



УДК 634.032

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

МЕТОДЫ УЧЕТА ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСОСЕК И МОНИТОРИНГА ПРОИЗВЕДЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Н.В. Казаков, д-р техн. наук, доц.

П.Б. Рябухин, д-р техн. наук, проф.

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, д. 36, г. Хабаровск, Россия, 680035; e-mail: kazakov.nikolay@mail.ru, PRyabukhin@mail.khstu.ru

Показана возможность организации автоматизированного учета доступными техническими средствами лесопромышленных древесных ресурсов и произведенной древесины. Проведен анализ взаимосвязи наполнения актуальными данными о древесных ресурсах информационной системы лесопромышленного предприятия и эффективности его практической деятельности, обоснован выбор методов дистанционного зондирования Земли, обеспечивающих заданную точность получаемых фактических данных о лесных ресурсах. Предложен алгоритмический метод управления процессами учета древесных ресурсов и произведенной древесины в адресной базе данных и среде Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней в соответствии с нормами лесного права. Разработка систем автоматизированного управления процессами учета древесных ресурсов, отводимых в рубку, и информационными потоками производства и реализации древесины предприятия опирается на создаваемые цифровые пространственные модели реальных участков леса, подлежащих рубке. Принципиально отличающимся от известных методов являются именно метод автоматизированной виртуальной маркировки произрастающих деревьев, производимой в процессе подготовки лесосеки в рубку дистанционными методами, а также адресная привязка полученных данных о каждом конкретном дереве и точном географическом его местоположении в корпоративной информационной системе. Разработаны технология автоматизированного управления процессами учета и метод виртуальной маркировки деревьев лесосеки, способ автоматического клеймения произведенной продукции на лесосеке. Предложенный метод и совокупность программно-аппаратных средств информационного связывания получаемой информации обеспечивают полный и открытый учет эксплуатируемых лесных ресурсов и контроль перемещений древесины с применением технических средств.

Для цитирования: Казаков Н.В., Рябухин П.Б. Методы учета древостоев лесосек и мониторинга произведенной продукции // Лесн. журн. 2017. № 5. С.103–109. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

Ключевые слова: учет древостоев, виртуальная маркировка деревьев, клеймение, алгоритм, дистанционное зондирование Земли, информатизация, автоматизация, управление.

Развитие методов учета древесных ресурсов, маркирования, дистанционного мониторинга и контроля перемещений произведенной древесины определяется нормами лесного и административного права Российской Федерации.

В современных условиях возросли требования к точности получаемой информации о лесных ресурсах промышленного назначения и их учету в целях сбора данных о происхождении древесины и мониторинга перемещений маркированной продукции [7, 9]. На передний план выдвигаются и очень важные задачи по сбору актуальных данных о лесных ресурсах и их оперативной обработке. Из числа практически используемых инструментов, обеспечивающих оперативность и результативность управления учетной политикой лесопромышленных предприятий, наиболее удобными являются автоматизированные геоинформационные системы, позволяющие создать единое информационное пространство предприятия с возможностью эффективного обмена информацией между его подразделениями, оперативно интегрировать внешнюю информацию для научного обоснования планирования практических действий. Методы и технологии дистанционного получения информации в решении задач мониторинга лесов постоянно совершенствуются. Так, для изучения и высокоточного измерения параметров лесного покрова все шире применяется лазерное зондирование [7, 8 и др.]. Использование высокоточных систем глобального спутникового позиционирования, бортовой лазерной и цифровой видеосъемки характеристик земной поверхности и растительности лесных участков (лесосек) позволяет дистанционно измерять геометрические параметры наземных объектов с точностью около 5 см в плане и с дециметровой точностью по высоте [6, 8 и др.]. Разработка и реализация подобной информационной системы для лесопромышленного предприятия предполагает моделирование входящих и исходящих компонентов и их взаимосвязей.

Один из эффективных подходов к построению информационной модели учета лесных ресурсов – алгоритмическое моделирование, основанное на интеграции классических имитационных моделей операций и машин с пространственными цифровыми моделями рельефа и древостоя [3, 5, 7, 8]. Алгоритмичность модели позволяет наиболее полно учесть основные свойства и взаимосвязанность составных частей процессов лесопользования при учете древесных ресурсов и перемещений производимой продукции из древесины. При этом разветвление вычислительного процесса информационной модели учета лесных ресурсов в соответствии с логическими условиями, описываемыми математическими конструкциями, обеспечивает значительное увеличение скорости обработки информации в среде Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней.

Основное содержание метода учета древесины для промышленного лесопользования и его алгоритмические особенности заключаются в выполнении следующей последовательности действий:

1. Выполняется сбор, подготовка исходных данных и их анализ:

сбор существующей информации о лесных древесных ресурсах и производственных условиях на основе лесоустроительных и географических карт, таксационных описаний, сортиментных таблиц и др.;

сканирование лесного участка методами дистанционного зондирования Земли (в частности, на первом этапе путем получения и обработки спектральных спутниковых снимков и на следующем этапе путем сбора потоковых данных лазерной локации древостоя лесосеки и подстилающей земной поверхности);

синхронизация полученных дистанционным способом цифровых таксационных данных лесных ресурсов с данными лесоустроительных документов.

2. Осуществляется пространственное цифровое моделирование древостоя лесосеки и рельефа местности на базе геоинформационных технологий. Для построения трехмерного изображения рельефа обычно используется локальная интерполяция кривыми неоднородного рационального фундаментального сплайна [7 и др.]. Наибольшее распространение получила рациональная параметрическая кривая на основе В-сплайн-интерполяции (B-spline). Обозначим ее $N_{i,p}(u)$ степени p (порядок $p + 1$). Она построена по вершинам p_i ($i = 1, 2, \dots, n$; $n \geq m$) с весами w_i и может быть описана в каждой своей точке с помощью стандартно применяемого радиус-вектора $r(u)$ [8]:

$$r(u) = \sum_{i=1}^n N_{i,p}(u) w_i p_i / \sum_{i=1}^n N_{i,p}(u) w_i, \text{ где } u_{\min} \leq u \leq u_{\max}. \quad (1)$$

3. Создаются на основе полученных цифровых моделей рельефа и лесных ресурсов следующие тематические слои лесной территории: непокрытые лесом земли, гари, ветровалы и др.; покрытые лесом земли распределяются на области в соответствии с планом лесонасаждений, в них отдельно выделяются аномальные (например, больные, зараженные вредителями насаждения) и другие зоны, информация о которых очень важна при планировании освоения участка [6, 7].

3.1. Осуществляются пространственно-математическое моделирование и локальное геокодирование каждого k -го дерева (устанавливаются данные о его породе P_k , высоте H_k , форме F_k и диаметре кроны D_k^{kp} (по п. 1)):

3.1.1. Вычисляются точки расположения центров стволов $S_k = f(x, y, z)$.

3.1.2. Определяются (прогнозируются) возраст $T_k = f(P_k, H_k, F_k, D_k^{kp})$ каждого k -го дерева на основе данных лазерного локационного измерения древостоя, а также основные его геометрические характеристики с помощью известных эмпирических зависимостей (например, диаметр ствола $D_k^{ct} = f(P_k, H_k)$, его сбежистость $C_k = f(P_k, H_k)$ и др.) [3 и др.].

3.1.3. Проверяются полученные характеристики деревьев древостоя на вероятность аналитических ошибок идентификации параметров по условиям ограничений, заданных дифференциальным законом их распределения [3, 9]:

$$\varphi(Z_j) = \sum_{i=1}^n \left\{ \alpha_i \left(\frac{1}{2\pi\delta_{5i}^2\delta_{9i}^2} \right) \left(\exp \left(- \left[\frac{(R_5 - r_5)^2}{2\delta_{5i}^2} + \frac{(R_9 - r_9)^2}{2\delta_{9i}^2} \right] \right) \right) \right\} \forall, \quad (2)$$

где n – количество мод закона распределения;

α_i – коэффициенты, определяющие долю i -й моды в композиционном законе;

$\delta_{ij}^2, \bar{z}_{ij}$ – параметры закона распределения для j -й переменной i -й группы;

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

k – число переменных;

a_j, b_j – коэффициенты факторных вкладов [4].

3.2. Задаются и маркируются (электронно-виртуально) деревья с учетом их функционального назначения (например, подлежащие рубке $S^{py\bar{6}}_j$), в том числе и для использования в навигационных целях (в качестве реперов) S^{pen}_l , где $l \leq k$;

3.3. Накладывается сеть по кварталам и по выделам.

3.4. Проводится подготовка документов для выполнения работ по отводу лесосечного фонда на местности.

4. Осуществляются количественная оценка параметров отведенного лесосечного фонда, предварительная оценка экономического эффекта разработки данной лесосеки и определение лицом, принимающим решение, технологического воздействия на лесную среду [3, 5]:

доля выборки деревьев и сохранения подроста, оставления семенных куртин и др.;

перечень деревьев, подлежащих рубке $S^{py\bar{6}}_j$, где $j \leq k$;

выход z -го потенциального сортимента $S^{py\bar{6}}_{jz} = f(S^{py\bar{6}}_j, H_k, D^{ct}_k, C_k)$ (оценка производится с помощью программного комплекса [5]).

5. Производятся планирование работ, выбор наиболее эффективного пути следования лесозаготовительной машины (харвестера) $\bar{R} = f(r(t), S_k, S^{pen}_l, S^{py\bar{6}}_j, S^{py\bar{6}}_{jz}, \bar{R}, \Psi^{opt})$ и мест технологических стоянок T^{ct}_i , обеспечивающих однозначную досягаемость к группе $S^{py\bar{6}}_j$ каждой i -й стоянки.

6. Генерируются (с помощью программного комплекса) программы систем автоматического управления $P^{CAV} = f(r(t), S_k, S^{pen}_l, S^{py\bar{6}}_j, S^{py\bar{6}}_{jz}, \bar{R}, \Psi^{opt})$ соответственно для модулей лесного комбайна (харвестера) $P^{CAV}_л$ и транспортного модуля (форвардера) $P^{CAV}_м$. При решении задачи управления харвестером и форвардером выходным параметром будет являться набор векторов их движения по лесосеке V_i [5].

7. Генерируются подпрограммы клеймения P^p_m для учета произведенной продукции P^p_y и контроля ее перемещений $S^{py\bar{6}}_{jz}$ для харвестера $P^{CAV}_л$ и для транспортного модуля $P^{CAV}_м$ [5].

Применение виртуальной маркировки растущих деревьев на лесосеке позволяет автоматизировать их учет, обеспечить оперативное решение хозяйственных и технологических вопросов с формированием потенциального банка сортиментов и избежать проблем коллизии нескольких геометрических фигур (деревьев) при маркировке электронными устройствами [4].

Процедура автоматического клеймения произведенной продукции из древесины (сортиментов) реализуется следующим образом. Харвестер выдвигается на делянку, выполняет срезание деревьев, их клеймение и первичную обработку известными способами. При этом операция клеймения производимой продукции электронными идентификаторами осуществляется способом, представленном в описании изобретения [1]. После срезания дерева (или отрезания текущего готового сортимента) производится клеймение будущей продукции приспособлением, встроенным в процессорную головку, путем внедрения в волокна древесины модифицированного электронного идентификатора. После клеймения дерева (или оставшейся части) выполняется первичная обработка будущей продукции. Далее вся имеющаяся информация о производимой продукции (сортименте) связывается с уникальным кодом идентификатора и передается для учета в соответствующую корпоративную базу данных, а также в среду Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней в соответствии с нормами лесного права. Клейменная продукция в случае необходимости может быть подвергнута инспектированию техническими средствами [1]. Функционирование считывателя клейменной древесины в целях контроля ее передвижений осуществляется стандартными способами, а идентификация группы уникальных кодов электронных идентификаторов (клейм) – с помощью встроенных в считыватель известных программно-аппаратных средств, использующих процедуру антиколлизии принимаемых сигналов [2, 4, 7]. В отличие от аналогов предлагаемый метод позволяет выполнять операцию клеймения произведенной продукции при обработке деревьев автоматически за один технологический проход и тем самым повышать эффективность учета произведенной древесины и контроля ее перемещений.

Таким образом, разработанная технология автоматизированного учета древесных ресурсов и произведенной продукции способна обеспечить полный и эффективный контроль процессов на лесопромышленном предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. РФ № 153577. Агрегат для лесопользования / Казаков Н.В., Кривошева Р.Н. Опубл. 27.07.2015, Бюл. № 21.
2. Пат. РФ № 2589325. Способ мониторинга перемещения и автоматического контроля легальности заготовки круглых лесоматериалов в цепи поставок / Симоненков М.В., Салминен Э.О., Бачериков И.В. Опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

3. *Рябухин П.Б., Ковалев А.П., Казаков Н.В., Луценко Е.В.* Лесозаготовки на Дальнем Востоке – состояние и перспективы: моногр. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2010. 283 с.
4. *Санников С.П., Герц Э.Ф., Дьячкова А.А.* Методология дистанционного мониторинга древостоев и транспортных потоков древесины // *Лесн. журн.* 2016. № 3(351). С. 109–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617425. Программный комплекс для информационно-управляющей системы лесозаготовительного предприятия / Казаков Н.В., Кривошеева Р.Н. М.: Роспатент, 2016.
6. *Avery T.E., Burkhart H.E.* Forest Measurements. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 2002. 456 p.
7. *Ko C., Sohn G., Rimmel T.K.* Tree Genera Classification with Geometric Features from High-Density Airborne LiDAR // *Canadian Journal of Remote Sensing.* 2013. No. 39. Pp. S73–S85.
8. *Maguire D.J., Goodchild M.F., Batty M.* / eds. GIS, Spatial Analysis, and Modeling. Redlands, California, USA: Esri Press, 2005. 480 p.
9. *Saraikin V.G., Kazakov N.V., Hongzhen Zhan.* Mathematical Models of Principal Felling Characteristics on Cutting Areas in the Far East // *Journal of Northeast Forestry University.* 1989. Vol. 7, no. 5. Pp. 95–100.

Поступила 21.04.17

UDC 634.032

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

The Accounting Methods of Stands in the Harvest Sites and Actual Production Monitoring

N.V. Kazakov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

P.B. Ryabukhin, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Pacific National University, ul. Tikhookeanskaya, 136, Khabarovsk, 680035, Russian Federation; e-mail: kazakov.nikolay@mail.ru, PRyabukhin@mail.khstu.ru

The paper presents the possibility of mechanical accounting of timber resources and produced wood by available technical means. We substantiated the analysis of the relationship between the content of the information system of the wood enterprise by relevant data on timber resources and the efficiency of its practical activity, justified the choice of methods of remote sensing of the Earth to provide the desired accuracy of the actual data on forest resources. An algorithm approach of managing the accounting of timber resources and produced wood in the address database and environment of the Unified State Automated Information System of wood accounting and transactions with it in accordance with the forest law is proposed. The development of automated management systems for the accounting of wood resources to be cut and the information flows of production and sales of wood of the

For citation: Kazakov N.V., Ryabukhin P.B. The Accounting Methods of Stands in the Harvest Sites and Actual Production Monitoring. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 103–109. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

enterprise is based on the created digital spatial models of real forest areas subject to felling. The method of automated virtual marking of growing trees is fundamentally different from the known methods. Marking is carried out in the process of preparation of the cutting area for felling by remote methods. The fixup of the obtained data about each specific tree and its exact geographical location in the corporate information system is also an innovative method. The technology of automated management of accounting processes, the virtual tree marking method in the cutting area, the method of automatic boring of actual production in the harvest site are developed. The proposed method and a set of soft hardware of information linking of obtained data with the databases of the enterprise and transactions with it provide a complete record-keeping of exploited forest resources and control of timber movements with the use of technical means.

Keywords: inventory of stand, virtual tree marking, blazing, algorithm, Earth's remote sensing, computerization, automation, management.

REFERENCES

1. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. *Agregat dlya lesopol'zovaniya* [The Forest Management Unit]. Patent RF, no. 153577, 2015.
2. Simonenkov M.V., Salminen E.O., Bacherikov I.V. *Sposob monitoringa peremeshcheniya i avtomaticheskogo kontrolya legal'nosti zagotovki kruglykh lesomaterialov v tsepi postavok* [A Method for Transferring and Automatic Control Monitoring of the Legality of Round Timber Harvesting in the Chain of Custody]. Patent RF, no. 2589325, 2016.
3. Ryabukhin P.B., Kovalev A.P., Kazakov N.V., Lutsenko E.V. *Lesozagotovki na Dal'nem Vostoke – sostoyanie i perspektivy: monogr.* [Logging in the Far East – the Current State and Trends]. Khabarovsk, Dal'NIILKh Publ., 2010. 283 p. (In Russ.)
4. Sannikov S.P., Gerts E.F., D'yachkova A.A. *Metodologiya distantsionnogo monitoringa drevostoev i transportnykh potokov drevesiny* [Methodology of Remote Monitoring of Forest Stands and Transport Wood Flows]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 3(351), pp. 109–116.
5. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. *Programmnyy kompleks dlya informatsionno-upravlyayushchey sistemy lesozagotovitel'nogo predpriyatiya* [A Software Package for the Information Management System of the Logging Enterprise]. Certificate of Registration of a Computer Program, no. 2016617425, 2016.
6. Avery T.E., Burkhart H.E. *Forest Measurements*. New York, USA, McGraw-Hill Book Company, 2002. 456 p.
7. Ko C., Sohn G., Rimmel T.K. Tree Genera Classification with Geometric Features from High-Density Airborne LiDAR. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2013, no. 39, pp. S73–S85.
8. Maguire D.J., Goodchild M.F., Batty M., eds. *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Redlands, California, USA, Esri Press, 2005. 480 p.
9. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Hongzhen Zhan. Mathematical Models of Principal Felling Characteristics on Cutting Areas in the Far East. *Journal of Northeast Forestry University*, 1989, vol. 7, no. 5, pp. 95–100.

Received on April 21, 2017