

## Способ учета и контроля круглых лесоматериалов

П.Б. Рябухин<sup>a</sup>, Н.В. Казаков<sup>b</sup>, А.В. Абузов<sup>c</sup>

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

<sup>a</sup> 000340@pnu.edu.ru, <sup>b</sup> kazakov.nikolay@mail.ru, <sup>c</sup> ac-systems@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>,

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5222-3845>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>

Статья поступила 22.10.2019, принята 14.11.2019

*Работа посвящена организации компьютерного учета заготовленных круглых лесоматериалов современными техническими средствами лесопользования и заготовки древесной продукции. Выполнен анализ взаимосвязи информации об актуальных данных по древесным ресурсам, имеющихся в информационной системе лесопромышленного предприятия, и его эффективности в области практической деятельности. Предлагаются способ автоматизированного управления операциями учета и контроля за заготовкой и перемещением древесной продукции, а также метод виртуальной маркировки деревьев на лесных участках и автоматического клеймения круглых лесоматериалов лесозаготовительной машиной. Предложенный метод и совокупность программно-аппаратных средств информационного связывания получаемой информации с базами данных предприятия и Единой государственной автоматизированной информационной системой учета древесины и сделок с ней (ЕГАИС) обеспечивают полный и открытый учет эксплуатируемых лесных ресурсов и контроль перемещений древесины с применением технических средств. Разработанные алгоритмические методы в совокупности с программно-аппаратными средствами позволяют управлять процессами учета древесных ресурсов и производимой из древесины продукции в адресной базе данных лесопромышленных предприятий и ЕГАИС с учетом законодательства в области ведения лесного хозяйства и лесозаготовок. Предложенный в статье способ учета и контроля заготовки и перемещения производимой продукции лесопромышленных предприятий, в отличие от существующих, позволяет выполнять операцию клеймения круглых лесоматериалов в автоматическом режиме, за один технологический проход обрабатываемого дерева через процессорную головку лесозаготовительной машины, и дает возможность производителям и потребителям круглых лесоматериалов ускорить процесс обмена информацией для принятия оперативных решений.*

**Ключевые слова:** круглый лесоматериал; учет; маркирование; клеймение; алгоритм; сканирование; информатизация; автоматизация; контроль и управление.

## Method of accounting and round timber control

P.B. Ryabukhin<sup>a</sup>, N.V. Kazakov<sup>b</sup>, A.V. Abuzov<sup>c</sup>

Pacific National University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

<sup>a</sup> 000340@pnu.edu.ru, <sup>b</sup> kazakov.nikolay@mail.ru, <sup>c</sup> ac-systems@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>,

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5222-3845>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>

Received 22.10.2019, accepted 14.11.2019

*The work is devoted to the organization of computer accounting of harvested round timber with modern technical means of forest management and harvesting of wood products. The analysis of the relationship of information on relevant data on wood resources available in the information system of a forestry enterprise and its effectiveness in the field of practical activities has been performed. A method for the automated management of accounting and control over the harvesting and movement of wood products, as well as a method of virtual marking of trees in forest areas and automatic branding of round timber with a harvesting machine are proposed. The proposed method and a combination of software and hardware tools for information linking the information received with the enterprise databases and the Unified State Automated Information System for Timber Accounting and Transactions with it provide complete and open accounting of exploited forest resources and control of wood movements using technical means. The developed algorithmic methods in combination with software and hardware allow managing the processes of accounting for wood resources and wood products in the address database of timber enterprises and the Unified State Automated Information System taking into account legislation in the field of forestry and logging. The method proposed in the article for recording and controlling the harvesting and movement of manufactured products of timber enterprises, unlike existing ones, allows for the rounding operation of round timber in an automatic mode, for one technological pass of the processed wood through the processor head of the logging machine and enables manufacturers and consumers of round timber accelerate the exchange of information for operational decisions.*

**Keywords:** round timber; accounting; marking; branding; algorithm; scanning; informatization; automation; control and management.

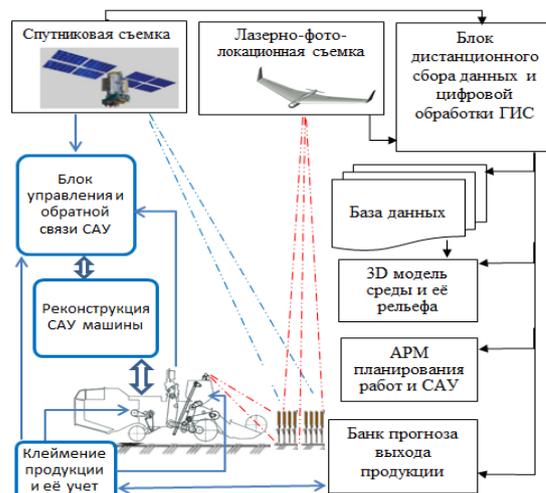
**Введение.** Развитие систем автоматизированного управления процессами по учету и контролю объемов и качества заготавливаемой древесины и информационными потоками в производстве и продаже древесинной продукции лесопромышленных предприятий требует создания цифровых пространственных моделей реальных лесных участков, отводимых под промышленную рубку, являющихся основой для использования автоматизированной виртуальной маркировки растущих деревьев. Выполняемая в ходе подготовительных работ по отводу лесосек в рубку виртуальная маркировка растущих деревьев дистанционными методами, а также адресная привязка таксационных параметров каждого дерева и точного географического их расположения размещаются в корпоративной информационной системе предприятия [3; 8].

Разработка современных методов учета ресурсов круглых лесоматериалов и маркировки продукции, производимой из древесного сырья, инструментария для удаленного мониторинга и контроля ее передвижения определяется потребностью современной логистики и контролируется нормами лесного и административного законодательства РФ.

В настоящее время повысились требования к точности информации об объемах и качестве лесных древесных ресурсов (в первую очередь, относящихся к промышленно значимым) с целью формирования объективных и полноценных данных о местах заготовки древесины и контроле за перемещением произведенной и промаркированной продукции [7; 12; 14]. Во главу угла ставятся такие первостепенные задачи, как сбор и обработка объективных актуализированных данных о древесных ресурсах. Из числа практически используемого инструментария, позволяющего обеспечивать высокую эффективность управления процессом учета и контроля за деятельностью лесозаготовительных компаний, можно выделить автоматизированные геоинформационные системы (ГИС), с помощью которых появляется возможность создания единого структурированного информационного пространства для всех производственных структур производителя продукции. Использование ГИС позволяет реализовать оперативный обмен информацией между подразделениями предприятия, эффективно использовать получаемую извне информацию с целью научно обоснованного принятия решений в области внесения корректирующих действий в производственный процесс предприятия. Методология и технологии удаленного сбора информации при проведении учета и контроля за лесными ресурсами постоянно совершенствуются. В настоящее время для точного измерения параметров лесных территорий наибольшее применение находит метод лазерного зондирования [1; 14].

Использование для осуществления видеосъемки рельефа поверхностного слоя земли, древесной растительности лесных участков с помощью современных высокоточных систем спутникового позиционирования, лазерного и цифрового оборудования, установленного на спутниках, дает возможность в удаленном режиме проводить измерения геометрических параметров объектов, размещенных на этих участках, с достаточно высокой степенью точности [1; 15]. Прин-

ципальная схема сбора информации по учету круглых лесоматериалов и его алгоритмические особенности раскрыты в схеме (рис. 1) и реализованы в программном комплексе [10].



**Рис. 1.** Принципиальная схема сбора информации по учету круглых лесоматериалов

Для создания и внедрения такой информационной системы в условиях функционирования лесозаготовительного предприятия требуется провести математическое моделирование входящих и исходящих элементов и их структурных взаимосвязей.

**Методика и результаты исследования.** К наиболее эффективным способам построения подобной информационной модели для учета древесных ресурсов можно отнести алгоритмическое моделирование, которое основано на объединении классических имитационных моделей технологических операций, выполняемых лесозаготовительными машинами, и цифровых моделей лесной местности с древесными ресурсами [1; 7; 10; 14; 16]. В этом случае можно считать, что алгоритмическая совокупность структурных элементов модели представляет собой систему, в которой основные управляющие параметры описываются математическими зависимостями с логическими условиями, способствующими бифуркации вычислительного процесса. При этом управление входными параметрами выполняется с помощью математического инструментария, который имитирует действия компонентов исследуемых объектов и их взаимосвязи в процессе работы средств учета и контроля за движением заготовленной древесной продукции.

Для производственных условий предприятий лесной промышленности основные моменты, определяющие содержание метода учета древесины и особенности алгоритма его реализации, включают следующие этапы:

**А.** Проведение работ по сбору и подготовке исходных данных для их анализа. При этом происходит сбор информации о запасах и таксационных характеристиках древесных ресурсов, а также параметрах производственного процесса лесопромышленного предприятия в виде схем, карт, таблиц и т. д. Осуществляется обновление базы данных с использованием результатов, полученных с применением методов дистанционного

зондирования поверхности земли, после чего проводится сравнение цифровых моделей местности и лесных ресурсов, полученных с помощью дистанционного зондирования поверхности, с имеющейся документацией, сформированной при проведении лесоустроительных работ.

**Б.** Разработка пространственных цифровых моделей рельефа лесных участков с использованием ГИС-технологий. Трехмерное изображение местности осуществляется с использованием метода локальной интерполяции кривыми неоднородного рационального фундаментального сплайна. Наиболее часто в этих случаях используется рациональная параметрическая кривая на основе В-сплайн-интерполяции (В-сплайн), которая может быть описана в каждой своей точке с помощью стандартно используемого радиус-вектора  $r(u)$ :

$$r(u) = \sum_{i=1}^n N_{i,p}(u)w_i p_i / \sum_{i=1}^n N_{i,p}(u)w_i, \quad (1)$$

где  $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$ .

Обозначим ее  $N_{i,p}(u)$  степени  $p$  (порядок  $p + 1$ ) и примем, что интерполяция построена по вершинам  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n; n \geq m$ ) с весами  $w_i$ .

**В.** Формирование на основе разработанных цифровых моделей местности и древесных ресурсов тематических слоев в виде гарей, ветровалов и других участков, не покрытых лесной растительностью. Участки земли, покрытые лесом, размещаются в соответствии с данными лесоустройства и лесотаксационными планами, где отдельно вычлняются неэксплуатационные участки, информация о которых необходима при разработке лесного участка (лесосеки) [8; 9].

В рамках данного этапа работ выполняется пространственно-математическое моделирование в соответствии с пунктом **А** и производится геокодирование каждого  $k$ -го дерева на участке в следующей последовательности:

- фиксируется расположение стволов деревьев по виртуальной их оси  $S_k = f(x, y, z)$ ;

- устанавливаются основные геометрические параметры деревьев: комлевой диаметр ствола  $D^{cm}_k$ , его сбежистость  $C_k$  и др. с использованием разработанных эмпирических зависимостей и формализованной экспертной информации (эксперт-подсистема) в зависимости от высоты каждого  $k$ -го дерева  $H_k$ , формы и диаметра кроны  $D^{kp}_k$  (например, диаметр ствола  $D^{cm}_k = f(P_k, H_k)$ , его сбежистость  $C_k = f(P_k, H_k)$  и др.) [7];

- проводится прогнозирование и определение возраста  $T_k$  деревьев;

- выполняется проверка полученных данных о таксационных и эксплуатационных параметрах деревьев в насаждении лесного участка на предмет возможных аналитических ошибок идентификации указанных характеристик в соответствии с условиями ограничений, определенных законом их распределения [1; 6]:

$$\varphi(Z_j) = \sum_{i=1}^n \left\{ a_i \left( \frac{1}{2\pi\delta_{i1}^2\delta_{i2}^2} \right) * \left( \exp \left( - \left[ \frac{(R_5 - r_5)^2}{2\delta_{i1}^2} + \frac{(R_9 - r_9)^2}{2\delta_{i2}^2} \right] \right) \right) \right\} \forall, \quad (2)$$

где  $R_5 = \sum_{j=1}^k a_j \bar{z}_j$ ;  $R_9 = \sum_{j=1}^k b_j \bar{z}_j$ ;  $r_5 = \sum_{j=1}^k a_j \bar{z}_j$ ;  $r_9 = \sum_{j=1}^k b_j \bar{z}_j$ ;

$k$  — число переменных параметров;  $n$  — число мод закона распределения;  $\bar{z}_{ij}, \delta_{ij}^2$  — параметры закона распределения для  $j$ -й переменной в  $i$ -й группе;  $\alpha_i$  — коэффициенты, определяющие долю  $i$ -й моды в композиционном законе;  $a_j, b_j$  — коэффициенты факторных вкладов [7];

- деревья устанавливаются и маркируются в электронно-виртуальном виде с учетом их функционального назначения. В числе деревьев обозначаются реперные, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве навигационных точек  $S^{pen}_l$ , где  $l \leq k$ ;

- производится корректировка данных в лесном фонде в соответствии с расположением поквартальных и поведельных сетей;

- осуществляется подготовка необходимых по регламенту документов к оформлению отвода выделенного лесного участка в рубку.

**Г.** Проведение количественной оценки древесины, отведенной в рубку на лесном участке, и ее согласование с должностным лицом органов управления лесным хозяйством, ответственным за актуальность данных. При этом устанавливается степень технологического воздействия на выделенный лесной участок с указанием долей выборки и сохранности подроста, оставляемых деревьев и других показателей [7; 10; 13]. Кроме того, устанавливается количество и перечень деревьев, отведенных в рубку  $S^{pyb}_j$ , где  $j \leq k$ .

Исходя из таксационных характеристик древостоя на данном лесном участке, производится оценка предполагаемого объема выхода  $z$ -го сортимента  $S^{pyb}_{jz} = f(S^{pyb}_j D_k, C_k, H_k)$  с помощью программного комплекса [10].

На основании проведенного анализа выполняется предварительная оценка экономической целесообразности и эффективности проведения рубок на выбранном лесном участке (лесосеке).

**Д.** Проводится планирование работы на местности, с учетом ее рельефа и размещения древостоя определяется наиболее эффективный маршрут перемещения лесозаготовительной машины (харвестера)  $\bar{R} = f(r(t), S_k, S^{pen}_l, S^{pyb}_j, S^{pyb}_{jz}, \bar{R}, \Psi^{nm})$  и месторасположения технологических стоянок машины  $T^{cm}_i$ , которые обеспечат однозначную досягаемость группе  $S^{pyb}_j$  каждой  $i$ -й стоянки.

**Е.** Создаются программы  $P^{CAV} = f(r(t), S_k, S^{pen}_l, S^{pyb}_j, S^{pyb}_{jz}, \bar{R}, \Psi^{nm})$  систем автоматического управления лесозаготовительными  $P^{CAV}_l$  и транспортными  $P^{CAV}_m$  машинами, при этом выходом в решении задачи управления харвестера устанавливается набор векторов его движения  $V_i$  [10].

**Ж.** Создаются программы процедуры маркировки  $P^p_m$  и учета  $P^p_y$  движения произведенных круглых лесоматериалов  $S^{pyb}_{jz}$  для харвестера  $P^{CAV}_l$  и транспортной машины  $P^{CAV}_m$  [10].

Использование удаленной виртуальной маркировки деревьев, назначенных в рубку, дает возможность проводить учет в автоматизированном режиме, обеспечивает оперативное решение производственных вопросов и формирование в он-лайн режиме потенциального банка данных по объему и качеству круглых лесоматериалов, а так же устраняет несоответствия актуальной

информации в случае наличия нескольких геометрических фигур (деревьев) [9].

Алгоритм проведения процесса автоматического клеймения произведенной продукции в виде круглых лесоматериалов реализуется в следующей последовательности: лесозаготовительная машина, перемещаясь по размеченному маршруту лесного участка, производит валку отмеченных деревьев, обрезку сучьев и разделку ствола на сортименты. Каждый полученный сортимент подлежит клеймению. При этом все технологические операции по обработке срезанных деревьев и приспособления для хранения чипсетов (электронных идентификаторов) и их подачи в механизм для клеймения древесины осуществляются уже разработанными и внедренными в производство средствами [4]. Операция клеймения круглых лесоматериалов чипсетом заключается в следующем: в процессе раскряя дерева на круглые лесоматериалы в торец каждого произведенного сортимента внедряется модифицированный электронный идентификатор с помощью встроенного в процессорную головку лесозаготовительной машины. После клеймения всех сортиментов, полученных из срезанного дерева, производят первичную обработку информации по произведенной продукции, которая связывается с уникальным кодом чипсета и передается в соответствующую базу данных для учета. Вся полученная информация может быть проверена с использованием специализированных аналитических устройств [4]. Для осуществления контроля за перемещением произведенной продукции могут быть использованы считыватели информации с электронных идентификаторов, установленных в произведенной продукции, работа которых осуществляется известными способами. Распознавание блока уникальных кодов чипсетов проводится с использованием известных программно-аппаратных средств (на базе операционного противоконфликтного приема сигналов), встроенных в считыватель [5; 9; 14].

**Заключение.** Данный способ учета и контроля за заготовкой и перемещением производимой продукции лесопромышленных предприятий, в отличие от существующих, позволяет выполнять операцию клеймения круглых лесоматериалов в автоматическом режиме за один технологический проход обрабатываемого дерева через процессорную головку лесозаготовительной машины и дает возможность производителям круглых лесоматериалов и их потребителям ускорить процесс обмена информацией для принятия оперативных решений.

#### *Литература*

1. Ko C., Sohn G., Rimmel T.K. Tree genera classification with geometric features from high-density airborne LiDAR // Canadian Journal of Remote Sensing. 2013. T. 39, № sup1. P. 573–585.
2. Зуковицкий С.И., Авдеева Л.И. Линейное и выпуклое программирование. М.: Наука, 1987. 460 с.
3. Казаков Н.В., Садетдинов М.А., Кривошеева Р.Н. Метод управления лесными агрегатами и аспекты точности их позиционирования [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL:

www.science-education.ru/120-16835 (дата обращения: 23.09.2019).

4. Казаков Н.В., Кривошеева Р.Н. Агрегат для лесопользования: пат. 153577 РФ; опубл. 27.07.15. Бюл. № 21.
5. Симоненков М.В., Салминен Э.О., Бачериков И.В. Способ мониторинга перемещения и автоматического контроля легальности заготовки круглых лесоматериалов в цепи поставок: пат. 2589325. РФ; опубл. 10.07.16. Бюл. № 19.
6. Рейгольд Э., Нивергейльб Ю., Дсо Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. М., 1980. 480 с.
7. Рябухин П.Б., Ковалев А.П., Казаков Н.В., Луценко Е.В. Лесозаготовки на Дальнем Востоке — состояние и перспективы: моногр. Хабаровск: Изд-во ФГУ ДальНИИЛХ, 2010. 283 с.
8. Рябухин П.Б., Казаков Н.В., Аузов А.В. Метод комплексного анализа систем устойчивого промышленного лесопользования // Лесной вестник. 2013. № 1(93). С. 129–132.
9. Санников С.П., Герц Э.Ф., Дьячкова А.А. Методология дистанционного мониторинга древостоев и транспортных потоков древесины // Изв. вузов. Лесной журнал. 2016. № 3(351). С. 109–115.
10. Казаков Н.В., Кривошеева Р.Н. Программный комплекс для информационно-управляющей системы лесозаготовительного предприятия: программа для ЭВМ. Св. о гос. рег. № 2016617425. М.: Роспатент, 2016.
11. Цвирун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1982. 200 с.
12. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Zhan Hongzhen. Mathematical models of principal felling characteristics on cutting areas in the Far East // Journal of Northeast forestry University. 1989. Vol. 7, № 5. P. 95–100.
13. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Chramtsov G.F. Structural and parametric synthesis of longterm ecologically compatible machine system and technological processes for lumbering // Abstr. The First Soviet Union-China Symposium on the actual problems of the scientific and technological progress of the Far Eastern region on the base of Soviet Union-China direct cooperation. Khabarovsk, 2001. P. 53.
14. Maguire D.J., Batty M., Goodchild M.F. GIS, Spatial Analysis and Modeling // Red-lands, California: ESRI Press, 2005. 480 p.
15. Avery T.E., Burkhart H.E. Forest Measurements. NY: 5th Edition. McGraw-Hill. 2002. 456 p.
16. Bestandespflegliche mechanisierte Nadelschwachholzernte mit dem Thurnauer und Wolfagger Verfahren / Denninger W. Holz-Zentralblatt. 2006. Vol. 112, № 77. P. 1153–1154.

#### *References*

1. Ko C., Sohn G., Rimmel T.K. Tree genera classification with geometric features from high-density airborne LiDAR // Canadian Journal of Remote Sensing. 2013. Vol. 39, № sup1. P. 573–585.
2. Zukovickij S.I., Avdeeva L.I. Linear and convex programming. M.: Nauka, 1987. 460 p.
3. Kazakov N.V., Sadetdinov M.A., Krivosheeva R.N. Method of forest aggregates control and aspects of their positioning accuracy [Elektronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 6. URL. www.science-education.ru/120-16835 (data obrashcheniya: 23.09.2019).
4. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. Unit for forest use: pat. 153577 Ros. Federaciya; opubl. 27.07.15. Byul. № 21.
5. Simonenkov M.V., Salminen E.O., Bacherikov I.V. A method of monitoring the movement and automatic control of the legality of procurement of round timber in the supply chain: pat. 2589325. Ros. Federaciya; opubl. 10.07.16. Byul. № 19.
6. Rejgol'd E., Nivergejl'b YU., Dso N. Combinatorial algorithms. Theory and practice. M., 1980. 480 p.

7. Ryabuhin P.B., Kovalev A.P., Kazakov N.V., Lucenko E.V. Logging in the far East-state and prospects: monogr. Habarovsk: Izd-vo FGU Dal'NIILH, 2010. 283 p.
8. Ryabuhin P.B., Kazakov N.V., Auzov A.V. Method of complex analysis of sustainable industrial forest management systems // Forest Journal. 2013. № 1(93). P. 129–132.
9. Sannikov S.P., Gerc E.F., D'yachkova A.A. Methodology for remote monitoring of forest stands and transport of wood flows // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2016. № 3(351). P. 109–115.
10. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. Program complex for information and control system of logging enterprise: programma dlya EVM. Sv. o gos. reg. № 2016617425. M.: Rospatent, 2016.
11. Cvirkun A.D. Fundamentals of synthesis of complex systems structure. M.: Nauka, 1982. 200 p.
12. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Zhan Hongzhen. Mathematical models of principal felling characteristics on cutting areas in the Far East // Journal of Northeast forestry University. 1989. Vol. 7, № 5. P. 95–100.
13. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Chramtsov G.F. Structural and parametric synthesis of long-term ecologically compatible machine system and technological processes for lumbering // Abstr. The First Soviet Union-China Symposium on the actual problems of the scientific and technological progress of the Far Eastern region on the base of Soviet Union-China direct cooperation. Khabarovsk, 2001. P. 53.
14. Maguire D.J., Batty M., Goodchild M.F. GIS, Spatial Analysis, and Modeling // Redlands, California: ESRI Press, 2005. 480 p.
15. Avery T.E., Burkhart H.E. Forest Measurements. New York: 5th Edition. McGraw-Hill. 2002. 456 p.
16. Bestandespflegliche mechanisierte Nadelschwachholzernte mit dem Thurnauer und Wolfagger Verfahren/Denninger W.-Holz-Zentralblatt. 2006. Vol. 112, № 77. P. 1153-1154.