

operations on a steep slope]. Certificate of state registration of a computer program, no. 2024668708, 2024. (In Russ.).

10. Buryak E.S. Dorozhno-stroitel'nye mashiny [Road construction machines]. Arkhangelsk, Publishing house of AGTU, 2005, 32 p. (In Russ.).

11. Zhuk A.Y. Kriticheskie usilija oprokidyvaniya derev'ev beregovoj zony vodohranilishh pri ispol'zovanii ih v kachestve opor kanatnoj sistemy ustrojstv dlja sbora i transportirovki drevesiny [Critical efforts of overturning trees in the coastal zone of reservoirs when using them as supports for a rope system of devices for collecting and transporting wood]. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research], 2015, no. 12, pp. 258-263. (In Russ.).

12. Savich V.L. Zakonomernosti svyazi diametrov pnej i sily ih korchevaniya v zavisimosti ot porody dereva [Patterns of connection between the diameters of stumps and the strength of their uprooting depending on the type of tree]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2011, no. 193, pp. 163-172. (In Russ.).

13. Golyakevich S.A., Goronovsky A.R. Osnovy proektirovaniya lesnyh mashin i sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya [Fundamentals of designing forest machines and computer-aided design systems]. Part 1, Minsk, BSTU, 2015, 127 p. (In Russ.).

14. Lvovskiy E.N. Statisticheskie metody postroeniya jempiricheskikh formul [Statistical methods of constructing empirical formulas]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982, 224 p. (In Russ.).

15. Schenck H. Teorii inzhernogo jeksperimentirovaniya [Theories of engineering experimentation]. New York, McGraw-Hill Book Company, 1968. (In Eng.).

16. Shlyushenkov A.P. Planirovanie faktornykh jeksperimentov v issledovaniyah dinamiki i prochnosti mashin [Planning factor experiments in studies of dynamics and strength of machines]. Tula, TPI, 1980, 100 p. (In Russ.).

17. Tolkach I.V., Sevko O.A. Spravochno-normativnye lesotaksacionnye tablicy [Reference and normative forest tax tables]. Minsk, BSTU, 2005, 36 p. (In Russ.).

©Makulina A.V. – postgraduate student of the Department of Mathematical Analysis, Algebra and Geometry, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, e-mail: himichanya@yandex.ru.

УДК 657.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УЧЕТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

П.Н. Перфильев, С.А. Голякевич, Д.А. Савенков, Е.А. Галкина, И.В. Григорьев

*Ежегодно в Российской Федерации заготавливается свыше 190 миллионов м<sup>3</sup> древесины. В условиях развитых рыночных отношений одной из проблем при передаче лесоматериалов предприятиям, осуществляющим их переработку, является точный учет древесины. Проблема учета является одним из важных аспектов в постоянной борьбе лесопромышленных предприятий за повышение рентабельности производства и снижение себестоимости производимой продукции. В мире в настоящее время известно большое количество различных способов измерения объема круглых лесоматериалов. Также важно отметить, что технологии учета не стоят на месте, а все время развиваются. Основной характерной особенностью результатов учета круглых лесоматериалов является уровень погрешности при измерении объема, вследствие чего происходит недостача или появляются излишки лесоматериалов при их перемещениях с одного подразделения лесопромышленного предприятия на другое. В последнее время проводятся исследования и разрабатываются новые методы учета древесины. Активно развиваются технологии автоматизированного учета. В эпоху цифровизации важно иметь высококвалифицированных специалистов, ответственных за учёт древесины. Например, современные лесозаготовительные машины оснащены системами измерений, которые позволяют точно отслеживать объём заготовленной древесины после проведения калибровки, но операторов, способных работать с такими системами в современных реалиях недостаточно. Кадровый голод в лесопромышленном комплексе обсуждается на всех уровнях органов государственной власти Российской Федерации.*

*Таким образом, эффективная организация учёта круглых лесоматериалов является важной задачей для каждого предприятия лесопромышленного комплекса. В работе представлен анализ методов учета круглых лесоматериалов, применяемых в России и за рубежом, особое внимание уделено использованию современных способов объективного учета. Также в статье представлены результаты исследования состояния изучаемого вопроса, результаты экспериментального исследования, проведенного на лесопромышленном предприятии, их анализ и выводы, полученные на основании проведенных исследований.*

**Ключевые слова:** *учет, круглые лесоматериалы, штабель, квадрокоптер, оптимальность.*

### Введение

Россия является мировым лидером по площади лесных массивов. Леса покрывают более 800 миллионов га, что составляет почти 20% всех лесных массивов планеты. При этом общий объем древесины в лесах РФ достигает 112 миллиардов м<sup>3</sup>. Ежегодно лесной фонд пополняется примерно на 990 миллионов м<sup>3</sup> древесины, при этом заготовка древесины ведется в объеме существенно меньшем расчетной лесосеки, составляющей в настоящее время около 730 миллионов м<sup>3</sup> в год. Такие показатели наглядно демонстрируют не только масштаб лесных богатств России, но и их способность к естественному возобновлению, что делает их рациональное использование особенно важным для развития страны [1-3]. Лесной сектор российской экономики демонстрирует рост, опираясь на комплексную модернизацию производства. В отрасли происходит обновление технологической базы: внедряются передовые инновационные решения, начиная от лесного хозяйства и лесозаготовительного производства и заканчивая глубокой переработкой древесины. Предприятия оснащаются современным оборудованием, способным выполнять множество операций, что существенно повышает эффективность производства [4-8]. Активно развивается научно-исследовательская деятельность, направленная на создание новых технологий и совершенствование существующих технологических процессов. Важным драйвером развития выступает увеличение инвестиционного потока в лесной сектор, что позволяет реализовывать масштабные проекты по модернизации и расширению производственных мощностей [9, 10]. Такой комплексный подход к развитию отрасли обеспечивает её рост и повышение конкурентоспособности на мировом рынке [11, 12]. Лесопромышленный комплекс является одним из ключевых секторов экономики многих субъектов Российской Федерации, в том числе и Архангельской области, где исторически сложилась мощная лесопромышленная база. В регионе работают ведущие отраслевые гиганты: ООО ПКП «Титан», Группа «Илим», «Segezha Group», ГК «УЛК», ГК «Регион - лес» и Архангельский фанерный завод. Эти комплексные лесопромышленные предприятия располагают современным оборудованием для глубокой переработки древесины как механическим, так и химическим способом, обеспечивая полный производственный цикл от заготовки древесины до выпуска готовой продукции. Крупные лесопромышленные компании занимают доминирующее положение в региональной экономике: 70% всей лесозаготовки, 80% производства пиломатериалов, 100% продукции целлюлозно-бумажной промышленности, более 60% арендованной расчетной лесосеки. На общероссийском уровне область занимает значимые позиции: 26% производства целлюлозы, 8% выпуска пиломатериалов, 29% рынка топливных гранул. Такая структура лесопромышленного комплекса делает регион одним из важнейших центров лесной отрасли России, обеспечивающим как внутренние потребности страны, так и экспортные поставки.

В условиях рыночной экономики, высокой стоимости древесины и постоянного развития лесопильной промышленности и повышения эффективности использования древесных ресурсов важно организовать точный учёт древесины. Однако существует проблема объективной оценки объёма и качества круглых лесоматериалов, что может привести к разногласиям между этапами заготовки и переработки древесного сырья. Сложность учёта круглых лесоматериалов также связана с многократной регистрацией объёмов перемещаемой древесины для измерения выполненной работы на ключевых этапах лесозаготовительного процесса [13, 14]. Для учета круглых лесоматериалов существуют различные методы измерения объёмов древесины. Крайне важным является выбрать экономически доступный способ учета круглых лесоматериалов, который сможет достаточно быстро, объективно и максимально точно определить объём древесного сырья [15, 16].

Цель исследования заключается в анализе методов учёта круглых лесоматериалов, применяемых в РФ и за рубежом.

Задачи исследования:

- изучить состояние вопроса и проанализировать существующие методы учета круглых лесоматериалов (российские и зарубежные);
- провести экспериментальное исследование по определению объемов круглых лесоматериалов с помощью различных методов учета и сделать соответствующие выводы.

### Результаты исследования

Первоначально в ходе исследования изучено состояние вопроса, проанализированы используемые в нашей стране методы учета древесины [14, 17, 18]. Также проанализированы основные методы учета круглых лесоматериалов, применяемые за рубежом - методы измерения в Японии, Китае, Канаде (метод концевых сечений), странах Скандинавии (секционный, вписанного цилиндра, верхнего диаметра и нормального сбega, табличный, полного ящика, весовой). В исследовании также рассматриваются методы учёта древесины, основанные на технологиях компьютерного зрения и нейронных сетей. Развитие таких цифровых технологий, как аэрофотосъёмка с помощью дронов, лазерное сканирование и дистанционное зондирование лесов, а также их широкое использование в лесоустройстве, по мнению авторов, позволит в ближайшем будущем повысить точность и полноту информации о лесах и сделать её более доступной, что имеет большое значение для технологий заготовки и переработки древесины. В настоящее время в Финляндии разработан специализированный сервис forestscanner [19], который используется для определения объема круглых лесоматериалов в штабеле с помощью квадрокоптера. Такое цифровое решение позволяет автоматизировать процесс учета древесины, а также упростить вопросы планирования и контроля заготовки древесины на основе данных с дронов. С помощью квадрокоптера проводится аэрофотосъемка и данные загружаются на сервер обработки. Дроны позволяют осуществить таксационные мероприятия, оценить объемы рубок, а также определить объемы заготовленных лесоматериалов. Для работы используются алгоритмы искусственного интеллекта. На квадрокоптер дополнительно устанавливаются GNSS-модули и на месте производится монтаж высокоточного приёмника (рисунок 1), который предназначен для более точного считывания координат квадрокоптером и записью их на карте памяти для последующей постройки 3D модели изучаемого объекта.

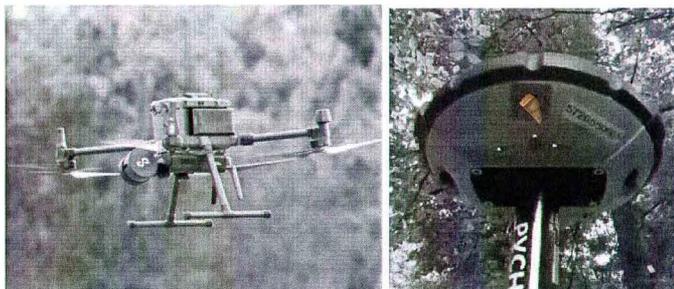


Рис. 1. Квадрокоптер и приёмник

Используя специальное программное обеспечение, программируется маршрут полёта дрона и задаются границы измерений. На рисунке 2 показано расположение точек для оценки объёма штабелей круглых лесоматериалов.

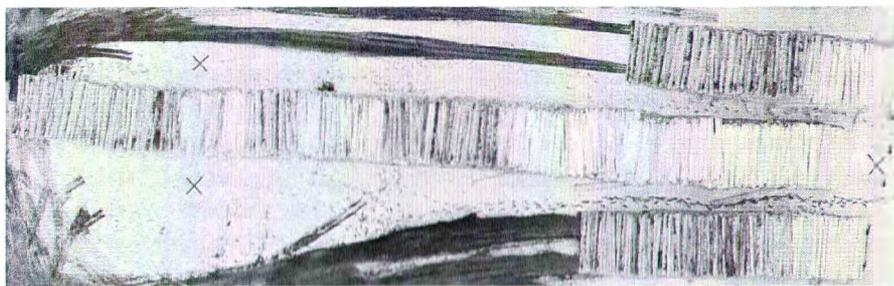


Рис. 2. Расположение точек для оценки объёма штабелей

Для постройки 3D модели объекта используются специальные алгоритмы. 3D модель позволяет определить геометрический объем штабеля. Для перехода от складочного объема к плотному

рассчитывают коэффициент полндревесности [20-21]. Для этого используют замкнутую в квадрат площадью 1 м<sup>2</sup> металлическую линейку (рисунок 3). Представленный способ позволяет получать высокоточные трехмерные модели штабелей для анализа информации об их объемах, а также оценивать коэффициенты полндревесности для перехода от складочного объема к плотному.



Рис. 3. Определение коэффициента полндревесности

Цифровизация позволяет улучшить внутренний контроль лесопользования на уровне региональных органов управления лесами и предприятий за счёт автоматизации проверки точности данных. Однако внедрению цифровых технологий препятствуют такие факторы, как короткий срок планирования лесохозяйственной деятельности арендаторов, нежелание инвестировать в цифровую трансформацию производства, частые изменения в законодательстве, высокие экономические затраты на внедрение новых технологий, неразвитость рынка консалтинговых услуг и другие проблемы.

В ходе изучения состояния вопроса проанализированы научные работы, направленные на совершенствование методов учёта древесины [22-29]. Среди рассмотренных научных трудов следует отметить работу [26], в которой анализируются факторы, влияющие на определение объёма брёвен с применением радиочастотного метода, а также предлагается внедрение этого метода для измерения круглых лесоматериалов. Для этого в работе выявлены факторы, влияющие на прохождение радиочастотного сигнала через древесину. К этим факторам относятся: порода, влажность и диаметр лесоматериалов. Кроме того, в работе приведена необходимая лабораторная установка для проведения исследований и разработана методика выполнения экспериментов. Также с помощью обработки данных была выявлена зависимость факторов при заданных параметрах влияния на радиочастотный сигнал при определении объёма древесины. На основе проделанной работы сделаны основные выводы, касающиеся того, что проблема использования радиочастотного сигнала не решена и требуется наиболее детальная проработка данного вопроса. Также следует отметить работу [28], в которой рассматривается проблема эффективности приёмки пиловочного сырья, поступающего железнодорожным транспортом на деревоперерабатывающее предприятие ЗАО «Лесозавод 25». Для совершенствования логистической системы на предприятии и сокращения издержек в работе предложена и экономически обоснована необходимость установки линии сортировки круглых лесоматериалов на пункте выгрузки пиловочного сырья из железнодорожных вагонов. Подобное решение позволит уменьшить общие трудозатраты при приёвке лесоматериалов, путем сведения к нулю перевозок автотранспортом неликвидного пиловочного сырья на ЗАО «Лесозавод» 25. Для исследования представляет большой интерес научная работа, в которой автор предлагает методику и научное обоснование параметров измерения объёма лесоматериалов с использованием пневмометрического метода [29]. Также в исследовании проанализировано специализированное программное обеспечение, позволяющее определять объёмы древесины с помощью мобильного оборудования [30-33].

На базе крупного лесопромышленного предприятия ООО «ГК Регион-лес» авторами проведено экспериментальное исследование, в ходе которого проанализированы используемые методы учета объемов круглых лесоматериалов. Предприятие представляет собой групповое объединение, осуществляющее полный комплекс работ по заготовке, переработке и транспортировке круглых лесоматериалов на территории Архангельской области.

Для анализа измерений объемов круглых лесоматериалов рассмотрены следующие методы:

– способ учета по ГОСТ 2708-75 и ГОСТ 2292-88;

- способ усеченного конуса;
- способ верхнего диаметра и среднего сбега;
- способ концевых сечений (метод Смалиана);
- способ верхнего диаметра и нормального сбега;
- способ срединного сечения (метод Губера);
- шведский метод вписанного цилиндра;
- норвежский метод верхнего диаметра и нормального сбега.

Для проведения предварительного исследования произведена раскатка 20 бревен (рисунок 4). Измерение длины бревна производилось с помощью рулетки, измерение диаметра – мерной вилки. Технические характеристики измерительных приборов и способы измерения соответствуют ГОСТ 32594-2013 – Лесоматериалы круглые. Методы измерений.



Рис. 4. Определение объемов бревен

На каждом бревне произведены необходимые замеры длины и диаметров для определения объема бревна вышеописанными методами. Для определения длины круглых лесоматериалов измерено наименьшее расстояние между двумя параллельными плоскостями, пересекающими бревно у каждого торца перпендикулярно к его продольной оси. Диаметр измерен в долях сантиметра по длине перпендикуляра между двумя параллельными прямыми, касающимися окружности поперечного сечения бревна с противоположных сторон. Измерение диаметров на торцах производилось без учёта коры.

Также проведены измерения объемов штабелей с помощью квадрокоптера и технологий высокоточного лазерного сканирования, а также проведены необходимые вычисления объемов штабелей круглых лесоматериалов. Для исследования использовано следующее оборудование:

- квадрокоптер DJI Enterprise Matrice 300 с РТК модулем;
- лидар DJI Zenmuse L2;
- GNSS приемник PiGO Lite;
- GNSS приемник SOUTH S82V;
- мобильный лазерный сканер TOPODRONE hires.

Используемое оборудование представлено на рисунке 5.



Рис. 5. Используемое оборудование

В результате проведенных экспериментальных измерений определены объемы круглых лесоматериалов. Результаты расчетов приведены на графике (рисунок 6.)

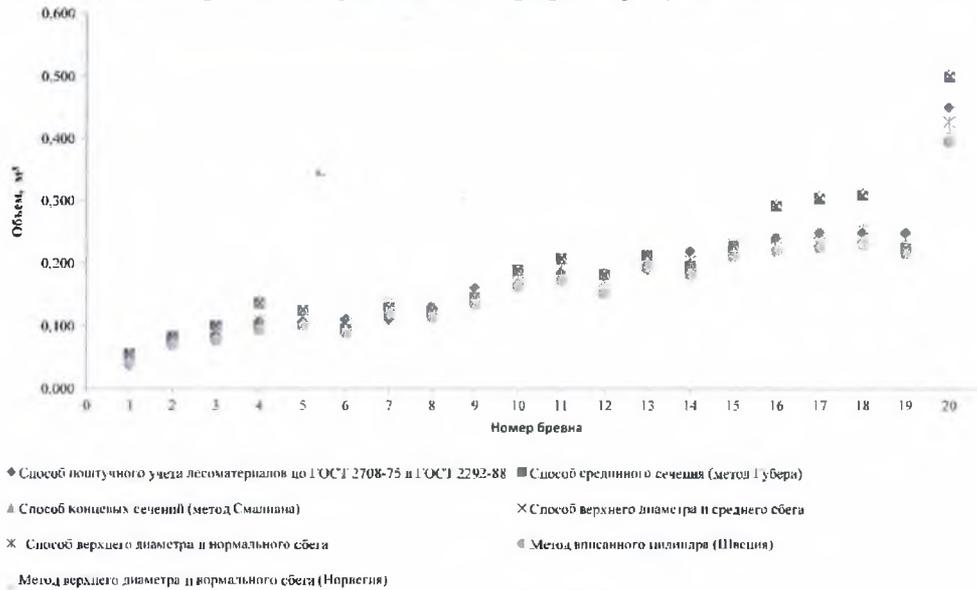


Рис. 6. Объемы круглых лесоматериалов, определенных разными методами учета

Анализ данных показывает, что разница в методах определения объёма лесоматериалов увеличивается с ростом диаметра круглых лесоматериалов. Например, метод вписанного цилиндра (Швеция) занижает объём по сравнению с другими методами. При этом объём, рассчитанный по методам срединного сечения, верхнего диаметра и среднего сбега, концевых сечений, повышен, но их значения на графике примерно одинаковы. Объёмы, определённые по ГОСТ 2708 -75 и методу верхнего диаметра и нормального сбега, имеют средние значения по сравнению с другими методами, так как в них индивидуальный сбег лесоматериалов учитывается слабо.

В ходе обработки данных с квадрокоптера с помощью программного обеспечения Agisoft и ArcGis получены 3D модель оцениваемых штабелей (фрагмент представлен на рисунок 7), цифровая модель местности с высотными характеристиками (рисунок 8), а также определены объемы штабелей (пример представлен на рисунок 9).

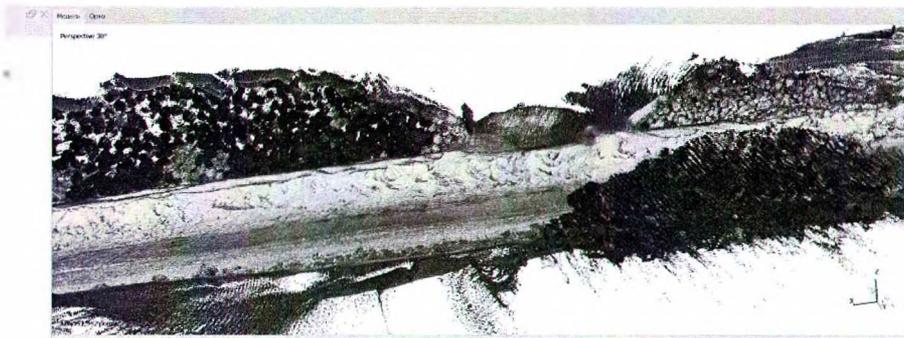


Рис. 7. Фрагмент 3D модели штабелей

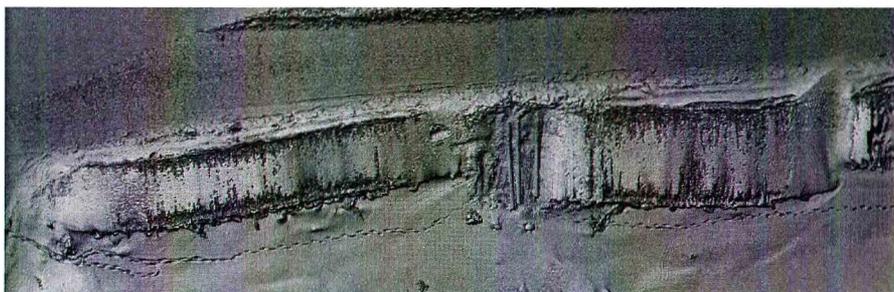


Рис. 8. Цифровая модель местности



Рис. 9. Определение объемов штабелей

## Вывод

В ходе исследований затронута актуальная проблема учета круглых лесоматериалов на лесопромышленных предприятиях в России. На основе аналитического обзора основных методов и способов учета лесоматериалов, используемых в России и за рубежом, выявлены некоторые их особенности применения, а также изучены их основные преимущества и недостатки. Использование современных цифровых методов определения объема круглых лесоматериалов (с помощью мобильных приложений и с применением беспилотных летательных аппаратов) может значительно ускорить процесс приемки древесины, повысить точность определения объемов, а также упростить документооборот при условии их правильного применения и создания специализированной системы автоматизированного учета. В настоящее время известны фотометрические системы для определения объемов древесины, которые используют технологии компьютерного зрения и машинного обучения. По мнению авторов, такие технологии необходимо развивать и дальше.

С помощью полученных результатов экспериментальных исследований сделан предварительный анализ методов учета круглых лесоматериалов, применяемых в России и за рубежом. Для определения наиболее оптимальных методов учета круглых лесоматериалов необходимо продолжение исследований и большее количество данных. В продолжении исследований планируется рассмотреть более большую выборку бревен и по ней определить наиболее объективный способ учета круглых лесоматериалов.

## Литература

1. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Эффективность лесопользования в России // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 5. С. 24-30.
2. Куницкая О.А. Ресурсы низкотоварной древесины в субъектах Российской Федерации // Наука, образование, инновации в приграничном регионе. Материалы республиканской научно-практической конференции. Петрозаводский государственный университет. 2015. С. 15-17.
3. Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Помигуев А.В. Энерго-ресурсосберегающие технологии электроснабжения лесных терминалов // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике. материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2021. С. 112-117.
4. Куницкая О.А. Тенденции развития лесопромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) // Вестник АГАТУ. 2022. № 2 (6). С. 70-79.
5. Зорин М.В., Куницкая О.А. Инновационные методы строительства лесных дорог // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. Красноярск, 2022. С. 84-87.
6. Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 66-69.
7. Тетеревлева Е.В., Гринько О.И., Григорьева О.И. Транспортно-технологические машины для тушения лесных пожаров на базе колесных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 374-377.
8. Куницкая О.А. Перспективы развития нижних лесопромышленных складов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 246-249.

9. Куницкая О.А. Обоснование направлений диверсификации обработки низкотоварной древесины на комплексных лесопромышленных предприятиях с использованием инновационных технологий. - СПб.: СПбГЛТУ, 2015. - 250 с.

10. Куницкая О.А., Макуев В.А., Стородубцева Т.Н., Калита Г.А., Ревяко С.И., Тимохов Р.С. Проблемы повышения качества отечественного лесного машиностроения // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 4 (56). С. 57-63.

11. Perfiliev P, Zadrauskaite N, Rybak G Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18(1.5), Austria, 2018, pp. 765-772.

12. Zadrauskaite N, Perfiliev P, Glavatskih N Wood quality potential as a criterion for forest management // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18(3.2), Bulgaria, 2018, pp. 1045-1052.

13. Беляев Н.Л., Куницкая О.А., Вернер Н.Н., Тихонов Е.А., Алексеенко В.Г. Направления совершенствования учета круглых лесоматериалов и его нормативной базы для эффективного использования мобильных цифровых технологий // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 2 (58). С. 129-138.

14. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Швецова В.В., Рудов М.Е., Григорьев В.И. Развитие цифрового учета круглых лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 2 (54). С. 55-63.

15. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. О необходимости повышения точности учета круглых лесоматериалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. С. 18-19.

16. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Обоснование необходимости повышения эффективности учета круглых лесоматериалов // Вестник АГАТУ. 2021. № 4 (4). С. 73-79.

17. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Измерения и учет круглых лесоматериалов: история и перспективы развития // Вестник АГАТУ. 2023. № 1 (9). С. 58-86.

18. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Пути совершенствования нормативной базы группового учета круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: материалы Всероссийской научно-практической конференции (24– 28 апреля 2023 г.) / под ред. Ю. М. Казакова [и др.]; Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. С. 11-15.

19. Forestscanner. Измерение леса дронами. [Электронный ресурс]: <https://www.forestscanner.net/>. Режим доступа: <https://www.forestscanner.net/prakticheskij-opyt-izmereniya-shtabelej-drevesiny-dronami-na-nizhnem-sklade/>. свободный (дата обращения 09.02.2025). – Загл. с экрана

20. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г. Совершенствование методики программного определения объема партии круглых лесоматериалов для повышения точности результатов её применения // Resources and Technology. 2022. Т. 19. № 1. С. 1-47.

21. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Инновационные методы импортозамещения в области учета круглых лесоматериалов // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. Красноярск, 2022. С. 69-73.

22. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Современные технологии оптического группового учета круглых лесоматериалов // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2022. С. 50-53.

23. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г., Пузанова О.А. Результаты экспериментальных исследований программного определения объема партии лиственных лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 1 (53). С. 99-106.

24. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г. Результаты экспериментальных исследований программного определения объема партии хвойных лесоматериалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 4. С. 49-59.

25. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Элементы повышения точности учета сортиментов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. С. 19-21.

26. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Развитие оптических технологий для группового и поштучного

измерения и учёта круглых лесоматериалов // Вестник АГАТУ. 2022. № 1 (5). С. 74-85.

27. Морозова Е.С. Обоснование параметров, влияющих на определение объёма бревен при использовании радиочастотного способа (порода, диаметр, влажность древесины) [Текст] : маг. дис. 35.04.02 / [Место защиты: Инст. лесопромыш. бизнеса и дрож. строит.]. – Екатеринбург, 2018 – 80 с.

28. Таразевич А, А. Совершенствование логистики лесоснабжения предприятий группы «Титан». [Текст] : маг. дис. 35.04.02 / [Место защиты: Сев. (Аркт.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова]. – Архангельск, 2019 – 99 с.

29. Бутаков С.В. Обоснование пневмометрического метода определения объемов лесоматериалов [Текст] дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук 05.21.05 / [Место защиты: АГТУ]. – Архангельск, 2008, – 195 с.

30. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Бесконтактные технологии в учёте древесины // Деревянное домостроение Севера: традиции и инновации. Сборник статей по материалам всероссийской научно-практической конференции. Петрозаводск, 2023. С. 12-14.

31. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Возможности импортозамещения в сфере цифрового учёта лесоматериалов // Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2022. С. 62-66.

32. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Пути совершенствования нормативной базы группового учета круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: материалы Всероссийской научно-практической конференции (24– 28 апреля 2023 г.) / под ред. Ю. М. Казакова [и др.]; Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. С. 11-15.

33. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Перспективные технологии повышения эффективности группового учета круглых лесоматериалов // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2021. С. 22-26.

©Перфильев П.Н. – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой лесопромышленных производств и обработки материалов ФГАОУ ВО «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (ФГАОУ ВО «САФУ им. М.В. Ломоносова»), e-mail: p.perfilev@narfu.ru; Голякевич С.А. – канд. техн. наук, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства, Белорусский государственный технологический университет (БГТУ), e-mail: gsa@belstu.by; Савенков Д.А. – генеральный директор ООО «Открытый лес», e-mail: Savenkov\_dm@mail.ru; Галкина Е.А. – ст. препод. кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»), e-mail: galo4enok@yandex.ru; Григорьев И.В. – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (ФГБОУ ВО «АГАТУ»), e-mail: silver73@inbox.ru.

UDC 657.6

## RESEARCH OF ACCOUNTING METHODS FOR ROUND TIMBER

P.N. Perfiliev, S.A. Golyakevich, D.A. Savenkov, E.A. Galkina, I.V. Grigoriev

*Over 190 million m<sup>3</sup> of wood is harvested annually in the Russian Federation. In conditions of developed market relations, one of the problems in the transfer of timber to enterprises engaged in their processing is the accurate accounting of wood. The accounting problem is one of the important aspects in the constant struggle of timber industry enterprises to increase the profitability of production and reduce the cost of production. There are currently a large number of different ways to measure the volume of roundwood in the world. It is also important to note that accounting technologies do not stand still, but are constantly evolving. The main characteristic feature of the accounting results for roundwood is the level of error in measuring the volume, as a result of which there is a shortage or surplus of timber when they are moved from one division of the timber industry to another. Recently, research has been conducted and new methods of accounting for wood have been developed. Automated accounting technologies are actively developing. In the era of digitalization, it is important to have highly qualified specialists responsible for timber accounting. For example, modern logging machines are equipped with measurement systems that allow accurate tracking of the volume of harvested wood after calibration, but there are not enough operators capable of working with such systems in modern realities. The personnel shortage in the timber industry is being discussed at all levels of government in the Russian Federation. Thus, the effective organization of accounting for roundwood is an important task for every enterprise in the timber industry. The paper presents an analysis of accounting methods for roundwood used in*

*Russia and abroad, with special attention paid to the use of modern methods of objective accounting. The article also presents the results of a study of the state of the issue under study, the results of an experimental study conducted at a timber industry enterprise, their analysis and conclusions based on the conducted research.*

**Keywords:** *accounting, round timber, stack, quadcopter, optimality.*

### References

1. Grigorev I.V., Grigoreva O.I. [Efficiency of forest management in Russia] // *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology] 2016. No. 5. pp. 24-30. (InRuss.)
2. Kunickaya O.A. [Resources of low-commodity wood in the subjects of the Russian Federation] // *Nauka, obrazovanie, innovacii v prigranichnom regione. Materialy respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Petrozavodskij gosudarstvennyj universitet.* [Science, education, innovations in the border region. Materials of the Republican scientific and practical conference. Petrozavodsk State University] 2015. pp. 15-17.
3. Kunickaya O.A., Storodubceva T.N., Pomiguyev A.V. [Energy-saving technologies for power supply of forest terminals] // *Energo-resursosberegayushchie tekhnologii elektrosnabzheniya lesnyh terminalov // Ekologo-resursosberegayushchie tekhnologii v nauke i tekhnike. materialy Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Voronezh* [Ecological and resource-saving technologies in science and technology. materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference], 2021. pp. 112-117.
4. Kunickaya O.A. [Trends in the development of the timber industry in the Republic of Sakha (Yakutia)] // *Vestnik AGATU* [Bulletin of AFATU] 2022. № 2 (6). pp. 70-79.
5. Zorin M.V., Kunickaya O.A. [Innovative methods of forest road construction] // *Innovacii v himiko-lesnom komplekse: tendencii i perspektivy razvitiya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Otv. redaktory Yu.A. Bezrukih, E.V. Mel'nikova. Krasnoyarsk, 2022. S. 84-87. Innovacionnye metody stroitel'stva lesnyh dorog // Innovacii v himiko-lesnom komplekse: tendencii i perspektivy razvitiya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Otv. redaktory Yu.A. Bezrukih, E.V. Mel'nikova. Krasnoyarsk [Innovations in the chemical and forestry complex: trends and development prospects. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Editors Yu.A. Bezrukih, E.V. Melnikova. Krasnoyarsk] 2022. pp. 84-87.*
6. Grigoreva O.I., Davtyan A.B., Grinko O.I. [Prospects of import substitution in the production of forestry and fire fighting machines in Russia] // *Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny. Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Krasnoyarsk* [Forest exploitation and integrated use of wood. Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. Krasnoyarsk], 2020. pp. 66-69.
7. Teterevleva E.V., Grinko O.I., Grigoreva O.I. [Transport and technological machines for extinguishing forest fires based on wheeled all-terrain vehicles] // *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Otv. redaktor N.S. Zaharov* [Transport and transport and technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief N.S. Zakharov]. 2020. pp. 374-377.
8. Kunickaya O.A. [Prospects for the development of the lower timber industry warehouses] // *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice]. 2015. Vol. 3. № 2-2 (13-2). pp. 246-249.
9. Kunickaya O.A. [Substantiation of the directions of diversification of low-commodity wood processing at complex timber enterprises using innovative technologies] - SPb.: SPbGLTU [SPb.: SPFTU], 2015. - 250 p.
10. Kunickaya O.A., Makuev V.A., Storodubceva T.N., Kalita G.A., Revyako S.I., Timohov R.S. [Problems of improving the quality of domestic forestry engineering] // *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [System. Methods. Technologies] 2022. № 4 (56). pp. 57-63.
11. Perfiliev P, Zadrauskaite N, Rybak G Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18(1.5), Austria, 2018, pp. 765-772.*
12. Zadrauskaite N, Perfiliev P, Glavatskih N Wood quality potential as a criterion for forest management // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18(3.2), Bulgaria, 2018, pp. 1045-1052.*
13. Belyaev N.L., Kunickaya O.A., Verner N.N., Tihonov E.A., Alekseenko V.G. [Directions for improving roundwood accounting and its regulatory framework for the effective use of mobile digital technologies] // *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies] 2023. № 2 (58). pp. 129-138.

14. Kunickaya O.A., Belyaev N.L., Shvecova V.V., Rudov M.E., Grigorev V.I. [Development of digital accounting of round timber] // *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies] 2022. № 2 (54). pp. 55-63.

15. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [On the need to improve the accuracy of accounting for round timber] // *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy Vos'moj Vserossijskoj nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk* [Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk], 2022. pp. 18-19.

16. Kunickaya O.A., Belyaev N.L. [Substantiation of the need to increase the efficiency of accounting for round timber] // *Vestnik AGATU* [Bulletin of AFATU] 2021. No. 4 (4). pp. 73-79.

17. Kunickaya O.A., Belyaev N.L. [Measurement and accounting of roundwood: history and development prospects] // *Vestnik AGATU* [Bulletin of AFATU] 2023. No. 1 (9). pp. 58-86.

18. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [Ways to improve the regulatory framework for group accounting of round timber] // *Aktual'nye problemy lesnogo hozyajstva i derevopererabotki: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (24– 28 aprelya 2023 g.) / pod red. Yu. M. Kazakova [i dr.]; Minobrnauki Rossii; Kazan. nac. issled. tekhnol. un-t. – Kazan' : Izd-vo KNITU* [Actual problems of forestry and wood processing: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (April 24-28, 2023) / edited by Yu. M. Kazakov [et al.]; Ministry of Education and Science of Russia; Kazan National University. research. technol. un-T. Kazan : KNRTU Publishing House], 2023. pp. 11-15.

19. Forest scanner. Measuring the forest with drones. [Electronic resource]: <https://www.forestscanner.net/>. Access mode: <https://www.forestscanner.net/prakticheskij-opyt-izmereniya-shtabelej-drevesiny-dronami-nazhzhnem-sklade/>. free (accessed 02/09/2025). – Caption from the screen

20. Kunickaya O.A., Belyaev N.L., Hitrov E.G. [Improving the methodology for programmatically determining the batch volume of roundwood to improve the accuracy of the results of its application] // *Resources and Technology*. 2022. Vol. 19. No. 1. pp. 1-47.

21. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [Innovative methods of import substitution in the field of round timber accounting] // *Innovacii v himiko-lesnom komplekse: tendencii i perspektivy razvitiya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Otv. redaktory Yu.A. Bezrukih, E.V. Mel'nikova. Krasnoyarsk* [Innovations in the chemical and forestry complex: trends and development prospects. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Editors Yu.A. Bezrukih, E.V. Melnikova. Krasnoyarsk], 2022. pp. 69-73/

22. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [Modern technologies of optical group accounting of round timber] // *Lesnaya inzheneriya, materialovedenie i dizajn. materialy 86-j nauchno-tekhnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem). Minsk* [Forest engineering, materials science and design. Proceedings of the 86th Scientific and Technical Conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation). Minsk], 2022. pp. 50-53.

23. Kunickaya O.A., Belyaev N.L., Hitrov E.G., Puzanova O.A. [The results of experimental studies of software determination of the batch volume of hardwood timber] // *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies] 2022. No. 1 (53). pp. 99-106.

24. Kunickaya O.A., Belyaev N.L., Hitrov E.G. [Results of experimental studies of software determination of the batch volume of coniferous timber] // *Derevoobratyvvayushchaya promyshlennost* [The woodworking industry]. 2021. № 4. pp. 49-59.

25. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [Elements of improving the accuracy of sorting accounting] // *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy Vos'moj Vserossijskoj nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk* [Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk], 2022. pp. 19-21.

26. Kunickaya O.A., Belyaev N.L. [Development of optical technologies for group and piece measurement and accounting of round timber] // *Vestnik AGATU* [Bulletin of AFATU] 2022. No. 1 (5). pp. 74-85.

27. Morozova E.S. [Substantiation of the parameters influencing the determination of the volume of logs when using the radio frequency method (rock, diameter, moisture content of wood)] [Text] :mag. dis. 35.04.02 / [Place of protection: Inst. timber mill. business and trembling. builds.]. – Yekaterinburg, 2018 – 80 p.

28. Tarazevich A., A. [Improving the logistics of forest supply to enterprises of the Titan Group]. [Text] :mag. dis. 04/35/02 / [Place of protection: North (Arctic) Federal M. V. Lomonosov University]. – Arkhangelsk, 2019 – 99 p.

29. Butakov S.V. [Substantiation of the pneumometric method for determining the volume of timber] [Text] diss. for the job. learned. step. Candidate of Technical Sciences 05.21.05 / [Place of defense: AGTU]. Arkhangelsk, 2008, 195 p.

30. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [Contactless technologies in wood accounting] // Derevyannoe domostroenie Severa: tradicii i innovacii. Sbornik statej po materialam vsrossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Petrozavodsk [Wooden house construction in the North: traditions and innovations. Collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference. Petrozavodsk], 2023. pp. 12-14.

31. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [The possibilities of import substitution in the field of digital timber accounting] // Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny. Sbornik statej IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Krasnoyarsk [Forest exploitation and integrated use of wood. Collection of articles of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnoyarsk], 2022. pp. 62-66.

32. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [Ways to improve the regulatory framework for group accounting of round timber] // Aktual'nye problemy lesnogo hozyajstva i derevoprerabotki: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (24– 28 aprelya 2023 g.) / pod red. Yu. M. Kazakova [i dr.]; Minobrnauki Rossii; Kazan. nac. issled. tekhnol. un-t. – Kazan' : Izd-vo KNITU [Actual problems of forestry and wood processing: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (April 24-28, 2023) / edited by Yu. M. Kazakov [et al.]; Ministry of Education and Science of Russia; Kazan National University. research. technol. un-T. Kazan : KNRTU Publishing House], 2023. pp. 11-15.

33. Belyaev N.L., Kunickaya O.A. [Promising technologies for improving the efficiency of group accounting of round timber] // Ekologo-resursoberegayushchie tekhnologii v nauke i tekhnike. Materialy Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Voronezh [Ecological and resource-saving technologies in science and technology. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Voronezh], 2021. pp. 22-26.

©**Perfilev P.N.** – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Timber Industry and Materials Processing, Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov (NAFU named after M.V. Lomonosov), e-mail: p.perfilev@narfu.ru; **Golyakevich S.A.** – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Forest Machinery, Roads and Technologies of Timber Production, Belarusian State Technological University (BSTU), e-mail: gsa@belstu.by; **Savenkov D.A.** – General Director of Open Forest LLC, Savenkov\_dm@mail.ru; **Galkina E.A.** – Senior Lecturer of the Department of Technosphere Safety, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPBSUACE), e-mail: galo4enok@yandex.ru; **Grigorev I.V.** – Grand PhD in Engineering Sciences Professor of the Department of Technology and Equipment of the forest complex, Arctic State Agrotechnological University (ASATU), e-mail: silver73@inbox.ru.