типичная ситуация, а уровень и погрешность измерений комлевого реза ХГ относительно длины ствола дерева незначительны.

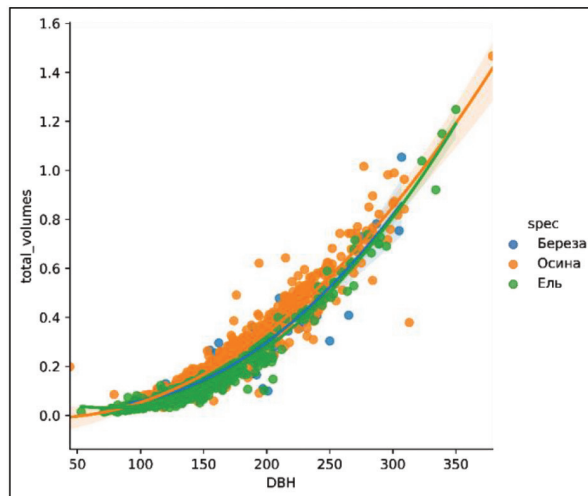
Сравнение зависимости объема ствола дерева от нижнего диаметра для различных пород показало удовлетворительные результаты. Однако стоит рассмотреть зависимость объема ствола от диаметра на высоте груди. В качестве стандартной высоты, на которой замеряется диаметр, принимается 1,3 м. Альтернатива выбора обусловлена тем, что в самой нижней точке изменение диаметра ствола происходит намного быстрее, чем, например, на высоте уровня груди. Таким образом, значения диаметров на высоте 1,3 м будут иметь меньший разброс, а следовательно, и регрессионная кривая будет наиболее полно описывать предлагаемую модель:

$$f(x)_{\text{осина}} = 1,14 \cdot 10^{-5} x^2 - 5,72 \cdot 10^{-4} x - 3,81 \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

На рис. 8. представлены графики зависимости объема ствола дерева от диаметра на высоте 1,3 м.

Рис. 8. Зависимость объема ствола дерева от диаметра на высоте 1,3 м. Библиотека seaborn языка программирования Python

Fig. 8. Dependence diagram of the tree volume on the diameter at the breast height (1.3 m). The seaborn library of the Python programming language

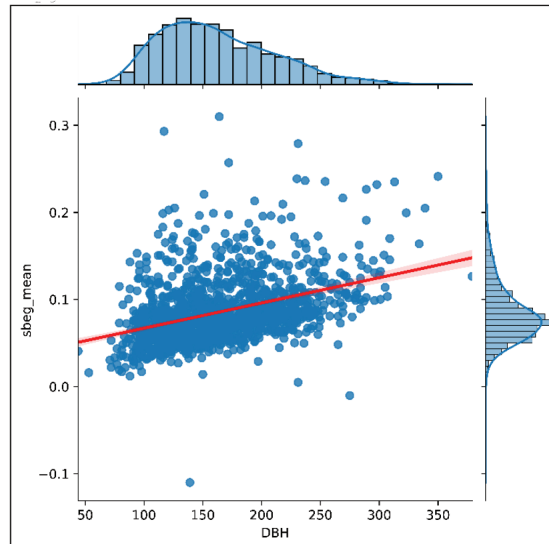


Из рис. 8 следует четкая зависимость объема ствола дерева от диаметра на высоте 1,3 м. По сравнению с графиком на рис. 6 есть существенное улучшение качества регрессионной модели. В данном случае при формировании регрессионной кривой использовалась вторая степень. Этого оказалось достаточно для составления качественной модели. Кроме стандартных графиков сравнения зависимостей, есть и более информативные форматы представления данных.

На рис. 9 представлен график зависимости средней сбежистости ствола от диаметра на уровне груди.

Рис. 9. Зависимость величины среднего сбега от диаметра на высоте груди. Библиотека seaborn языка программирования Python

Fig. 9. Dependence diagram of the average tapering value on the diameter at the breast height (1.3 m). The seaborn library of the Python programming language



На верхней и правой осях графика на рис. 9 отображены распределения исследуемых зависимых величин. Справа показано распределение для оси ординат, а сверху – для оси абсцисс. Такое представление данных улучшает их восприятие и понимание.

Кроме возможности широкого количественного анализа данных, библиотека pandas дает сравнивать зависимости переменных между собой. В рассмотренных выше примерах было показано выявление зависимостей между переменными в графическом виде. Однако для полноты исследования исходных

данных, помимо графического их представления, необходимо получить и их количественную характеристику. В этом случае предлагается вычислить и проанализировать коэффициент корреляции Пирсона, а также оценить статистическую значимость полученных значений.

Для построения корреляционных зависимостей между количественными переменными в библиотеке seaborn используется функция `heatmap`. Результатом работы данной функции станет массив значений, которые попадут в пределы от  $-1$  до  $1$ . Значение, равное  $1$  или  $-1$ , будет говорить о полной корреляции между двумя переменными.

На рис. 10 отображена тепловая карта с обозначенными на ней коэффициентами корреляций Пирсона.

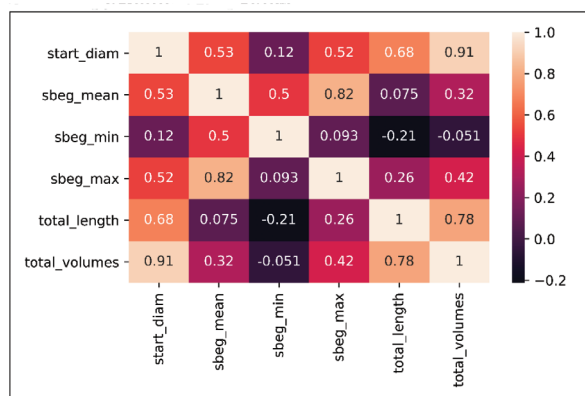


Рис. 10. Отображение значений корреляций Пирсона. Библиотека seaborn языка программирования Python

Fig. 10. Display of Pearson correlation values. The seaborn library of the Python programming language

Чем ближе значение к  $1$  или  $-1$ , тем больше выражена линейная зависимость между двумя переменными. Анализ полученных данных позволяет сделать выводы о наличии или отсутствии какой-либо зависимости. Слишком малые значения корреляции Пирсона могут указывать на очень слабую взаимосвязь между двумя переменными. Исходя из этого следует оценить не только значение коэффициента корреляции, но и рассчитать уровень значимости, необходимый для установления статистической значимости двух переменных и отклонения нулевой гипотезы о том, что исходные переменные не связаны. В случае подобных расчетов будет применяться библиотека `scipy`, в которой находится функция `pearsonr`. Она использует аппроксимацию, основанную на  $t$ -распределении Стьюдента.

На рис. 11 приведена итоговая тепловая карта со значениями, которые оказались статистически значимыми.

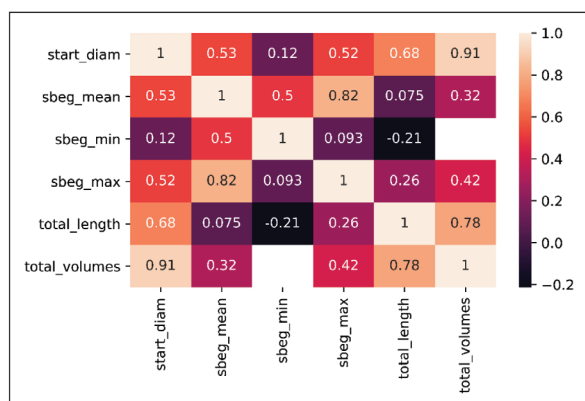


Рис. 11. Отображение статистически значимых значений. Библиотека seaborn языка программирования Python

Fig. 11. Display of statistically significant values. The seaborn library of the Python programming language

Все остальные значения, уровень значимости которых превысил 0,01, были закрашены на тепловой карте белым цветом. Из сопоставления данных рис. 10 и 11 следует вывод о том, что даже низкий коэффициент корреляции может оказаться статистически значимым.

### Заключение

Результаты исследований данных файлов ствола .stm, полученные в ходе работы валочно-сучкорезно-раскряжевной машины, позволяют сделать вывод, что применение здесь формата .csv имеет большое преимущество перед .stm, поскольку дает возможность быстрого и эффективного анализа данных, их статистической обработки, графического представления и в конечном итоге помогает принимать решения в условиях риска и неопределенности для корректировки сортиментного плана (АРТ-матриц) и повышения выхода деловой древесины в круглом виде. Используя современные библиотеки (pandas, numpy) и инструменты (Jupyter Notebook) языка программирования Python, можно осуществлять анализ работы операторов валочно-сучкорезно-раскряжевной машины, совершенствовать программное обеспечение этих машин путем установки соответствующих подпрограммных модулей и решателей, прогнозировать производительность техники в кратко- и среднесрочной перспективе, составляя сложные модели по имеющимся данным. Все это поможет повысить общую производительность лесозаготовительного процесса и процент освоения расчетной лесосеки по критерию более полного и оптимального раскроя хлыста. Лицо, принимающее решения, может использовать данные о результатах работы лесной машины непосредственно в общем межплатформенном табличном формате .xls, .xlsx (MS Excel) без использования дополнительного дорогостоящего специализированного межплатформенного программного обеспечения для управления парком лесозаготовительной техники (например, TimberOffice от John Deere), что значительно упрощает работу инженерно-технического персонала лесозаготовительных производств и повышает скорость принятия решений в условиях дефицита информации, риска и неопределенности протекания производственного процесса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Залесов С.В. Сортиментная заготовка древесины. М.: Инфра-М, 2021. 140 с.  
Mehrencev A.V., Azarenok V.A., Gerc E.F., Zalesov S.V. *Assorted Wood Harvesting*. Moscow, INFRA-M Publ., 2021. 140 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/1141213>
2. Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах: моногр. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. 120 с.  
Gerts E.F. *Assessment of Forest Management Technology in Logging Operations: Monograph*. Yekaterinburg, UGLTU Publ., 2003. 120 p. (In Russ.).
3. Дербин В.М., Дербин М.В. Совершенствование сортиментной заготовки древесины // Лесотехн. журн. 2015. Т. 5, № 1(17). С. 128–135.  
Derbin V.M., Derbin M.V. Improving Cut-to-Length of Timber. *Forestry Engineering Journal*, 2015, vol. 5, no. 1(17), pp. 128–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/11270>
4. Евдокимов Б.П., Кормицкова З.И. Зарубежные лесные машины. Сыктывкар: СЛИ, 2009. 161 с.



Evdokimov B.P., Kormshchikova Z.I. *Foreign Forest Machines*. Syktyvkar, SLI Publ., 2009. 161 p. (In Russ.).

5. Капустина Ю.А., Мехренцев А.В., Ростовская Ю.Н., Стариков Е.Н. Совершенствование информационного обеспечения как фактор устойчивого развития лесного сектора экономики // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы III междунар. науч.-техн. конф. Т. 2 / под ред. В.М. Гедьо. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С. 281–284.

Kapustina Yu.A., Mekhrentsev A.V., Rostovskaya Yu.N., Starikov E.N. Improving Information Support as a Factor in Sustainable Development of the Forest Sector. *Forests of Russia: Politics, Industry, Science and Education. Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference*. Vol. 2. Ed. by V.M. Ged'о. Saint Petersburg, SPbFTU Publ., 2018, pp. 281–284. (In Russ.).

6. Мануковский А.Ю., Зорин М.В., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Программные комплексы современных лесных машин // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сб. науч. ст. Казань: Конверт, 2020. С. 57–59.

Manukovskiy A.Yu., Zorin M.V., Rudov S.E., Kunitskaya O.A., Grigorev I.V. Software Complexes of Modern Forest Machines. *Priority Areas of Innovation in Industry: Collection of Academic Papers*. Kazan, Konvert Publ., 2020, pp. 57–59. (In Russ.).

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

Nikonorova L.I., Timofeev M.G., Kuznetsova A.P. Python as a Modern Programming Language. *Nauka i Obrazovaniye*, 2019, vol. 2, no. 2, art. 263. (In Russ.).

8. Самородницкий А.А., Свойкин В.Ф. К вопросу обработки стволов деревьев харвестером // Февральские чтения: сб. материалов науч.-практ. конф. по итогам науч.-исследоват. работы 2017 г. преподавателей Сыктывкар. лесн. ин-та. Сыктывкар: СЛИ, 2018. С. 167–172.

Samorodnitskiy A.A., Svoikin V.F. To the Issue of Processing Tree Trunks with a Harvester. *February Readings: Proceedings of the Scientific and Practical Conference on the Results of Research Work of Lecturers of the Syktyvkar Forest Institute in 2017*. Syktyvkar, SLI Publ., 2018, pp. 167–172. (In Russ.).

9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020666691 РФ. Программа динамического расчета и графического представления выхода готовой продукции из отдельной части ствола stmLogic: № 2020665981: заявл. 04.12.2020; опубл. 14.12.2020 / К.Д. Жук, С.А. Угрюмов, Ф.В. Свойкин.

Zhuk K.D., Ugryumov S.A., Svoikin F.V. *The Program for Dynamic Calculation and Graphical Representation of the Output of Finished Products from a Separate Part of the stmLogic Shaft*. Certificate of Registration of the Computer Program 2020666691 RF, No. 2020665981. 2020. (In Russ.).

10. Свойкин В.Ф., Молчанова А.А. Исследование выхода сортиментов на лесосеке в Республике Коми // Актуал. направления науч. исслед. XXI в.: теория и практика. 2015. Т. 3, № 9-2(20-2). С. 258–262.

Svoikin V.F., Molchanova A.A. The Research Output of Assortments on the Cutting Area in the Republic of Komi. *Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice*, 2015, vol. 3, no. 9-2(20-2), pp. 258–262. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/16481>

11. Свойкин В.Ф., Яковлев Н.Г., Молчанова А.А. Методика оценки выхода сортиментов на лесосеке // Февральские чтения: сб. материалов науч.-практ. конф. проф.-преподават. состава Сыктывкар. лесн. ин-та по итогам науч.-исследоват. работы в 2012 г. Сыктывкар: СЛИ, 2013. С. 258–265.

Svoikin V.F., Yakovlev N.G., Molchanova A.A. Methodology for Assessing the Yield of Assortments at the Logging Site. *February Readings: Proceedings of the Scientific and Practical Conference on the Results of Research Work of Lecturers of the Syktyvkar Forest Institute in 2012*. Syktyvkar, SLI Publ., 2013, pp. 258–265. (In Russ.).

12. Sinitsyna I.V. Exploring Engineering Trends and Technology with Python // Тр. Междунар. науч.-метод. конф. «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2014. М.: МЭИ, 2014. С. 11–12.

Sinitsyna I.V. Exploring Engineering Trends and Technology with Python. *Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference “Informatization of Engineering Education” – INFORINO-2014*. Moscow, MEI Publ., 2014. pp. 11–12.

13. Adebayo A.B., Han H.-S., Johnson L. Productivity and Cost of Cut-to-Length and Whole-Tree Harvesting in a Mixed-Conifer Stand. *Forest Products Journal*, 2007, no. 57, iss. 6, pp. 59–69.

14. Alstott J., Bullmore E., Plenz D. Powerlaw: A Python Package for Analysis of Heavy-Tailed Distributions. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, iss. 1, art. e85777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085777>

15. Arlinger J., Möller J. Information Exchange with CTL Machines, Recent Development of StanForD – A Communication Standard. *Proceedings of the 3rd Forest Engineering Conference*. Mont-Tremblant, Canada, 2007.

16. Fleischer M. *Geschichte der Holzernte in Handarbeit*. Proekte Verlag Cornelius GmbH, Halle/S, 2009. 212 p. (In Ger.).

17. Heinimann H.R. Productivity of a Cut-to-Length Harvester Family – An Analysis Based on Operation Data. *Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: “Appalachian Hardwoods: Managing Change”*. Snowshoe, WV, 2001. Available at: [https://cofe.org/pdfs/COFE\\_2001.pdf](https://cofe.org/pdfs/COFE_2001.pdf) (accessed 18.07.21).

18. Hesse K. *Components and Systems for Tractor, Stacker and Combine*. Elchingen, Bosch Rexroth Mobile Training, 2003, pp. 18–20.

19. Kemmerer J., Labelle E.R. Using Harvester Data from On-Board Computers: A Review of Key Findings, Opportunities and Challenges. *European Journal of Forest Research*, 2021, vol. 140, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01313-4>

20. Linhares M., Sette Júnior C.R., Campos F., Yamaji F.M. Harvester and Forwarder Machines Efficiency and Operational Performance in Forest Harvesting. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2012, vol. 42, no. 2, pp. 212–219. (In Portuguese). <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200007>

21. Marchi E., Chung W., Visser R., Abbas D., Nordfjell T., Mederski P.S., McEwan A., Brink M., Laschi A. Sustainable Forest Operations (SFO): A New Paradigm in a Changing World and Climate. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 634, pp. 1385–1397. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.084>

22. Marshall H. *On-Board Machine Stability Information System*. Harvesting Technical Notes. Report No. HTN05-01. Rotorua, NZ, 2013. 5 p.

23. Möller J., Arlinger J., Hannrup B., Larsson W., Barth A. Harvester Data as a Base for Management of Forest Operations and Feedback to Forest Owners. *Proceedings of the 4th Forest Engineering Conference “Innovation in Forest Engineering: Adapting to Structural Change”*. White River, South Africa, 2011.

24. Olivera A., Visser R. Development of Forest-Yield Maps Generated from Global Navigation Satellite System (GNSS)-Enabled Harvester StanForD Files: Preliminary Concepts. *New Zealand Journal of Forestry*, 2016, vol. 46, art. 3. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0059-x>

25. *Operation Manual, Spare Parts Catalog Ponsse Ergo*. Issue 0230197-0390001. Finland, 2012. 2541 p.

26. *Standard for Forest Data and Communications*. Skogforsk, 2007. 10 p. Available at: [www.skogforsk.se/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/stanford\\_maindoc\\_070327.pdf](http://www.skogforsk.se/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/stanford_maindoc_070327.pdf) (accessed 18.07.21).

27. *User Manual. Drive and Control Systems for Combine Harvesters and Forage Harvesters*. RE 98071. Bosch Rexroth AG, 2001. 16 p.

28. *User Manual. Ergo Operation and Maintenance Manual*. Ponsse Oyj, Finland, 2006. 958 p.

29. *User Manual. Operator Book Ponsse Opti 4G.4.705*. Ponsse Oyj, Finland, 2009. 382 p.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

---

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article