

УДК 674.038+630\*52

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ УЧЕТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СКЛАДАХ

**Куницкая Ольга Анатольевна**

доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»

г. Якутск, Россия

e-mail: ola.ola07@mail.ru

**Беляев Николай Львович**

представитель компании в Российской Федерации

Timbeter OÜ, г. Таллин, Эстония

e-mail: nikolai@timbeter.com

**Аннотация.** Учет заготовленной древесины является важным процессом лесозаготовительного производства, от его точности и эффективности во многом зависят экономические показатели работ. В статье приведены методика и аппаратура проведенных экспериментальных исследований по измерению и учету круглых лесоматериалов в производственных условиях. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

**Ключевые слова:** ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ, УЧЕТ ДРЕВЕСИНЫ, КРУГЛЫЕ ЛЕСОМАТЕРИАЛЫ, ГРУППОВОЙ УЧЕТ, СОРТИМЕНТ

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения точности учета заготовленной древесины на всех этапах лесозаготовительного производства по-прежнему остается весьма актуальной. Достаточно часто измерение и учет круглых лесоматериалов проводится на разных стадиях производственного процесса, от пасеки (харвестером [1-3]) до лесопромышленного склада [4]. Финальным этапом данного процесса является учет круглых лесоматериалов, обычно сортиментов на биржах сырья потребителей лесопродукции.

Уточняющие геометрические характеристики круглых лесоматериалов хвойных и лиственных пород были получены при проведении экспериментальных исследований в производственных условиях с целью дальнейшей обработки данных и для получения регрессионных зависимостей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы, представленные в статье получены в результате обработки данных на основании проведенных экспериментальных исследований по измерению и учету круглых лесоматериалов в производственных условиях.

Экспериментальные исследования измерений объемов лесоматериалов лиственных пород проводились в условиях биржи сырья фанерного комбината в Приволжском федеральном округе. Предприятие является одним из деревообрабатывающих комбинатов в составе группы компаний и перерабатывает до 300 тыс. м<sup>3</sup> фанерного кряжа ежегодно. Основная доля фанерного сырья поступает на предприятие автомобильным и железнодорожным транспортом в радиусе 500 км от комбината. Кроме закупаемого сырья предприятие осуществляет и собственную заготовку древесины лесозаготовительными машинными комплексами: харвестер - форвардер. Фанерный кряж собственной заготовки также поступает на переработку на комбинат. На биржу сырья преимущественно поступает фанерный кряж номинальной длиной 5,2 м. Приёмка сырья осуществляется сотрудниками предприятия вручную поштучно по таблицам [5], с разгрузкой каждого транспортного средства, как это показано на рисунке 1. Расчёт с продавцом сырья проводится также на основании результатов поштучных ручных измерений. Контроль прибывающего транспорта осуществляется на основании фотографирования каждого транспортного средства.

За контрольный объём партии сырья для экспериментального исследования были взяты результаты ручной поштучной приёмки, как это описано выше. Следует отметить, что процедура ручной приёмки трудоёмкая, занимает в расчёте на автомобильную партию значительный промежуток времени и связана с выполнением серьезных требований техники безопасности.



Рис. 1. Измерения фанерного кряжа на складе сырья вручную [5]

Если же осуществлять такие же измерения древесины, поступающей на биржу сырья предприятия с использованием программного комплекса Timberer, время определения объема одной транспортной пачки лесоматериалов займет 2-3 минуты (рис.2).

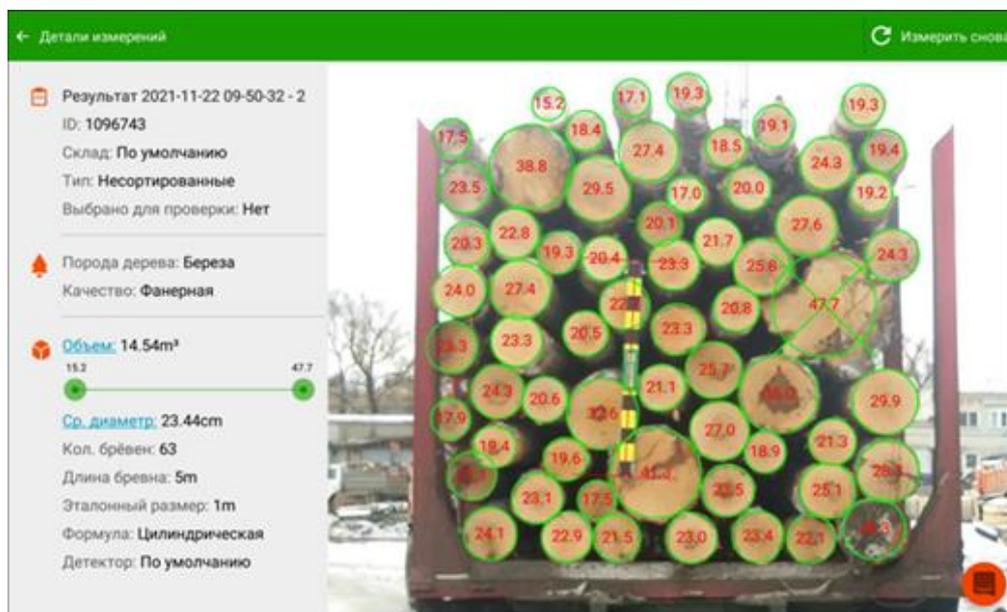


Рис. 2. Определение программного объема партии берёзового фанерного кряжа по диаметрам торцов (скриншот окна приложения)

Экспериментальные исследования измерений объемов лесоматериалов хвойных пород производились на одном из крупных лесопильных производств в Красноярском крае. Предприятие входит в группу компаний, на базе которых перерабатывается порядка одного миллиона кубических метров сырья в год. Заводские мощности позволяют производить пиломатериалы различных наименований и сортов, а также топливные гранулы. Большая часть сырья, перерабатываемая предприятием, поступает от собственной лесозаготовки, остальная закупается у сторонних организаций. Поставка сырья на биржу сырья комбината производится автотранспортом, в период навигации водным транспортом, в плотках, с дальнейшей перевалкой через промежуточный склад на автомобильный транспорт. Сырьё, поступающее автотранспортом на биржу сырья, учитывается работниками сторонней подрядной организации круглосуточно, геометрическим методом [6] с использованием эстакады. На предприятии установлены две измерительно-сортировочные линии. В отдельных случаях приёмка индивидуальных партий производится поштучно, по результатам измерений на линии, с определением плотного объема пиловочника без учёта коры по таблицам [5].

Плотный объём лесоматериалов, поступивших на биржу сырья, вычисляется через коэффициент полнодревесности, утверждённый приказом по предприятию. С целью проведения данного исследования в качестве контрольного измерения использовалось ручное поштучное измерение объёма лесоматериалов [5] (рис.3).

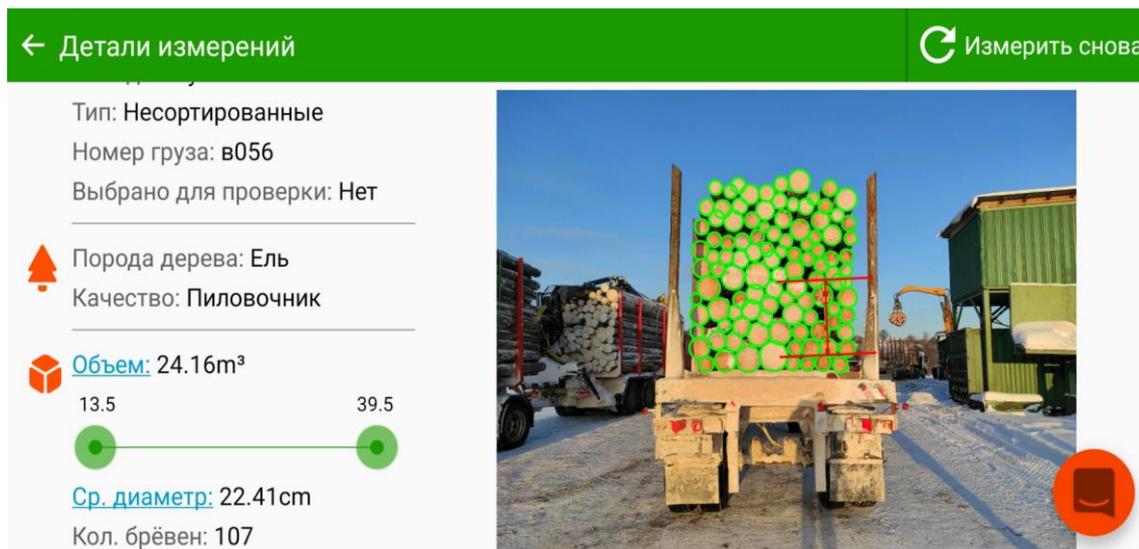
Этому способу измерения и учета хвойных сортиментов присущи все те же лимитирующие факторы, что и при измерении и учете лиственных лесоматериалов ручным способом.



**Рис. 3.** Измерения пиловочника хвойного на складе сырья вручную по таблицам ГОСТ 2708-1975

В задачу настоящего исследования входило сравнение величин рабочего и контрольного определения объёмов нескольких партий (выборок) круглых лесоматериалов лиственных и хвойных. В качестве рабочего метода выбрано программное определение объёма с помощью программного обеспечения Timbeter, а контрольные (базовые измерения) измерения проводились вручную.

Алгоритм проведения работ был следующий. Партии лесоматериалов, погруженных на лесовоз, прибывают к месту измерения, производится первичный контроль направления укладки лесоматериалов в штабель, при этом из выборки исключаются штабели, уложенные вершинами (более тонкими торцами) сортиментов в одну сторону, вперёд или назад по ходу движения. При визуальном отличии высоты лицевой части штабеля от высоты его задней части более чем на 10%, штабель исключается из попадания в выборку. Далее устанавливается эталон (линейка длиной 1 м) на заднюю торцевую поверхность штабеля и осуществляется фотографирование этой поверхности штабеля вместе с эталоном на мобильное устройство (планшет/терминал сбора данных) через установленное на него программное приложение Timbeter (рис. 2 и рис. 4).



**Рис. 4.** Определение программного объёма партии пиловочника елового по диаметрам торцов (скриншот окна приложения)

После этого посредством мобильного устройства производится обработка снимка в режиме «Диаметр». На основании алгоритма программа с использованием искусственного интеллекта обрабатывает снимок, распознаёт и идентифицирует все торцы сортиментов и вычисляет их площади в масштабе изображения с использованием известной длины эталона, после чего вычисляет объём каждого сортимента по формуле цилиндра, умножая полученную площадь на введённые оператором данные номинальной длины сортимента. Кроме того, на основании полученной площади каждого торца вычисляется его диаметр (рис. 5), в сантиметрах до первой значащей цифры после запятой. Затем общий объём всех брёвен суммируется, в результате чего получается **рабочий объём** выборки. В заключительной стадии измерения снимается эталон, а лесовоз направляется на разгрузку.

Штабель из лесовоза разгружается (на подкладки и раскатывается в один слой) с помощью разгрузочно-погрузочного оборудования, после чего бригада из 2-х человек определяет **контрольный объём** этой же партии сортиментов в соответствии с [5] по таблицам объёмов исходя из ступени толщины вершинного торца бревна и его номинальной длины. В результате всех манипуляций получается рабочий объём партии, определённый с помощью программного комплекса Timbeter и контрольный объём, полученный на основании ручных измерений опорным методом. В процессе программной обработки изображения также определяются другие величины, необходимые для проведения эксперимента: число брёвен в выборке и средний диаметр торца, пример результатов представлен на рис.2 и рис.4.



Рис. 5. Определение диаметров торцов партии

Цифровая оценка объёма лесоматериалов заслуживает отдельного внимания, поэтому приведём здесь его инновационную основу – методику распознавания торцов.

При использовании фотографического метода получают 2D изображение, а вместе с ним и возможность его цифровой обработки.

Известно, что есть алгоритм, распознающий лицо на фотографии, а на лице — улыбку. Алгоритм обнаружения сортиментов в штабеле по фотографии на основе машинного зрения работает на основе тех же принципов [7] вместе с соответствующей методикой определения объёма штабеля.

Алгоритм распознает бревна на фотографии, что позволяет программе получать точную информацию о диаметрах отдельных сортиментов, об объёмах и плотности штабелей, а также общее количество сортиментов в штабеле.

Процесс распознавания каждого сортимента на фотографии проходит в 5 этапов и длится не более 30 с.

Пошагово этот процесс происходит следующим образом:

Этап 1. «Кандидаты на бревно» обрабатываются с помощью машинного зрения методом «скользящего окна», который сводит проблему распознавания объекта к проблеме классификации образов. Изображение разбивается на

квадраты, каждый квадрат сканируется. При попадании в квадрат сортимент маркируется как «вероятно, бревно». Всего в алгоритме 3 классификации: «нет, не бревно», «возможно, бревно» и «вероятно, бревно».

Этап 2. Один и тот же сортимент может обнаружиться алгоритмом несколько раз, поэтому «кандидаты» с похожими положительными классификациями («вероятно, бревно») объединяются в одно распознавание. Размер и расположение сортимента на фото определяется по формуле взвешенного среднего арифметического, которая применяется к кандидатам с похожими положительными маркерами.

Этап 3. Все те объекты, которые были классифицированы как «не бревно», удаляются из анализируемых данных. При этом сортименты определенные, как объекты небольшого диаметра, скорее всего, не являются сортиментами. Кандидаты, отстающие от других по вероятностным характеристикам тоже, скорее всего, сортиментом не являются или же этот сортимент из другого штабеля. При этом учитываются такие факторы, как изначальные маркеры вероятности и пересечение положительных вероятностей.

Этап 4. Стадия очистки данных улучшает точность диаметра распознанных сортиментов. Алгоритм очистки применяется к нескольким сотням обнаружений, при этом включается анализ больших данных и результат становится точнее.

Этап 5. Вторичное распознавание методом скользящего окна, но с существенным отличием от этапа 1. Вторичный детектор ищет только те сортименты, которые подобны уже найденным. Вторичный детектор работает только с теми областями фотографии, на которых было обнаружено бревно на этапе 1 распознавания.

Такой многоэтапный подход к распознаванию объектов дает точные результаты оценки сортиментов за короткое время даже при использовании мобильных телефонов и планшетов. Если использовать более мощное оборудование, например стационарные компьютеры, то возможно запустить более мощные алгоритмы. Компания Timbeter сделала выбор в пользу мгновенных результатов измерений. При этом пользователь может находиться в лесу без подключения к Интернету, а в дальнейшем (после синхронизации устройства) возможно работать с полученными данными на более мощных стационарных устройствах. Основные этапы распознавания торцов представлены на рис. 6.



**Рис. 6.** Этапы распознавания торцов брёвен машинным зрением программы Timbeter

Помимо этого, фотооптическое измерение круглых лесоматериалов, основанное на алгоритмах искусственного интеллекта и технологии машинного обучения, позволяет определять область контура бревна под корой на основании более чем 2000 точек. Программный комплекс Timbeter позволяет преобразовать эту область в геометрически правильный круг и на этом основании высчитывает значение среднего диаметра сортимента. Этот процесс был создан для измерения поверхности бревен, как можно точнее путем конвертации фигуры с неправильной формой контура в идеальный круг [7,8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Альтернативой программному, в нашем случае исполняющего роль рабочего, методу определения объёма в исследуемой методике могли бы послужить и ручные измерения в обоих представленных вариантах:

а) при котором каждый диаметр торца на вертикальной торцевой поверхности штабеля измеряется вручную мерной вилкой или линейкой в двух взаимно перпендикулярных направлениях без учёта коры.

б) при котором эти же диаметры измеряются вручную и по их изображению также в двух взаимно перпендикулярных направлениях (без учёта коры) проводятся измерения с использованием в качестве масштаба размера изображения эталонной линейки.

Для каждого сортимента по его усреднённомu из двух измерений диаметру можно найти его объём (по формуле цилиндра) и, просуммировав объёмы всех сортиментов, определить объём всего штабеля. Необходимые для проведения исследований данные относительно количества сортиментов в штабеле и их среднему диаметру могут быть использованы результаты ручных измерений.

Представленные в данной статье альтернативные методы измерения и учета лесоматериалов не описаны в нормативной литературе и служат для наглядной иллюстрации сути использованного программного метода определения объёма. Применение таких альтернативных методов исследований наряду с программным не исключено в отдельных случаях. Методические основы эксперимента близки, по сути, к методу выборочного контрольного учёта сортиментов, где для накопления экспериментальных данных не случайно выбранные, а все рабочие измерения контролируются опорным методом. И в том, и в другом случае происходит накопление и попарное сравнение рядов рабочих и контрольных данных с последующей корректировкой рабочих значений с использованием инструментов статистической обработки.

В результате сравнения методики определения объёма по таблицам объёмов в соответствии [5] и алгоритма работы программного обеспечения Timberer можно сделать вывод о том, что полученные количественные показатели объёмов штабелей ручным способом будут иметь близкие к полученным программным путём значениям, но при этом будут значительно проигрывать по скорости и ресурсоёмкости выполняемых учётных операций. С помощью данных, полученных в результате использования программного обеспечения, накопление статистического материала, необходимого для корректного проведения исследований, происходит в разы быстрее, кроме того, минимизируется риск ошибок.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате анализа представленных методик можно сделать вывод о том, что имеется два значительно отличающихся друг от друга алгоритма определения объёма партии лесоматериалов. Отличия касаются как степени автоматизации, так и принципов вычисления объёма, лежащих в их основе. В случае ручного измерения оно производится по физическому объекту – сортименту, а программное измерение производится по изображению этого сортимента и его 2D модели в соответствующем масштабе. С помощью машинного зрения программный комплекс позволяет вычислять объём как сумму площадей торцов, умноженную на длину сортиментов. А ручные измерения предусматривают измерение диаметра верхнего торца сортимента по ступеням толщины, а затем находить его объём по табличным данным в соответствии с его длиной.

Методика эксперимента при использовании компьютерного зрения содержит в своей основе элементы выборочного контрольного учёта сортиментов, широко используемого не только в исследовательских целях, но и в производственной деятельности.

Отдельно следует отметить, что в случае использования программного обеспечения трудозатраты на определение объёма выборки на порядок ниже, чем при раскатке и ручном поштучном определении соответствующего объёма бревен.

Несмотря на существующие отличия в алгоритмах определения объёмов сортиментов, полученный вышеописанным способом набор данных по исследуемым выборкам позволяет произвести их сопоставление и определить степень корреляции исследуемых величин с нахождением уравнений их взаимозависимости.

#### Список использованной литературы

1. Григорьев И. В. Направления совершенствования харвестерных головок // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 45-47.
2. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Давтян А. Б. Современное технологическое оборудование валочных и харвестерных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 7. С. 9-16.
3. Рудов С. Е., Григорьев И. В. Пути повышения эффективности работы систем машин для сортиментной заготовки древесины // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 168-169.
4. Патакин В. И., Редькин А. К., Базаров С. М., Бирман А. Р., Бит Ю. А., Григорьев И. В., Шадрин А. А., Чемоданов А. Н. Технология и оборудование лесных складов и лесообрабатывающих цехов: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 656300 Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств по специальности 250401 Лесоинженерное дело / Москва, Издательство: Московский государственный университет леса - 2008. – 384 с.
5. ГОСТ 2708–75. Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов. М.: Издательство стандартов, 1975. 36 с.
6. ГОСТ 32594-2013. Лесоматериалы круглые. Методы измерений. М.: Стандартинформ, 2014, - 52 с.
7. M. Kambla, T. Sirp. Image processing apparatus and method for determining the volume of timber in a stack of logs. (Электронный ресурс). – Режим доступа URL: <https://patents.google.com/patent/US20190003829A1/en> (дата обращения 10.03.2023).
8. Швецова В. В. Автоматизация геометрического метода учета круглых лесоматериалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 149-150.

## METHODOLOGY FOR DETERMINING THE ACCURACY OF ROUND TIMBER ACCOUNTING IN TIMBER WAREHOUSES

### **Kunickaya Ol'ga Anatol'evna**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Arctic State Agrotechnological University  
Yakutsk, Russia  
e-mail: ola.ola07@mail.ru

### **Beliaev Nikolai Lvovich**

Official representative of company in Russian Federation  
Timbeter OÜ  
Tallinn, Estonia  
e-mail: nikolai@timbeter.com

**Abstract.** Accounting for harvested wood is an important process of logging production; its accuracy and efficiency largely determine the financial performance of the work. The article provides methods and equipment of experimental studies conducted in production conditions on measurement and accounting of round timber. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University. The research was carried out due to the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

**Keywords:** TIMBER HARVESTING, LOG ACCOUNTING, ROUND WOOD, GROUP ACCOUNTING, ASSORTMENT

© Куницкая О.А., Беляев Н.Л., 2023