

УДК 674.038+630\*52

**РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГРУППОВОГО И  
ПОШТУЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ И УЧЁТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ****Куницкая Ольга Анатольевна***доктор технических наук, профессор, Арктический государственный  
агротехнологический университет, г. Якутск, Россия, ola.ola07@mail.ru***Беляев Николай Львович***представитель компании в Российской Федерации, Timbeter OÜ, г. Таллин, Эстония  
nikolai@timbeter.com*

**Аннотация.** Учет заготовленной древесины является важным процессом лесозаготовительного производства, от его точности и эффективности во многом зависят финансовые показатели работ. В статье рассматриваются принципы дальнейшего развития оптических технологий поштучного и группового учета сортиментов. 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:** лесозаготовки, учет заготовленной древесины, круглые лесоматериалы, групповой учет, сортименты.

**DEVELOPMENT OF OPTICAL TECHNOLOGIES FOR BATCH AND PIECE-BY-PIECE MEASURING AND ACCOUNTING OF ROUND TIMBER****Kunickaya Ol'ga A.***Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University  
Yakutsk, Russia, ola.ola07@mail.ru***Beliaev Nikolai L.***Official representative of company in Russian Federation, Timbeter OÜ, Tallinn, Estonia  
nikolai@timbeter.com*

**Abstract.** Accounting of harvested wood is an important process for logging business, and the financial performance of the work is highly dependent on its accuracy and efficiency. The article discusses the principles of further development of optical technologies for piece-by-piece and group accounting of assortments. The work was performed 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 at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

**Keywords:** Timber harvesting, log accounting, roundwood, group accounting, assortment.

**Введение.** Технологии, базирующиеся на оптическом сканировании, детекции, распознавании и измерении различных объектов всё шире находят применение в лесном секторе экономики. В данной работе уделим больше внимания пассивным видам съёмки и измерений геометрических величин в диапазоне видимого света, попутно упомянув о вспомогательных наборах данных учётных систем, напрямую не связанных с оптическими измерениями.

Под Учетом лесоматериалов в данном контексте будем понимать совокупность операций по регистрации состояния, места нахождения и перемещений лесоматериалов, их измерению и контролю качества, обеспечивающих получение данных о количестве и качестве заготовленной древесины и лесоматериалов.

Технологии учёта лесоматериалов в зависимости от применяемых методов измерений можно поделить на поштучные и групповые.

С развитием технологий вышеперечисленные регистрационные действия происходят во всё более сжатые временные промежутки так, что становится сложнее отделить регистрационные, контрольные и измерительные операции друг от друга. Эти процессы из отдельного набора операций, производимых человеком вручную, постепенно автоматизируются, представляя из себя в настоящий момент комбинацию ручных и автоматизированных действий, где доля ручных операций сокращается, уступая место машинным.

В свою очередь, методы измерений тоже не стоят на месте и развиваются, являя собой как модификации уже известных методов, так и сочетания двух и более методов, появляющихся под влиянием следования наибольшей экономической целесообразности и повышения эффективности учётных работ.

**Материалы и методы исследования.** Материалы данной статьи получены путем анализа данных о современных методах учета круглых лесоматериалов.

**Результаты.** Рассмотрим какие же учётные данные мы можем получать в автоматизированном режиме, а какие до сих пор приходится вводить вручную.

Как было отмечено, учёт лесоматериалов подразумевает не только измерение объёма партии, но и определение (а также регистрацию) других характеристик, и само ведение реестра с требуемым набором параметров, или выражаясь компьютерным языком, атрибутов. В качестве таких атрибутов могут выступать количественные и качественные характеристики лесоматериалов, их изображение, время и место фиксации, ответственное лицо, транспортное средство, маршрут перемещения и т. п. параметры на схеме, рис. 1.



**Рис.1.** Показатели (атрибуты) учёта лесоматериалов

Из всех атрибутов учёта только часть может быть определена или измерена, даже потенциально. Остальные параметры учёта просто фиксируются в системе учёта на основании ранее полученных данных. Причём, некоторые показатели остаются неизменными, а некоторые изменяются (усушка, потеря качества, смена владельца и т. п.).

Что касается деления методов измерений на групповые и поштучные, то как отмечено в работах [4-8], на наших глазах происходит конвергенция элементов группового и поштучного учёта, и она становится возможной на базе использования новейших технологий по оптическому распознаванию лесоматериалов.

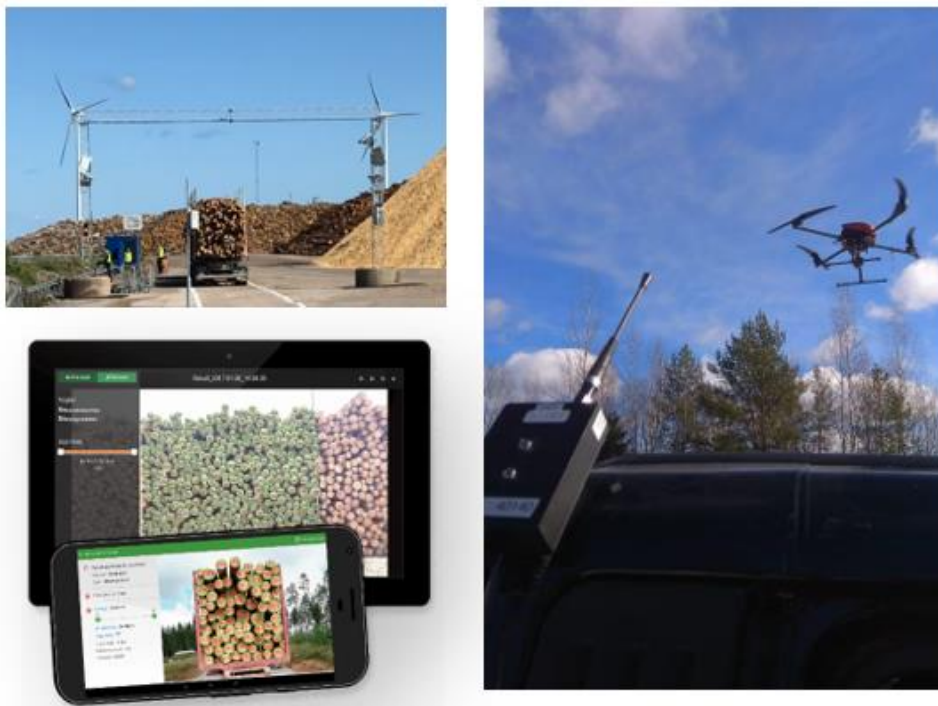
Наряду с этим происходит сближение понятий измерения и учёта лесоматериалов. У одной и той же партии (совокупности брёвен) могут одновременно или последовательно измеряться и учитываться различные количественные показатели, например масса и объём, а кроме того, и соотношения величин в данный момент времени.

Оптические системы начинают всё шире использоваться в учёте лесоматериалов. Оптические системы можно условно разделить по видам «носителей» и устройств (средств базирования), на которые они установлены. В настоящий момент применение находят оптические системы на базе:

- Измерительных рамок – сканеров;
- Беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);
- Передвижного измерительного комплекса на базе автомобиля;
- Стационарных камер слежения;
- Тахеографов и т. п. геодезических инструментов;
- Смартфонов или планшетов - Терминал сбора данных (ТСД).

Оптические технологии видимого диапазона применительно к измерениям круглых лесоматериалов (КЛМ) успешно соседствуют с другими технологиями дистанционного зондирования ближнего радиуса действия как активными, так и пассивными, и часто взаимодополняют друг друга. Примерами служат лидарная и инфракрасная съёмка.

В списке носителей оптических технологий учёта наибольший интерес представляют три из них: рамки, дроны и персональные смарт-устройства (представлены на рис. 2.), остановимся на каждом из них подробнее.



**Рис. 2.** Примеры различных носителей оптических технологий по измерению и учёту КЛМ (рамка-сканер, БПЛА, ТСД)

1. Измерительные рамки – сканеры. На рынке представлены различные варианты как промышленного, так и полукустарного производства, отечественных и зарубежных изготовителей, различающихся как по набору и технологиям используемого оборудования, так и по стоимости. Встречаются как полуавтоматические, так и полностью автоматизированные решения на базе рамок, с использованием фото и видео изображений для построения 2D и 3D

моделей, с возможным использованием вспомогательных датчиков для определения расстояний и масштаба изображения. Полностью «беспилотные» решения ещё только «пробивают» дорогу на производство и представлены исключительно зарубежными производителями. Количество инсталляций сканеров промышленного производства – несколько десятков штук по стране. По назначению сканеры используются как для измерения индивидуальных брёвен, так и для штабелей КЛМ на транспортных средствах.

2. БПЛА, используемые для измерения КЛМ, используют в основном стандартные алгоритмы для обработки изображений для получения облака точек и 3D моделей штабелей, но встречаются и варианты, измеряющие продольный вертикальный профиль штабеля с использованием лазерного сканирования поверхностей. Чаще для измерения КЛМ используются БПЛА вертолётного типа, а привязка к данным о местоположении осуществляется с помощью дополнительных наземных станций систем глобального позиционирования для достижения сантиметровой точности привязки к местности. Пока использование происходит разрозненно, под влиянием смежных профессий (геодезия, топография, строительство и т.п.) Используются для измерения штабелей на земле и проявляют свои преимущества при съёмке на больших местах складирования. Как и при других видах съёмки, наиважнейшим «недоработанным» по степени автоматизации признаком является определение коэффициента полндревесности (КПД).

3. ТСД промышленного назначения, или бытовые смартфоны и планшеты – наиболее бюджетный вариант для внедрения технологий оптического учёта в производство, они находят всё более широкое применение на всех этапах цепочки поставок КЛМ от делянки до переработки. Различаются как сами устройства, так и программное обеспечение (ПО), предназначенное для измерения и учёта. На российском рынке представлены устройства отечественного и зарубежного производства, разработчики и производители ПО также представляют как РФ, так и зарубежные страны. Мобильность и доступность решений обуславливают некоторые ограничения по функционалу в пользу меньшей требовательности как к наличию и скорости связи с сервером, так и к скорости обработки данных. 3D и видеосъёмка уступают место 2D и ограниченному числу кадров изображений. На базе мобильных устройств нет полностью автоматизированных учётно-измерительных решений, они требуют участия человека для введения и обработки данных, что не позволяет полностью избавиться от «человеческого фактора», но обеспечивает большую гибкость использования и постепенность перехода к цифровизации производства. Могут использоваться как для съёмки КЛМ на транспортных средствах и на земле, так и для определения КПД в связке с другими измерительными методами.

Что же является общим для всех оптических решений для группового учёта КЛМ? Чаще всего, при помощи оптики измеряется складочный объём, который затем переводится в плотную меру при помощи коэффициента полнодревесности.

Если в случае со сканером индивидуальных брёвен в качестве коэффициента полнодревесности для получения плотного объёма будет выступать коэффициент на основе процентного содержания древесины без учёта коры, то в случае группового измерения предварительно оценить КПД возможно по торцевой вертикальной поверхности штабеля по соотношению площадей торцов и общей площади, на которой происходит определение площадей торцов. Если речь идёт об объёмах КЛМ больше нескольких десятков кубических метров, то чаще всего ни глаз, ни оптические устройства не могут получить изображение для поштучного перечёта ввиду разнонаправленности сортиментов в штабеле или препятствий для производства фотографической съёмки, будь то рельеф местности, другие штабеля, строения, или снег. В этом случае КПД может быть определён по выборке из нескольких доступных к обработке изображений с последующим распространением на всю совокупность, т.е. на весь штабель, как это рекомендует [1] для метода площадей торцов, в ручном, или в автоматизированном режиме, где за распознавание и вычисление площадей торцов и отношение их суммы к общей пробной площади отвечает компьютерная программа, работающая на базе полученной в результате съёмки 2D модели.

Интересно отметить, что если за пробную площадь принять всю вертикальную торцевую поверхность штабеля и определить площади всех торцов брёвен в контуре этой поверхности, а для большей точности повторить эту операцию и на противоположной поверхности штабеля, усреднив полученную в результате суммарную площадь, при перемножении на длину сортимента получим объём штабеля, приближенный к таковому, определённому по формуле концевых сечений, как это описано в [1]. Очевидно, в штабеле отсутствует возможность корректировки объёма сортиментов с учётом закомелистости, поэтому при раскатке штабеля и определении объёма по тому методу концевых сечений в поштучном режиме, фактический объём будет отличаться в меньшую сторону, основной причиной чего как раз и будет служить компенсация закомелистости. Заметим, что формула концевых сечений в зарубежной практике также широко применяется и носит имя известного учёного Г.-Л. Смалиана [9].

В качестве иллюстрации о совмещении понятий о групповом и поштучном учёте можно привести следующий: если для фотографирования доступна вся вертикальная торцевая поверхность штабеля, то при хорошей укладке возможно измерить как общую площадь всей торцевой поверхности, с получением объёма, путём перемножения этой площади на КПД и длину сортимента, так и индивидуальные площади каждого торца штабеля, в том числе и их (торцов)

общее количество, что позволяет говорить о поштучном учёте (объёма) каждого бревна.

Перечислим примеры других атрибутов учитываемого штабеля, кроме объёма, используемых в учёте круглых лесоматериалов:

**Идентификационный номер** измерения или карточки – уникальный номер, позволяющий однозначно идентифицировать измерение или штабель в системе учёта;

**Геометка**, также называемая «геотэг», показывает месторасположение штабеля или его границ, с точностью, зависящей от параметров и сети(ей) устройства глобального позиционирования, а также от наличия или отсутствия наземных ретрансляторов сети позиционирования;

**Место хранения** или склад хранения – учётная единица принадлежности штабеля в системе учёта;

**Временная метка** – время съёмки или временной диапазон измерения или учёта;

**Номер транспортного средства**, прицепа и т.п.

**Ответственное лицо**, оформляющее сопроводительные документы, перевозчик, водитель, учётчик, или иное уполномоченное лицо;

**Продавец/покупатель/подрядчик** и другие атрибуты принадлежности, необходимые для целей управленческого или бухгалтерского учёта;

**Длина сортимента**, чаще всего номинальная, установленная в сортиментном плане предприятия или договора, но может быть и фактическая, например, с припуском, средняя длина по штабелю в случае наличия в нём смеси сортиментов разных длин;

**Назначение сортимента** (пиловочник, баланс, фанерное сырьё и т.п.) или сортиментов, если речь идёт об их смеси;

**Порода** или породы древесины, если штабель представляет смесь пород, например, хвойных, в соответствии с сортиментным планом;

**Количество брёвен** – важный показатель учёта, иногда только одной этой цифры бывает достаточно для основного или контрольного измерения, например, в случае, когда по предыдущим производственным этапам или звеньям цепи поставки достоверно известен средний объём сортимента, или в случае со штучными изделиями, такими, как столбы;

**Средний диаметр торца**. Если торцы ориентированы в однокомелицу, обычно используется средний диаметр вершин, если вразнокомелицу, то этот показатель можно условно привести к среднему диаметру в вершине, сминусовав половинную величину сбег сортимента для заданной длины. Например, если сбег сортимента – 1 см диаметра на 1 м длины, то при длине 6м следует отнять от

среднего диаметра, определённого вразнокомелицу 3 см для получения среднего диаметра по вершине.

Количество и объём брёвен **ниже и выше заданного** диапазона диаметров – неочевидная для ручного учёта, но очень полезная величина, когда определяется автоматически, она позволяет проводить автоматическую отбраковку брёвен с диаметрами за пределами сортиментного плана или спецификации.

Параметры **коры** (толщина, объём, % содержания и т. п.) – пока ещё редко используемый в практике автоматизированных измерений атрибут, усилия разработчиков направлены на усовершенствование её распознавания и вычисления количественных характеристик.

Параметры **гнили** и других видимых пороков древесины также из разряда перспективных.

Параметры **годовых колец** (количество, плотность, равномерность и т. д.) также требуют дополнительной проработки с целью автоматизации процесса.

**КПД** может определяться оптическими системами по отдельным (пробным), площадям, как показано на рис. 3., или по всей видимой вертикальной торцевой поверхности штабеля. Кроме того, могут использоваться образы стволовых поверхностей штабеля.

**Ширина штабеля** в трактовке [1]. В некоторых случаях, если измерена заранее, именно она, а не калибровочная линейка, может быть использована в качестве эталона для определения масштаба образа по отношению к «оригиналу».

Отметки высот через заданное расстояние и **средняя высота** штабеля. Чаще всего, автоматизированное вычисление площади вертикальной поверхности штабеля происходит через подсчёт точек, или пикселей, заполняющих изображение, а ширины и высоты штабеля вычисляются, как сопутствующие величины, пример образа представлен на рис. 4.



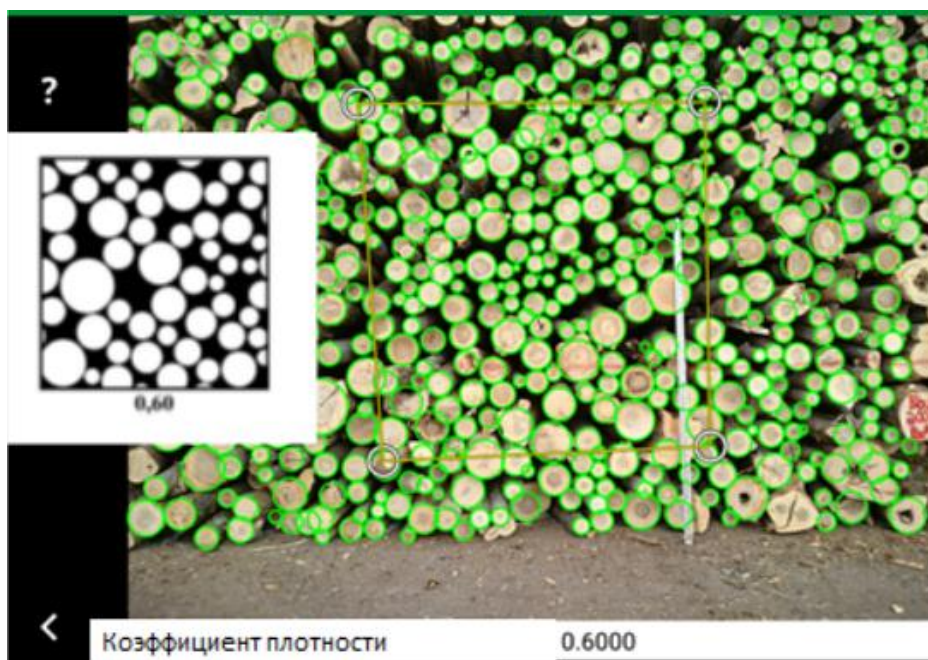


Рис. 3. Пример чёрно-белой модели торцевой поверхности для глазомерного определения КПД и соответствующее по величине автоматизированное определение КПД оптической системой

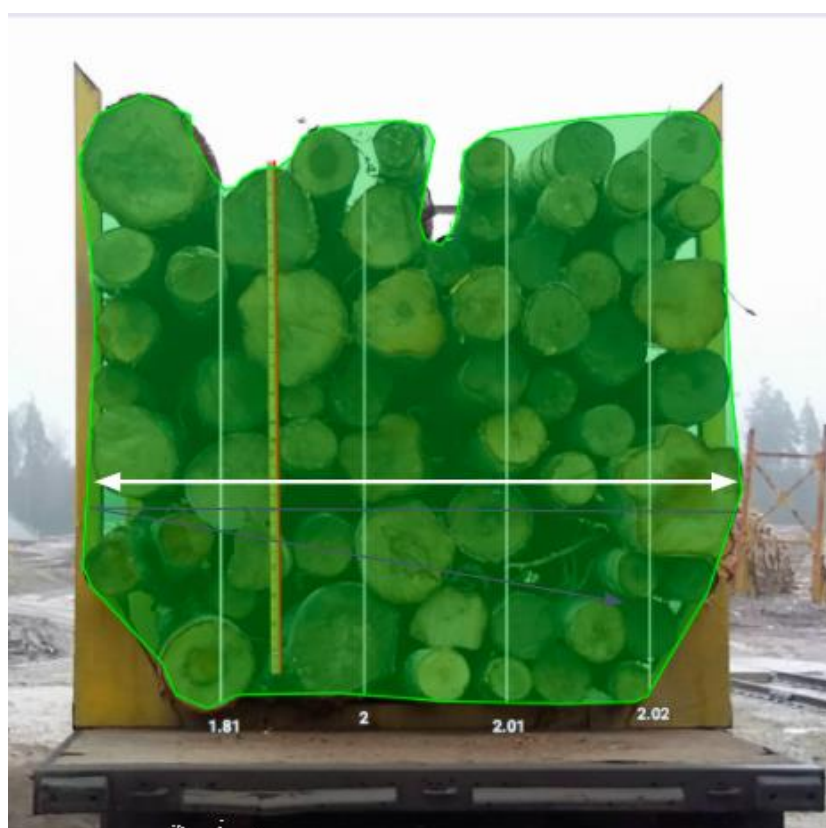


Рис. 4. Отметки высот и ширина штабеля на транспортном средстве, определённые по автоматически найденной площади контура

**Метод** определения объёма штабеля (ссылка на формулу, таблицы, стандарт, методику), например, штабельный метод, или формула концевых сечений, или [2], когда все верхние торцы сортимента ориентированы в одну сторону, с которой обычно и производится съёмка.

Отдельно следует остановиться на законодательных и административных нововведениях в сфере учёта, которые окажут существенное влияние на всё дальнейшее развитие вопроса. Новой вехой в учёте лесоматериалов следует считать появление ЛесЕГАИС.mobile (мобильное приложение ЛесЕГАИС для учета древесины и сделок с ней. Оно разработано для формирования электронного товаросопроводительного документа взамен бумажной версии, но помимо прочего, направлено на цифровизацию всего учёта лесоматериалов по всей цепочке поставок. Появлению ЛесЕГАИС.mobile предшествовало без преувеличения революционное изменение в законодательстве по учёту лесоматериалов [3]. Новыми Правилами утверждены некоторые важные понятия и закреплены базовые нормативы учёта древесины, в частности,

- **Опорный метод** определения объёма, в качестве которого предлагается считать в т. ч. метод концевых сечений,
- Учёт всех сортиментов по умолчанию предлагается вести **исключая объём коры,**
- Утверждены **нормативы по погрешностям,** в том числе и по таким показателям, как воспроизводимость и дебаланс.

Высокая значимость этих инициатив связана с тем, что на протяжении длительного времени (с 90-х годов XX века) в стране не существовало обязывающих нормативных документов, регламентирующих эти важнейшие показатели учёта, что приводило к неоднозначному их толкованию и конфликтным ситуациям как между хозяйствующими субъектами, так и в их отношениях с контролирующими органами. Теперь, когда изменения в законодательстве поочередно будут вступать в силу, буде происходить упорядочение учётных процедур и практик, не допускающих двойного толкования понятий. Так, для проверки и для использования в спорных случаях появляется узаконенный опорный метод определения объёма, объём всех сортиментов, включая дрова, будет индексироваться без учёта коры, а вместо имевшей место «нулевой терпимости» по расхождениям объёмов появляются чётко регламентированные показатели. Отрадно, что именно метод концевых сечений более других подходит для развития оптических технологий измерения и учёта. Да, указанные показатели по Постановлению пока касаются только учёта в рамках системы ЛесЕГАИС и напрямую не касаются сфер управленческого, бухгалтерского, налогового и таможенного учёта. Однако, во избежание ведения «двойного» учёта наиболее рациональным видится синхронизация учётных

параметров во всех системах и переход на ведение всех видов учёта лесоматериалов в соответствии со вновь утверждёнными Правилами. Этому будет способствовать и поручение Правительства Росстандарту обеспечить разработку и утверждение новых стандартов, более подробно расписывающих учётные процедуры и характеристики, которые будут подлежать обязательному использованию с расширенным диапазоном применения во всех лесочётных сферах.

**Заключение.** В заключение рассмотрим показатели учёта КЛМ с точки зрения их применимости и перспектив в свете оптического измерения и учёта, при котором наибольший интерес представляют количественные и качественные показатели. Коснёмся измеряемых, или определяемых показателей. В автоматическом режиме уже сейчас возможно определять геометрические размеры КЛМ (групповые и поштучные) и связанные с ними показатели, такие, как средний диаметр, средняя длина, группа диаметров, разбег по диаметрам и доля диаметров требуемых ступеней толщины, плотность укладки и т. п. В ближайшей перспективе в связи с развитием технологий искусственного интеллекта (ИИ) следует ожидать функции распознавания пород древесины, идентификации пороков древесины, определения их числовых параметров, данных о сортности, структуре и взаиморасположению годичных колец, физико-химических свойствах древесины. Это позволит усовершенствовать подходы в научной и практической плоскостях в таких дисциплинах, как таксация заготовленных лесоматериалов, лесное товароведение, древесиноведение, дендрохронология, и многих других.

#### Список литературы

1. ГОСТ 32594-2013. Лесоматериалы круглые. Методы измерений. М.: Стандартинформ, 2014, - 52 с.
2. ГОСТ 2708–75. Лесоматериалы круглые. Таблицы объёмов. М.: Издательство стандартов, 1975, - 36 с.
3. Правила определения характеристик древесины и учёта древесины. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.11.2021 № 2128 "О порядке определения характеристик древесины и учёта древесины". [Электронный ресурс] Получено 27.01.2022 г. Из <http://ips.pravo.gov.ru:8080/default.aspx?pn=0001202111300150>
4. Швецова В. В. Автоматизация геометрического метода учёта круглых лесоматериалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 149-150.

5. Курицын А.К. Единая методика измерения объема круглых лесоматериалов // ЛеспромИнформ, № 3 (69), 2010. С. 78.
6. Самойлов А.Н. Классификация и определение основных направлений развития методов измерения объема круглого лесоматериала // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ, 2006, № 24(8). URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/13.pdf>
7. Herbon, C., Tönnies, K.-D., Otte, B., & Stock, B. (2015). Mobile 3D wood pile surveying. *Journal of Machine Vision and Applications*, 422-425. Получено 06.09.2021 г., из <http://mva-org.jp/proceedings/2015usb/papers/14-01.pdf>
8. Özçelik, R. (2006). COMPARISON OF FORMULAS FOR ESTIMATING VOLUME IN STACKED LOGS. *Turkish Journal of Forestry*, 1, 26-32. Получено 6 9 2021 г., из <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/sduofd/article/view/1089000173>
9. Schmidt, G., & Thomasius, H. (1995). Oberforstmeister Heinrich-Ludwig Smalian (1785-1848). Meritorious forester and creative forest scientist. Получено 6 9 2021 г., из [http://agris.fao.org/agris-search/search.do?request\\_locale=fr&recordid=de96t7259](http://agris.fao.org/agris-search/search.do?request_locale=fr&recordid=de96t7259)

© Куницкая О.А., Беляев Н.Л., 2022