

НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТАКСАЦИИ ЗАГОТОВЛЕННЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ КАК ЭЛЕМЕНТ ПРЕЦИЗИОННОГО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Н.Л. Беляев, С.Ф. Сафаргалиева

Тимбетер ОЮ / Timbeter OÜ, 12618, Akadeemia tee 21/1, Таллинн, Эстония

nikolai@timbeter.com

Рассмотрен фотографический метод измерения круглого леса с использованием искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения. Современные технологии, использующие алгоритмы искусственного интеллекта, предлагают новые, связанные с инвентаризацией заготовленного леса, возможности для измерения древесины, распознавания торцов бревен, опции для подсчета и измерения. Предлагаемые соответствующими мобильными приложениями эффективные инструменты для более подробного и точного измерения объемов заготовленного леса могут помочь правильно оценить запас растущего леса и его сортиментную структуру. Показано, что современные технологии могут помочь в повышении производительности, достоверности результатов, снижении затрат и облегчении ручного труда при измерении объемов круглого леса.

Ключевые слова: таксация круглого леса, методы измерения объема лесоматериалов, распознавание торцов, мобильное приложение, оптико-электронный учет, сортиментация, искусственный интеллект, машинное обучение

Ссылка для цитирования: Беляев Н.Л., Сафаргалиева С.Ф. Новейшие технологии в таксации заготовленных лесоматериалов как элемент прецизионного лесного хозяйства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 18–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-18-25

Новейшие технологии все глубже проникают в лесную сферу экономики. В XXI в. лесной кластер стоит на пороге внедрения в повседневную практику всего накопленного в наиболее передовых отраслях арсенала современной науки и техники. Искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, блокчейн, цифровое моделирование воплощаются в таких примерах, как цифровые двойники, виртуальная и дополненная реальность, экзоскелеты, носимые гаджеты, беспилотные летательные аппараты или наземные машины и механизмы. Термин «прецизионное лесное хозяйство» (precision forestry), пришедший к нам из сельского хозяйства и высокотехнологичных отраслей, отражает высокую точность, машинный интеллект и весь спектр цифровых технологий, привносящий новую реальность, в том числе и в наши лесные ландшафты.

В 2019 г. отмечалось 150-летие со дня рождения выдающегося ученого и практика конца XIX начала XX в. А.А. Крюденера. Одним из его выдающихся трудов, отмеченных присвоением высшего гражданского чина действительного статского советника, являются таблицы объемов бревен [1–4], изданные им в 1913 г. для вычисления объема еловых комлевых бревен по верхнему диаметру. Это — основа применяемого и ныне для всех пород стандарта ГОСТ 2708–75 «Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов». До отмены в начале 1990-х гг. обязательного применения стандартов таблицы объемов бревен по ГОСТ 2708–75 оставались единственным и обязательным методом поштучного учета бревен

на всей территории СССР. Однако в ГОСТ 2708–75, в отличие от таблиц А.А. Крюденера, не был предусмотрен учет погрешностей определения объема бревен, обусловленных отклонениями сбega отдельных бревен партии, а также вследствие влияния породы и условий произрастания.

В настоящее время отсутствует единая методика по определению объема круглого леса. При наличии множества групповых и поштучных методов измерения отсутствует утвержденный и общепринятый эталонный кубический метр, относительно которого сравнивались бы все объемы, полученные другими методами, и разрешались бы спорные ситуации. Например, А.К. Курицын в справочном пособии «Круглые лесоматериалы» отмечает, что «статус государственных стандартов за последние 12 лет претерпел существенные изменения. До 1993 г. (как было уже отмечено выше) соблюдение стандартов было обязательным, а их тексты начинались с предупреждения: «Несоблюдение стандарта преследуется по закону». С 1993 по 2003 г. в России действовал закон «О стандартизации», который предусматривал общее разграничение требований государственных стандартов на обязательные и рекомендуемые. [...] С 1 июля 2003 г. вместо закона «О стандартизации» действует новый закон «О техническом регулировании». В этом законе не предусмотрено дальнейшее применение государственных стандартов. Обязательные требования к продукции и услугам теперь должны содержаться в технических регламентах, а для

изложения необязательных требований следует использовать национальные стандарты и стандарты организаций. [...] Статья 12 закона «О техническом регулировании» декларирует принцип добровольного применения стандартов, а в статье 15 предусмотрено: «Национальный стандарт применяется на добровольной основе равным образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг, видов или особенностей сделок и (или) лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями» [8].

Кроме того, отсутствуют и единые нормативы допустимых погрешностей в измерении объемов лесоматериалов, как это принято, например, в скандинавских странах. А.Н. Самойлов также отмечает, что традиционные контактные методы измерения имеют ошибку, «достигающую существенных величин», которая напрямую связана с человеческим фактором; этот фактор, в свою очередь, «может привести к погрешностям сколь угодно больших размеров» [10, 11].

Решением перечисленных выше и других вопросов таксации заготовленного леса призван стать разрабатываемый в настоящее время Центром стандартизации и сертификации круглых лесоматериалов и пиломатериалов ООО «Лесэксперт» государственный стандарт «Лесоматериалы круглые. Организация и методы учета». Этот документ предполагает закрепить в качестве эталонного или опорного метода определения объема круглых лесоматериалов (КЛМ) методом концевых сечений, который, с одной стороны, нивелирует погрешности, связанные с высокой вариативностью сбега относительно модельных стволов/бревен, а с другой — применим как при ручном, так и автоматизированном способах измерения [11].

Цель работы

Цель работы — рассмотрение фотографического метода измерения круглого леса с использованием искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения, разработанного компанией Timbeter. Данный метод распознавания торцов бревен в штабеле используется в одноименном мобильном приложении для съемки, соответствующей обработки и измерения линейных, плоскостных и объемных величин по изображению штабеля. В этой работе последовательно рассмотрим особенности алгоритмов измерения, возможные сложности при работе с фотографическим методом, а также преимущества цифровых методов измерения круглого леса и последующей работы с данными. На примере программы Timbeter также рассмотрим, как современные

технологии могут способствовать повышению производительности, достоверности результатов, снижению затрат и облегчению ручного труда при измерении объемов круглого леса.

Материалы и методы

Фотографический метод измерения и алгоритм распознавания круглого леса. Компания Timbeter разработала алгоритм обнаружения бревен в штабеле по фото на основе машинного обучения, созданный Мартином Камблом и Танелем Сирпом [12–13].

Известен алгоритм, распознавания лица на фото, а на лице — улыбки. Алгоритм Timbeter подобным образом распознает бревна на фотографии, что позволяет получать точную информацию о диаметре отдельных бревен, объеме и плотности штабелей и о количестве бревен в штабеле.

В словаре «Международный стандарт. Лесоматериалы — круглые и пиленые лесоматериалы» раскрыто понятие фотографического метода определения объема, как «геометрического определения объема круглых лесоматериалов (4.11) по габаритам и полндревесности штабеля (4.26) по его фотографии с учетом их длины» [14].

Процесс распознавания каждого бревна на фото проходит в пять этапов и длится 30 с. Бревна отбираются, объединяются в реальные изображения, которые фильтруются и калибруются. Пошаговый процесс распознавания происходит следующим образом:

Этап 1

«Кандидаты на бревно» обрабатываются методом «скользящего окна». Метод сводит проблему распознавания объекта к проблеме классификации образов. Изображение разбивается на квадраты, каждый квадрат сканируется; при попадании в квадрат бревно маркируется как «вероятно, бревно». Всего классификаций три: «нет, не бревно», «возможно, бревно» и «вероятно, бревно».

Этап 2

Одно и то же бревно можно обнаружить несколько раз, поэтому «кандидаты» с похожими положительными классификациями («вероятно, бревно») объединяются в одно распознавание. Размер и расположение бревна на фото определяется по формуле взвешенного среднего арифметического, которая применяется к «кандидатам» с похожими положительными маркерами.

Этап 3

Все то, что «не бревно», удаляется. Бревна малого диаметра, скорее всего, ложные. «Кандидаты», отстоящие от других по вероятностным характеристикам, тоже, скорее всего, бревнами не являются или они не из штабеля. Учитываются такие факторы, как изначальные маркеры вероятности и пересечение положительных вероятностей.

Этап 4

Очистка улучшает точность диаметра распознанных бревен и применяется к нескольким сотням обнаружений, за счет чего задействуется большая вычислительная мощность и результат становится точнее.

Этап 5

Вторичное распознавание методом скользящего окна, но с существенным отличием от этапа 1: вторичный детектор ищет только бревна, подобные уже найденным. Вторичный детектор работает только с теми областями фото, на которых было обнаружено бревно на этапе 1.

Такой многоэтапный подход обеспечивает получение точных результатов за короткое время даже на мобильных телефонах и планшетах. Хотя на персональном компьютере (ПК) возможно запустить более мощные алгоритмы, Timberer сделал выбор в пользу мгновенных результатов измерений: пользователь может находиться в лесу без подключения к интернету; при этом в дальнейшем (после синхронизации устройства) он также может работать с данными, полученными в результате измерений на ПК. Помимо этого фотооптическое измерение круглого леса, основанное на алгоритмах искусственного интеллекта и технологии машинного обучения, позволяет определять область контура бревна под корой на основании более чем 2000 точек. Timberer конвертирует эту область в симметричный круг, и на этом основании высчитывает значение среднего диаметра. Технология была разработана для измерения поверхности бревен как можно точнее путем конвертации неправильной формы контура в идеальный круг [15, 16].

Однако при сравнении ручного и цифрового методов возможны расхождения, поскольку бревна не бывают идеально круглыми или симметричными. Возникает вопрос: что важнее при рассмотрении — максимизация стоимости или ценность каждого бревна?

Проблема заключается в том, что инновационные методы измерения круглого леса контролируются и оцениваются исключительно старыми ручными методами, которые были разработаны более 100 лет тому назад. Эти методы, по сравнению с возможностями современных технологий, гораздо более ограничены, поскольку основывались на довольно узком наборе образцов для тестирования. Инновационные технологии позволяют измерить каждое бревно гораздо объективнее — может ли ручное измерения сравниться с цифровым, которое использует по меньшей мере 2000 точек для распознавания и измерения отдельного бревна? Очевидно, что результаты, основанные на электронных доказательствах и полученные с помощью механизмов искусствен-

ного интеллекта, предоставляют пользователям куда более прозрачную информацию и эффективный контроль качества [16–18].

По сравнению с тем случаем, когда человек измеряет бревна вручную, с известной долей субъективности, фотооптический инструмент всегда измеряет бревна одинаково и объективно. Обнаружение и распознавание бревен с помощью алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта обеспечивает объективность результатов и не зависит от того, кто проводит измерения. Некоторые устройства дают нам лучший результат распознавания (камера с разрешением 13 мегапикселей — минимальное требование Timberer), а сам процесс распознавания всегда происходит одинаково независимо от устройства [19].

Сложности использования метода. Внедрение фотографического метода связано с некоторыми сложностями, которые прямо зависят от особенностей самого метода. В частности, качество штабеля может повлиять на результаты измерения, основанного на визуальных данных. Так, объекты, находящиеся ближе к камере, на фото будут казаться больше, а диаметр бревен, которые выходят за пределы штабеля, увеличится, в случае бревен, которые находятся в глубине штабеля, уменьшится.

Размер объекта в одном измерении на изображении определяют по формуле

$$size_{onScreen} = \frac{size_{real} \cdot size_{screen}}{2 \cdot distance \cdot \tan \frac{fov}{2}}, \quad (1)$$

где $size_{onScreen}$ — размер объекта на изображении;
 $size_{real}$ — реальный размер объекта;
 $size_{screen}$ — размер изображения в пикселях;
 $distance$ — расстояние между объектом и камерой;
 fov — поле зрения камеры.

Размер экрана устройства, поле зрения камеры и реальные размеры бревен — это константы, не зависящие от приближения или удаления к фотокамере при измерении. Формулу (1) можно упростить, показав, как выступающие из штабеля бревна способны искажать результат измерения

$$\begin{aligned} coef_{error} &= \frac{size_{protruding}}{size_{level}} = \frac{size_{real} \cdot distance_{pile}}{distance_{log} \cdot size_{real}} = \\ &= \frac{distance_{pile}}{distance_{log}} = \frac{distance_{pile}}{distance_{log} - offset_{log}} = \\ &= \frac{1}{1 - \frac{offset_{log}}{distance_{pile}}} = \frac{1}{1 - coef_{offset}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $coef_{error}$ — коэффициент завышения результата (значения диаметра бревна);

$size_{protruding}$ — диаметр бревна, измеренный по изображению, когда бревно выступает за пределы штабеля;

$size_{level}$ — диаметр бревна, измеренный по изображению, когда бревно находится на одном уровне с остальными бревнами штабеля;

$size_{real}$ — реальный диаметр бревна;

$distance_{pile}$ — расстояние между камерой и штабелем;

$distance_{log}$ — расстояние между камерой и бревном;

$offset_{log}$ — значение выступа бревна за пределы штабеля;

$coef_{offset}$ — коэффициент выступа бревна за пределы штабеля.

Формула (2) показывает, что размер диаметра на изображении обратно пропорционален расстоянию от камеры: чем меньше расстояние до объекта, тем больше он выглядит на фото. Таким образом, если бревно находится в 2 раза ближе к камере, оно будет выглядеть в 2 раза больше. Например, измеряющий делает фотографию с расстояния 2 м, а бревно при этом выступает за пределы штабеля на 20 см, то диаметр бревна на фотографии будет завышен на 11,1 %. Кроме того, формула показывает, что во избежание погрешностей в измерениях отдельных бревен в штабеле измеряющему необходимо просто отойти дальше от штабеля. Так, если бревно выступает на 20 см, и вы делаете фото с расстояния 4 м, то диаметр будет завышен только на 5,3 %.

Результат измерения среднего диаметра бревен мало зависит от качества укладки штабеля, учитывая, что качество распознавания не изменилось. Можно подсчитать значение среднего диаметра двух бревен (реальный диаметр которых составляет 30 см), когда штабель находится на расстоянии 2 м от камеры; при этом одно бревно выступает на 20 см, тогда как второе находится на 20 см глубже остальных бревен в штабеле

$$average = \frac{(diameter_1 + diameter_2)}{2} = \frac{\left(\frac{30}{1 - \frac{20}{200}} + \frac{30}{1 + \frac{20}{200}}\right)}{2} = \frac{33,33 + 27,27}{2} = 30,30, \quad (3)$$

где $average$ — средний диаметр бревна на изображении;

$diameter_1$ — диаметр первого бревна на изображении;

$diameter_2$ — диаметр второго бревна на изображении.

Как видно из формулы (3), среднее измерение для этих двух бревен будет завышено на 1 %. Однако это произойдет только в случае с двумя наиболее удаленными бревнами. Значение диаметра большинства бревен в штабеле будет существенно ближе к среднему значению. Принимая за условие одинаковое расположение бревен, можно получить средний показатель расхождения в измерениях реального штабеля, используя формулу

$$coef_{error} = \frac{\int_{-coef_{offset}}^{coef_{offset}} \frac{1}{1-x} dx}{2 \cdot coef_{offset}}, \quad (4)$$

где $average$ — значение среднего диаметра на изображении;

$coef$ — показатель отличия диаметра подобных разноудаленных бревен от среднего диаметра по штабелю по сравнению с расстоянием до фотокамеры.

В штабеле, измеренном с расстояния 2 м, в котором бревна удалены от среднего положения по штабелю на 20 см (что означает, что коэффициент смещения составляет 0,1), обнаруживается, что завышение составляет только 0,34 %. Более того, если фотография сделана с расстояния, которое в 2 раза больше, погрешность измерения сокращается в 4 раза. В случае, когда фотография штабеля сделана с расстояния 4 м, среднее значение диаметра будет завышено на 0,083 %.

Неровно уложенные штабели влияют на результаты измерения объема больше, чем на результаты измерения диаметра бревен, но эта погрешность все же ограничена. Они отличаются, потому что необходимо возвести в квадрат значение диаметра, для вычисления площади поверхности и объема бревна, что изменяет соотношение между этими значениями.

Чтобы посчитать погрешность в измерении объема неровного штабеля, можно использовать формулу

$$coef_{error} = \frac{\int_{-coef_{offset}}^{coef_{offset}} \frac{1}{(1-x)^2} dx}{2 \cdot coef_{offset}}, \quad (5)$$

где $coef_{error}$ — показатель преувеличения объема; $coef_{offset}$ — показатель выступа удаления бревна от основного штабеля относительно расстояния до камеры.

Если измеряющий находится в 2 м от штабеля, в котором некоторые бревна либо выступают вперед на 20 см, либо находятся в углублении на 20 см, то превышение общего объема составит 1,0 %. Увеличение расстояния между штабелем и

камерой в 2 раза приводит к уменьшению ошибки в 4 раза. Если предыдущий штабель сфотографировать с расстояния 4 м, то превышение общего объема штабеля составит всего 0,25 %.

Подводя итог, отметим, что качество укладки штабеля влияет на результаты измерения, в зависимости от того, какой именно результат измерения нужно получить. Так, например, значение диаметра отдельных бревен в штабеле сильно зависит от качества их укладки в штабеле, однако это не отразится на значении среднего диаметра бревен по штабелю. Что касается измерения объемов, большинство пользователей увидят, что измерения точные. Но в том случае, когда штабель очень неровный, и измеряющий фотографирует, находясь очень близко к штабелю, фотооптический метод измерения допускает искажения, которые отражаются на результатах измерения. В целях минимизации ошибок, вызванных низким качеством укладки штабеля, измеряющему необходимо увеличить расстояние между используемым устройством и штабелем.

Кроме того, практически полностью исключить возможные искажения при измерениях позволяет использование QR-кодов в качестве эталона, предоставляемых пользователям Timbeter. Это не только устраняет необходимость использования измерительного эталона, но и содействует при не вполне ровной укладке штабеля, когда расстояния между концами бревен и фотокамерой сильно отличаются: QR-коды позволяют выравнивать возможные искажения.

Преимущества Timbeter и опыт успешного использования искусственного интеллекта для работы с круглым лесом. Переход с ручного измерения древесины на цифровое изначально может показаться сложным, принимая во внимания сложности при использовании фотографического метода измерения круглого леса, которые были рассмотрены выше, тем не менее, преимущества работы с программой очевидны.

Во-первых, цифровые измерения обеспечивают быстрый и простой обмен информацией, а измерение леса вручную занимает много времени. Данные о результатах измерения из леса или цифровых суппортов обычно поступают достаточно медленно, что отражается на работе последующих цепочек поставок (на продаже, логистике, бухгалтерии). В случае получения информации в режиме реального времени все участники цепочки поставок могут начать свою работу одновременно. Кроме того, постоянный доступ к данным позволяет оперативно реагировать на любые неожиданные результаты, например, на нехватку или избыток какого-либо сорта, на грузы с большим количеством брака и т. д. — вся эта информация оказывается моментально доступной для

работников, принимающих решения. С. Смоляк, IT-специалист деревообрабатывающего завода полного цикла «Красный Октябрь», отмечает, что «возможность иметь оперативную информацию о приемке, наглядное подтверждение данных (речь идет о продукте «Складской Модуль» — примечание Timbeter), оценивать качество произведенных измерений, тем самым минимизировать человеческий фактор, — это уникальная возможность для отчетности по заготовленному, перевезенному или принятому объему бревен». Кроме того, на измерение 30 м³ круглого леса вручную и запись результатов требуется примерно 45 мин, в то время как с приложением Timbeter на это уйдет 2–3 мин. Таким образом, цифровые измерения леса существенно экономят время.

Внедрение искусственной нейронной сети в программу Timbeter в начале 2018 г. сделало распознавание намного надежнее; быстрый механизм подсказок был также интегрирован в программу Timbeter, что позволило главному алгоритму быстрее обнаружить ориентировочные размеры и позиции распределения бревен. Это дало возможность пропускать области изображения, в которых бревна точно отсутствуют. Испытания показали, что снижения производительности не произошло, а точность результатов значительно повысилась.

В 2019 г. алгоритм распознавания Timbeter стал еще лучше: скорость увеличилась в 2,5–3 раза по сравнению с предыдущей версией приложения (и в 6 раз по сравнению с версиями до внедрения нейронной сети). Поскольку распознавание занимает 1–5 с на быстрых устройствах, разработчики провели стресс-тест. Для этого загрузили несколько сотен тестовых изображений на самое быстрое устройство на базе Android, после чего был запущен механизм распознавания и измерения. Результат стресс-теста показал, что обнаружение 131 910 бревен заняло 1698 с, т. е. 28 мин. Таким образом, обнаружение составляет 280 000 бревен/ч, в то время как результат ручного измерения составляет всего лишь около 200 бревен/ч.

Конечно, возможны проблемы с интернет-покрытием на конкретной местности, однако синхронизация данных при доступе к интернету происходит быстро, соответственно, при измерении древесины и работе с данными существенно экономится рабочее время. Также некоторые клиенты Timbeter используют данные для сбора измерений из всех хранилищ леса для планирования их логистики на следующий день.

Во-вторых, подобное цифровое измерение устраняет человеческий фактор. Все, кто работает с большими объемами лесоматериалов, знают, что человеческий фактор сопровождает

непосредственно процесс измерения и процесс обработки данных, в результате чего могут быть неточно измерены бревна, неправильно записаны результаты и неверно введены данные в систему. Кроме того, обнаружить ошибку в электронных таблицах Excel достаточно сложно, особенно по прошествии времени. Цифровой метод программы Timbeter позволяет проверить каждое измерение, так как все результаты поступают в облачное хранилище сразу после синхронизации устройства. Это позволяет легко обнаружить ошибку и провести повторные измерения для ее устранения.

В-третьих, вместе с устранением человеческого фактора программа Timbeter обеспечивает прозрачность измерений — объективность и правильность измерений нет необходимости оспаривать, а в случае разногласий всегда есть электронные доказательства: каждую фотографию можно измерить повторно.

И наконец, в-четвертых, оптимизация рабочего процесса неизбежно влияет на сокращение расходов и увеличение прибыли, что наглядно демонстрирует пользовательский опыт чилийской компании СМРС: помимо ожидаемого сокращения расходов, связанных с обработкой данных и логистическим процессом, «побочной» выгодой стало сокращение количества используемой краски. Сэкономленный объем краски составляет 45 %, т. е. от 45 т в год, как сообщает Х. Тобар, руководитель проектов СМРС — Чилийской целлюлозно-бумажной компании, крупнейшего мирового лидера по версии 2018 г. Forbes Global 2000 [20].

Благодаря Timbeter значительно уменьшается время на измерение леса и работу с данными. Инструменты Timbeter позволяют быстро и эффективно разделять сортименты древесины, распределять их на производстве и устанавливать их стоимость, точно определять объем леса, необходимый для погрузки, отслеживать грузы, организовывать логистику, что в конечном итоге оптимизирует производственные процессы и положительно сказывается на прибыли компании.

Выводы

Применение новейших технологий в сфере лесного хозяйства дает эффективные возможности при работе с круглым лесом, способствует оптимизации рабочих процессов и увеличению прибыли производств. Одним из таких инструментов является Timbeter — цифровое решение для измерения круглого леса и работы с данными. Успешно применяя алгоритмы машинного обучения и фотографический метод, Timbeter не просто предоставляет пользователям быстрые и точные данные об измерениях, таких, как диаметр отдельных бревен в штабеле, объем и плотность

штабелей, информация об общем количестве бревен в штабеле, значение среднего диаметра и т. д., но и значительно влияет на весь процесс работы с данными благодаря возможности мгновенной синхронизации всех данных об измерениях. Принимая во внимание особенности фотографического метода, соблюдение некоторых простых правил использования программы позволяет пользователям Timbeter получать точные результаты измерений, избегая человеческий фактор и улучшая рабочие процессы и коммуникацию как внутри одного производства, так и при сотрудничестве нескольких компаний. Следовательно, Timbeter становится новой и эффективной заменой старым методам для работы с круглым лесом и контролем над полученными данными.

Список литературы

- [1] Ковачева П., Анталова М. Прецизионное лесоводство — определение и технологии // Шумарски лист. Загреб, 2010. С. 603–611.
- [2] Мерзленко М.Д. Артур Артурович Крюденер // Устойчивое лесопользование, 2004. № 4 (6). С. 47–48.
- [3] Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны. Петроград, 1916–1917. Ч. I–I. 318 с.
- [4] Мигунова Е.С. Создатели лесотипологической классификации А.А. Крюденер и Е.В. Алексеев // Лесное хозяйство, 2009. № 2. С. 13–14.
- [5] Правила учета древесины. URL: <https://base.garant.ru/70835668/> (дата обращения 12.10.2019).
- [6] ГОСТ 2708–75. Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов. М.: Издательство стандартов, 1975. 36 с.
- [7] Поздняков Л.К. Лесное ресурсоведение. Новосибирск: Наука, 1973. 120 с.
- [8] Курицын А.К. Круглые лесоматериалы: справочное пособие. М.: ООО Лесэксперт, 2006, 153 с.
- [9] Курицын А.К. Единая методика измерения объема круглых лесоматериалов // ЛеспромИнформ, 2010, № 3 (69). С. 78.
- [10] 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> (дата обращения 12.10.2019).
- [11] Круглые лесоматериалы — 2019. Сортиментация древесины. Учет сортиментов: справочное пособие. URL: http://les.expert/2019/07/07/Roundwood_Handbook_2019.pdf/ (дата обращения 12.10.2019).
- [12] Хуанг Ю., Фух Ч. Распознавание лица и распознавание улыбки // Материалы Конференции IPPR по компьютерному зрению, графике и обработке визуальных данных. Тайвань, 2009.
- [13] Камбла М., Сирп Т. Аппарат обработки изображений и метод определения объема древесины в штабеле. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2017114977&tab=PCTBIBLIO> (дата обращения 15.10.2019).
- [14] Международный стандарт. Лесоматериалы — круглые и пиленые лесоматериалы: словарь. 2013. С. 27–28. URL: http://les.expert/DOC/ISO_24294-2013.pdf (дата обращения 15.10.2019).

- [15] Сирп Т. Timbeter: за счет чего достигается точность измерения бревна? URL: <http://www.timbeter.com/ru/вы-задавались-вопросом-как-timbeter-правильн/> (дата обращения 01.10.2019).
- [16] Цахкна А.Г. Почему использование искусственного интеллекта эффективнее ручных измерений? URL: <http://www.timbeter.com/ru/почему-использование-искусственного/> (дата обращения 01.10.2019).
- [17] Ди Джузеппе Р. Человек может измерить 200 бревен в час. Timbeter измеряет 280 000. URL: <http://www.timbeter.com/ru/человек-может-измерить-200-бревен-в-час-timbeter/> (дата обращения 01.10.2019).
- [18] Сирп Т. Как качество штабеля влияет на результат измерений. URL: <http://www.timbeter.com/ru/как-качество-штабеля-влияет-на-результ/> (дата обращения 01.10.2019).
- [19] Смоляк С. Timbeter предоставляет возможность цифрового доказательства объема леса, и цена за эту уникальную возможность невысока. URL: <http://www.timbeter.com/ru/красный-октябрь-timbeter-предоставляет-во/> (дата обращения 15.10.2019).
- [20] Тобар Х. СМПС Чили: Timbeter помогает сохранить здоровье работников, сэкономить время и краску. URL: <http://www.timbeter.com/ru/смрс-чили-timbeter-помогает-сохранить-здоровье-р/> (дата обращения 15.10.2019).

Сведения об авторах

Беляев Николай Львович — инженер лесного хозяйства, nikolai@timbeter.com

Сафаргалиева Софья Фаридовна — сотр. клиентской поддержки Timbeter OÜ, sofya@timbeter.com

Поступила в редакцию 18.10.2019.

Принята к публикации 23.12.2019.

MODERN TECHNOLOGIES APPLIED TO ROUNDWOOD MATERIALS VALUATION AS A PART OF PRECISION FORESTRY

N.L. Belyaev, S.F. Safargalieva

Timbeter OÜ, 21/1, Akadeemia tee, 12618, Tallinn, Estonia

nikolai@timbeter.com

Artificial Intelligence based technology development offers new opportunities in timber measurement, related to harvested stock inventory. Log ends detection, recognition, counting and measurement features offered by relevant mobile application solutions based on AI and machine learning provide new tools for more detailed and accurate evaluation of logged volume, which can assist in a more correct assessment of growing stock and log assortment distribution.

Keywords: roundwood measurements, artificial intelligence, machine learning, mobile application, optoelectronic accounting, roundwood valuation

Suggested citation: Belyaev N.L., Safargalieva S.F. *Noveyshie tekhnologii v taksatsii zagotavlennykh lesomaterialov kak element pretsizionnogo lesnogo khozyaystva* [Modern technologies applied to roundwood materials valuation as a part of precision forestry]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 18–25.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-18-25

References

- [1] Kováčsová, P., Antalová M. *Pretsznoe lesovodstvo — opredelenie i tekhnologii* [Precision Forestry — Definition and Technologies]. Zagreb: Šumarski list br. 11–12, CXXXIV, 2010, pp. 603–611.
- [2] Merzlenko M.D. *Artur Arturovich Kryudener* [Arthur Arturovich Krudener]. Устойчивое лесопользование [Sustainable Forest Management], 2004, no. 4 (6), pp. 47–48.
- [3] Kryudener A.A. *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdeniy i ikh narodnokhozyaystvennoe znachenie v obikhode strany* [Fundamentals of classification of planting types and their economic importance in the everyday life of the country]. Saint Petersburg, 1916–1917, part I–I, 318 p.
- [4] Migunova E.S. *Sozdateli lesotipologicheskoy klassifikatsii A.A. Kryudener i E.V. Alekseev* [The creators of the forest typological classification A.A. Krudener and E.V. Alekseev]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2009, no. 2, pp. 13–14.
- [5] *Pravila ucheta drevesiny* [Timber Accounting Rules]. Available at: <https://base.garant.ru/70835668/> (accessed 12.10.2019).
- [6] *GOST 2708–75. Lesomaterialy kruglye. Tablitsy ob'emov* [GOST 2708–75. Round timber. Tables of volumes]. Moscow: Publishing house of standards, 1975, 36 p.
- [7] Pozdnyakov L.K. *Lesnoe resursovedenie* [Forest Resource Management]. Novosibirsk: Nauka, 1973, 120 p.
- [8] Kuritsyn A.K. *Kruglye lesomaterialy. Spravochnoe posobie* [Round timber. Reference manual]. Moscow: LLC Lesekspert, 2006, 153 p.
- [9] Kuritsyn A.K. *Edinaya metodika izmereniya ob'ema kruglykh lesomaterialov* [Unified methodology for measuring the volume of round timber]. *LespromInform*, no. 3 (69), 2010, p. 78.

- [10] Samoylov A.N. *Klassifikatsiya i opredelenie osnovnykh napravleniy razvitiya metodov izmereniya ob'ema kruglogo lesomateriala* [Classification and determination of the main directions of development of methods for measuring the volume of round timber]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU* [Political Mathematical Network Electronic Scientific Journal KubGAU], 2006, no. 24 (8). URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/13.pdf> (accessed 12.10.2019).
- [11] *Kruglye lesomaterialy — 2019. Sortimentatsiya drevesiny. Uchet sortimentov: cpravochnoe posobie* [Round Timber — 2019. Sorting of timber. Assortment accounting: reference guide]. Available at: http://les.expert/2019/07/07/Roundwood_Handbook_2019.pdf/ (accessed 12.10.2019).
- [12] Khuang Yu., Fukh Ch. *Raspozvanie litsa i raspoznavanie ulybki* [Face recognition and smile recognition] *Materialy Konferentsii IPPR po komp'yuternomu zreniyu, grafike i obrabotke vizual'nykh dannykh* [Materials of the IPPR Conference on computer vision, graphics and visual data processing]. Taiwan, 2009.
- [13] Kambla M., Sirp T. *Apparat obrabotki izobrazheniy i metod opredeleniya ob'ema drevesiny v shtabele* [Image processing apparatus and method for determining the volume of wood in a stack]. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2017114977&tab=PCTBIBLIO> (accessed 15.10.2019).
- [14] *Mezhdunarodnyy standart. Lesomaterialy — Kruglye i pilenye lesomaterialy — Slovar'* [International Standard. Timber — Round and sawn timber — Vocabulary], 2013, pp. 27–28. Available at: http://les.expert/DOC/ISO_24294-2013.pdf (accessed 15.10.2019).
- [15] Sirp T. *Timbeter: za schet chego dostigaetsya tochnost' izmereniya brevna?* [Timbeter: How is log measurement accuracy achieved?] Available at: <http://www.timbeter.com/en/you-were-asked-as-a-question-timbeter-right/> (accessed 01.10.2019).
- [16] Tsakhkna, A.-G. *Pochemu ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta effektivnee ruchnykh izmereniy?* [Why is the use of artificial intelligence more effective than manual measurements?] Available at: <http://www.timbeter.com/en/why-use-artificial/> (accessed 01.10.2019).
- [17] Di Giuseppe R. *Chelovek mozhet izmerit' 200 breven v chas. Timbeter izmeryaet 280 000* [A person can measure 200 logs per hour. Timbeter measures 280,000]. Available at: <http://www.timbeter.com/en/man-can-measure-200-logs-per-hour-timbeter/> (accessed 01.10.2019).
- [18] Sirp T. *Kak kachestvo shtabelya vliyaet na rezul'tat izmereniy* [How the quality of the stack affects the measurement result]. Available at: <http://www.timbeter.com/ru/as-the-quality-of-the-stacks-influences-the-result/> (accessed 01.10.2019).
- [19] Smolyak S. *Timbeter predostavlyaet vozmozhnost' tsifrovogo dokazatel'stva ob'ema lesa, i tsena za etu unikal'nuyu vozmozhnost' nevysoka* [Timbeter provides digital evidence of forest volume, and the price for this unique opportunity is low]. Available at: <http://www.timbeter.com/en/red-October-timbeter-provides-to/> (accessed 15.10.2019).
- [20] Tobar Kh. *CMPC Chili: Timbeter pomogaet sokhranit' zdorov'e rabotnikov, sekonomit' vremya i krasku* [CMPC Chile: Timbeter helps keep workers healthy, save time and paint]. Available at: <http://www.timbeter.com/en/cmhc-checked-timbeter-helps-save-Health/> (accessed 15.10.2019).

Authors' information

Belyaev Nikolay L'vovich — Forestry Engineer, nikolai@timbeter.com

Safargaliyeva Sof'ya Faridovna — Customer support manager at Timbeter OÜ, sofya@timbeter.com

Received 18.10.2019.

Accepted for publication 23.12.2019.