

Повышение эффективности автоматизированного учета древесной продукции лесозаготовительного предприятия

Н.В. Казаков^{1а}, П.Б. Рябухин^{2б}, И.В. Григорьев^{3с}

¹ Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства. ул. Волочаевская, 71, Хабаровск, Россия

² Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

³ Арктический государственный агротехнологический университет, ш. Сергеляхское, 3 км, 3, Якутск, Россия

^а kazakov.nikolay@mail.ru, ^б 000340@pnu.edu.ru, ^с silver73@inbox.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-5222-3845>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Статья поступила 25.11.2024, принята 13.01.2025

В статье рассмотрен метод проведения автоматизированного учета произведенной лесозаготовительными предприятиями (ЛЗП) продукции из древесины с использованием современных и недорогих технических систем. Выполнено изыскание степени корреляции процессов формирования информационной системы лесопромышленного предприятия в части таксационных характеристик лесного фонда с качественными показателями его производственной деятельности. На основе анализа существующих методов дистанционного зондирования Земли сделан выбор тех методов, которые позволяют получить необходимую достоверность предоставляемой информации о лесосырьевых запасах. Представлен метод регулирования процедуры контроля лесосырьевых запасов и заготовленной древесной продукции в лесном фонде в индивидуальной информационной системе предприятия и в базе Единой государственной автоматизированной информационной системы, обеспечивающей учет древесины и сделок с ней в соответствии с нормами лесного законодательства (ЕГАИС УДС) на базе установленного порядка действий. Созданы векторные модели данных, которые служат платформой для создания интеллектуального комплекса управления процессами контроля отпущенных к рубке лесосырьевых запасов и реализации древесной продукции ЛЗП, заготовленной на конкретных лесосеках арендуемого лесного фонда. Из всех существующих методов учета и контроля древесных запасов наиболее простым и доступным можно считать метод цифрового условного клеймения (чипирования) растущих деревьев в лесном фонде с адресной фиксацией имеющейся таксационной информации о каждом конкретном дереве и его точного географического местоположения в базе данных ЛЗП. При этом чипирование выполняется в рамках проведения подготовительных работ на отведенной для рубки лесосеке удаленным способом. Предложена методика проведения цифрового условного клеймения растущих деревьев в лесном фонде и продукции, произведенной из них на лесосеке. Представленный способ автоматизированного управления процессами учета запасов древесины и продукции, произведенной из нее, в сочетании с информационно-вычислительными комплексами для проведения информационного объединения сформированной базы дает возможность проведения комплексного контроля и учета отводимых для рубки древесных запасов и их транспортировки с использованием современного и эффективного цифрового инструментария.

Ключевые слова: контроль, учет, лесосырьевые запасы, цифровое, условное клеймение деревьев, дистанционное зондирование, интеллектуальный комплекс.

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 № 23-16-00092/, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>

Improving the efficiency of automated accounting of wood products of a logging enterprise

¹N.V. Kazakov^a, ²P.B. Ryabukhin^b, ³I.V. Grigoriev^c

¹ Far East Forestry Research Institute; 71, Volochaevskaya St., Khabarovsk, Russia

² Pacific State University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

³ Arctic State Agrotechnological University; 3 km, 3, Sergelyakhskoye Shosse, Yakutsk, Russia

^a kazakov.nikolay@mail.ru, ^b 000340@pnu.edu.ru, ^c silver73@inbox.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-5222-3845>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>,

^c <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>,

Received 25.11.2024, accepted 13.01.2025

The article considers a method for conducting automated accounting of timber products produced by logging enterprises using modern and inexpensive technical systems. The degree of correlation of the processes of formation of the information system of a timber industry enterprise in terms of the taxation characteristics of the forest fund with the qualitative indicators of its production activity has

been investigated. Based on the analysis of existing methods of remote sensing of the Earth, a choice has been made of those methods that allow obtaining the necessary reliability of the information provided on forest resources. The method of regulating the procedure for controlling timber stocks and harvested wood products in the forest fund is presented in the individual information system of the enterprise and in the database of the Unified State Automated Information System (Unified State Automated Information System that provides accounting for wood and transactions with it in accordance with the norms of forest legislation) on the basis of the established procedure. Vector data models have been created, which serve as a platform for creating an intelligent complex for managing the processes of controlling logging stocks and the sale of wood products harvested by logging enterprises in specific logging areas of the leased forest fund. Of all the existing methods of accounting and control of wood stocks, the simplest and most accessible method can be considered the digital conditional branding (chipping) of growing trees in the forest fund and the address fixation of tax information about each specific tree and its exact geographical location in the logging enterprises database. In this case, chipping is performed as part of the preparatory work on the logging area allocated for logging in a remote way. A method of conducting digital conditional branding of growing trees in the forest fund and products produced from them in the cutting area is proposed. The presented method of automated control of the processes of accounting for wood stocks and products made from it in combination with information and computing complexes for information unification of the formed database makes it possible to carry out comprehensive control and accounting of wood stocks diverted to logging and their transportation using modern and effective digital tools.

Keywords: control, accounting, forest resources, digital, conditional tree branding, remote sensing, intelligent complex.

The work was carried out within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry» of the Arctic State Agrotechnological University. The research was carried out under the grant of the Russian Science Foundation № 23-16-00092/, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>

Введение. Одной из основных современных задач, стоящих перед наукой, является не только актуализация и совершенствование используемых методов функционирования производственных предприятий, но и создание новых, способствующих росту их рентабельности.

В работах участников научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета отмечается, что применительно к лесопромышленному производству основная проблема на современном этапе – это не только повышение эффективности работы лесопромышленных предприятий, но и отсутствие сбалансированного контроля и учета произведенной продукции из отпущенного на рубку запаса древесных ресурсов [1].

Из всего арсенала потенциальных возможностей для повышения эффективности деятельности предприятий лесопромышленного производства наиболее актуальны и перспективны цифровизация и роботизация не только технологических операций на различных фазах (лесосечные работы, транспорт леса, переработка древесины), но и в целом всего производственного процесса с обязательным совершенствованием методов управления по всему комплексу технологических процессов. В связи с этим необходимо переходить к созданию комплексной структуры по информатизации и управлению лесопромышленных предприятий, начиная от операций по заготовке продукции с использованием современных многооперационных лесозаготовительных машин (ЛЗМ), включая одномашинные лесозаготовительные комплексы (универсальные лесные машины), и заканчивая учетом ее объемов и направлений поставок [2].

Подобные информационно-управляющие системы (ИУС), контролирующие работу узлов и агрегатов современных ЛЗМ, уже используются компаниями-производителями таких машин (Ponsse, Komatsu и др.) [3]. При этом существующая ИУС изначально объединяет только технологические операции машины и сбор информации по объему производства первичной продукции из древесины (сортиментов) и предназначена

для решения узкопрофильных вопросов, тесно не связанных друг с другом.

Для создания единой автоматизированной ИУС необходимо осуществить полную цифровизацию всех технологических процессов, которая должна базироваться на обобщении информации о всех древесных запасах (отведенных для рубки) и проектировании лесозаготовительных работ [4]. Данный процесс должен происходить с использованием современных методов, оборудования и программного обеспечения для контроля, учета и передачи полной информации для всех потребителей произведенной древесной продукции.

В рамках решения поставленной задачи и моделирования процесса изменения предмета труда (растущее дерево – хлыст – сортимент) необходимо учитывать все технологические и организационные природно-производственные условия, которые должны исполняться при производстве древесной продукции в виде круглых лесоматериалов. При выполнении лесосечных работ к этим условиям можно отнести следующую последовательность действий:

- всесторонний учет обрабатываемых, смешанных, и переместительных операций и их конкретизация в заданных параметрах;
- проведение численного анализа результата работы по всем операциям технологического процесса;
- выполнение операций по учету отдельных деревьев, поступивших в обработку;
- выполнение работ по электронной маркировке обрабатываемых деревьев (в зависимости от их назначения и размерно-качественных характеристик);
- создание базы данных произведенной продукции;
- создание и использование программ системы автоматического управления (САУ) на базе данных моделирования и планирования выполнения операций технологическим оборудованием лесозаготовительной машины для обеспечения автоматического управления данной машиной;
- высокоточное исполнение заданной последовательности проведения технологических операций ЛЗМ без непосредственного вмешательства человека;

– осуществление процесса чипирования и учета произведенной продукции в автоматическом режиме.

Выполнение указанных условий применительно к процессам моделирования и планирования осуществления операций с помощью технологического оборудования лесозаготовительной машины с целью автоматизации управления ею можно реализовать в виде разработки комплексной цифровой системы, объединяющей средства программного обеспечения ЛЗМ с технологиями и средствами по управлению оптимального выбора географических и лесорастительных параметров отведенных для рубки лесосек.

Среди возможных к использованию способов решения поставленной задачи наиболее простым и эффективным может быть способ, базирующийся на использовании компьютерной симуляции и позволяющий реализовать изучение взаимосвязи многоаспектных лесорастительных и технических факторов ЛЗМ с технологическими процессами лесозаготовки [5–8].

Для этого необходимо разработать комплексную ИУС, которая была бы способна координировать информацию по лесорастительным условиям реального лесного участка, получаемую от специализированного блока, установленного на ЛЗМ, с виртуальным аналогом данного участка и математическими моделями технологических операций, выполняемыми самой лесозаготовительной машиной с реализацией функции контроля и учета объема и качества произведенной продукции.

На рис. 1 представлена схема работы ИУС лесопромышленного предприятия

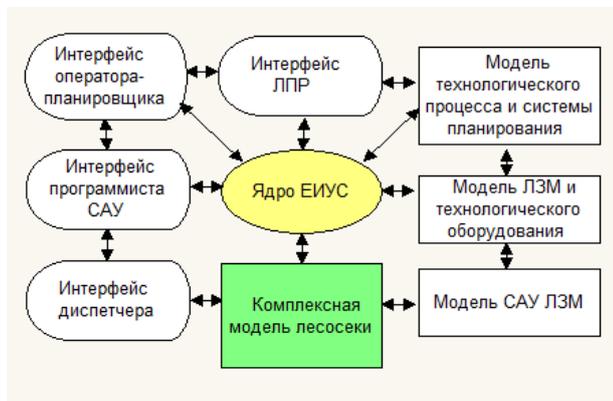


Рис. 1. Схема функционирования ИУС лесопромышленного предприятия: ЛПР – лицо, принимающее решение; САУ – система автоматического управления; ЛЗМ – лесозаготовительные машины; ЕИУС – структура единой информационно-управляющей системы

Современные средства беспилотных транспортных систем позволяют оперативно реализовать процесс автоматизированного управления лесозаготовительной машиной в условиях реального лесного участка. При этом актуальным остается вопрос о создании и эффективном использовании корпоративными силами лесопромышленных предприятий (ЛПП) информационной системы, которая позволила бы в комплексе ИСУ автоматического управления ЛЗМ обеспечивать предприятие оперативной и точной информацией о геогра-

фическом месте заготовки древесной продукции, ее качестве, объеме и целевом назначении.

В связи со значительной трансформацией ассортимента выпускаемой продукции из древесины и, соответственно, критериев оценки этой продукции становится очевидным, что существующие сортиментные таблицы, используемые при оценке объемов и качества лесосырьевых запасов РФ, уже не являются актуальными для аналитической и практической деятельности ЛПП [9].

Кроме того, необходимо также пересмотреть вопрос ценообразования древесной продукции и экономической составляющей деятельности всего лесного хозяйства государства. Современный подход в отношениях государства с арендаторами, при котором попенная плата за древесину на корню и цена сортиментов различного качества и назначения на рынке древесной продукции несопоставимы, приводит к тому, что лесное хозяйство продолжает быть для государства нерентабельным. Государство, как владелец лесных ресурсов, не участвует в процессе распределения древесной продукции между лесозаготовителями и перерабатывающими производствами и, соответственно, не получает никаких дивидендов от своей деятельности в сфере лесного хозяйства.

Как показывает статистика, в 2023 г. доходы, полученные государственной казной от продажи лесосырьевых ресурсов, были практически в два раза ниже уровня расходов на обслуживание и уход за лесом. Кроме того, отсутствие государственной системы учета и контроля за оборотом древесной продукции играет на руку деятельности «черных лесорубов» и способствует росту объемов нелегальной заготовки древесины [10].

Сложившаяся ситуация требует создания современных способов контроля и учета продукции из древесины и оборудования для их реализации, основанных на математическом моделировании процесса дифференциации потоков древесины с ориентацией на имеющих потребителей на данной территории и в зависимости от их специализации на определенной производимой продукции [11]. Существующие законодательные акты в области лесного права Российской Федерации устанавливают и контролируют научно-прикладные разработки и их применение в рамках создания новых способов контроля и учета лесосырьевых запасов, их маркировки, а также удаленного виртуального учета направления движения продукции, произведенной из отпущенной для рубки древесины [12].

Одним из направлений в развитии современных технологий учета и контроля за лесосырьевыми ресурсами промышленного назначения является повышение уровня точности собранных данных, что представляет собой определяющий фактор при решении задачи контроля мест заготовки древесины и направлений движения чипированной продукции [13, 14]. При этом во главу угла ставится задача по формированию актуальных баз данных лесосырьевых запасов и снижению времени на их обработку. Современный инструментальный, который используется для практического применения силами лесопромышленных предприятий, представляет собой достаточно широкий набор методов, но наиболее выигрышными являются автоматизированные геоинформационные системы (ГИС). Их использо-

вание дает возможность реализовать высокую степень оперативности в координации получаемой информации и сформировать киберпространство лесопромышленного предприятия для оперативной передачи данных в рамках его структурных информационных отделов и производственных участков. Решение вопроса контроля и учета лесосырьевых запасов способами удаленного сбора информации и формирования баз данных ЛППП находится в постоянном развитии.

Материалы и методы исследования. С целью получения информации о структуре и состоянии лесных насаждений все более широко используется технология лидарирования (лазерное сканирование) [15, 16], позволяющая удаленно производить измерение линейных размеров всех объектов наземной инфраструктуры (в том числе и отдельных деревьев лесного фонда) с точностью в пределах 6 см в плане и 10 см по высоте с привлечением оборудования высокой точности, установленного на группировке специализированных спутников (лазерная и цифровая видеосъемка) [16].

Для создания и эффективного использования аналогичной информационной системы корпоративными силами ЛППП необходимо разработать математические модели всех входящих и выходящих элементов формируемой базы данных и взаимодействий между ними.

Результаты исследования. К наиболее эффективному способу решения задачи построения математической модели учета лесосырьевых запасов можно отнести способ, базирующийся на сочетании математических моделей, имитирующих технологические операции, выполняемые лесозаготовительным и лесотранспортным оборудованием, с объемными математическими моделями насаждения и рельефа лесного фонда с описанием процесса функционирования системы во времени. Данный способ называется алгоритмическим (компонентным, параметрическим) моделированием [5, 16]. Компонентная структура математической модели дает возможность в полной мере учесть основные параметры и координацию основных технологических операций в процессах лесозаготовки при проведении контроля лесосырьевых запасов и движения древесной продукции.

Разделение процедуры обработки информации базы данных учета лесосырьевых запасов происходит в строгом согласовании с логическими требованиями, выраженными в виде математических моделей, что дает возможность повысить скорость получения и передачи информации в базе ЕГАИС УДС. Алгоритм действий при использовании лесопромышленными предприятиями предлагаемого способа контроля и учета отводимых для рубки древесных запасов включает в себя последующие операции:

А. Накопление, сортировка и подготовка всей необходимой информации по лесорастительным условиям лесного фонда для внесения в базу данных:

– сбор информации по таксационным характеристикам древостоев и рельефу в местах проведения промышленных рубок на основе картографической и лесоустроительной документации (лесоустроительных, географических карт, таксационных описаний, сортиментных таблиц и т. д.);

– на базе анализа спектральных спутниковых снимков и данных, полученных по результатам дистанционного зондирования лесного участка, отведенного для рубки, выполняется его сканирование;

– проверка на актуальность и соответствие информации, полученной из лесоустроительных документов и полученной дистанционным способом.

Б. Реализуется разработка объемных математических моделей насаждения и рельефа местности лесного фонда на базе геопространственных информационных систем (ГИС).

При решении вопросов, связанных с построением сложных поверхностей и исследованием различных физических явлений с помощью математических моделей для описания кривых и поверхностей, широкое применение в качестве математического аппарата находят интерполяционные сплайн-функции высокой степени гладкости. Среди них наиболее привлекательны интерполяционные глобальные кубические сплайны Шенберга [17] с максимальной для кубических сплайнов гладкостью второго порядка. Для их формирования можно использовать интерполяционные условия во всех узлах исходной сетки одновременно. Это позволяет решать системы уравнений со значительным количеством параметров, при этом сама задача их создания решается в рамках установленных граничных показателей этих параметров. В связи с этим могут быть использованы локальные сплайны, у которых при создании отдельного элемента применяется только небольшое количество промежуточных точек.

Для построения трехмерного изображения рельефа местности лесного фонда используется метод локальной интерполяции кривыми неравномерного рационального базисного сплайна. Данный метод представляет собой математическую модель, использующую базисные сплайны (B-сплайны), которая обычно применяется в компьютерной графике для представления кривых и поверхностей. Он обеспечивает большую гибкость и точность при обработке как аналитических (определяемых общепринятыми математическими формулами), так и моделируемых форм. При решении задач компьютерной графики с входными параметрами из внешней информационной базы часто используется рациональная параметрическая кривая на принципах B-сплайн-интерполяции (B-spline), которая отличается от обычной сплайн-интерполяции тем, что развертка простых B-сплайнов производится в точках, координаты которых устанавливаются заранее самим заказчиком (лесопользователем) [17, 18].

Зафиксируем ее $K_{i,p}(m)$ степени k (порядок $k+1$). Она построена по вершинам k_i ($i = 1, 2, \dots, n; n > m$) с весами r_i и может быть описана в каждой своей точке с помощью стандартно применяемого радиус-вектора $t(m)$ [20, 23]:

$$t(m) = \frac{\sum_{i=1}^n K_{i,k}(m) \times r_i \times k_i}{\sum_{i=1}^n K_{i,k}(m) \times r_i},^{(1)}$$

где $u_{\min} < u < u_{\max}$

В. На базе разработанных математических моделей рельефа местности и лесосырьевых запасов лесного фонда формируются следующие предметные участки лесного фонда: территории, на которых рубка леса не производится по различным объективным причинам (горельники, сухостой и прочее); покрытые лесом территории, отведенные для рубки, разбиваются на участки согласно плану лесонасаждений. При этом в них вычлняются территории с усыхающими, зараженными фитовредителями насаждениями и другие аномальные зоны, сведения о которых крайне необходимы при проведении работ по планированию разработки участков лесного фонда [15, 16].

В.1. Проводится объемно-математическое моделирование насаждения и точечное геокодирование каждого p -го дерева (фиксируется информация о его породе P_p , высоте H_p , форме F_p и диаметре кроны D^{kp}_p (из п. А)):

В.1.1. Рассчитываются точки нахождения центров стволов $R_p = f(x, y, z)$.

В.1.2. Устанавливается возраст $M_k = f(P_p, H_p, F_p, D^{kp}_p)$ каждого p -го дерева из отчетов собранных потоковых данных лазерной локации древостоя лесного фонда. Кроме того, с помощью имеющихся для различных лесных зон РФ эмпирических зависимостей определяются геометрические характеристики древостоя (диаметр ствола $D^{cm}_p = f(P_p, H_p)$ и др.) [19, 20].

В.1.3. Выполняется проверка сформированной информации по таксационным характеристикам всех деревьев в насаждении на случай появления возможных неточностей при их сверке по условиям ограничений, заданных дифференциальным законом их распределения [6, 7]:

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

где n – количество мод закона распределения; α_i – коэффициенты, определяющие долю i -ой моды в композиционном законе; $\delta_{5i}^2, \delta_{9i}^2$ – параметры закона распределения для j -й переменной i -1 группы;

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

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

где k – число переменных; a_j, b_j – коэффициенты факторных вкладов [22].

Как показал анализ графических интерпретаций (см. рис. 2), двумерную плотность распределения определяющих переменных R_j можно с достаточной точностью аппроксимировать полимодальным нормальным законом распределения.

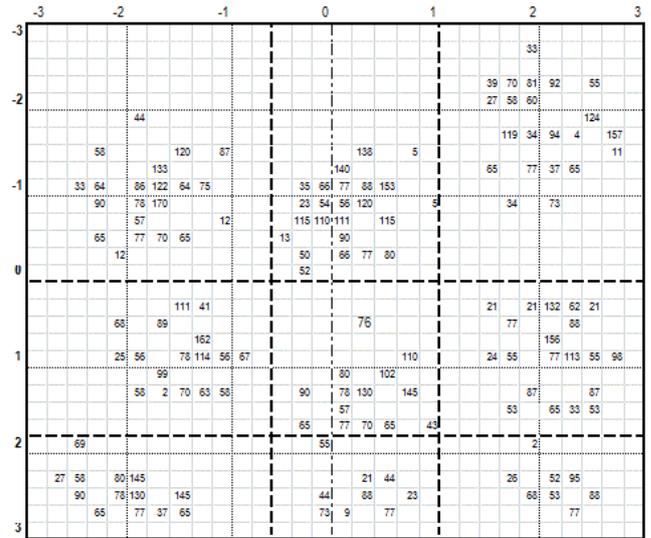


Рис. 2. Двумерные частотности появления точек на разделяющей плоскости R_5, R_9

Наряду с этим известна доля каждого элемента выборки условной группы в факторном изображении, $i = 1, 2, \dots, 9$.

По этим директивам оценим координаты ядер групп Z_{ij} разделяющей плоскости R_5, R_9 , где j – номер лесоэксплуатационного показателя, i – номер группы (рис. 3) [20].

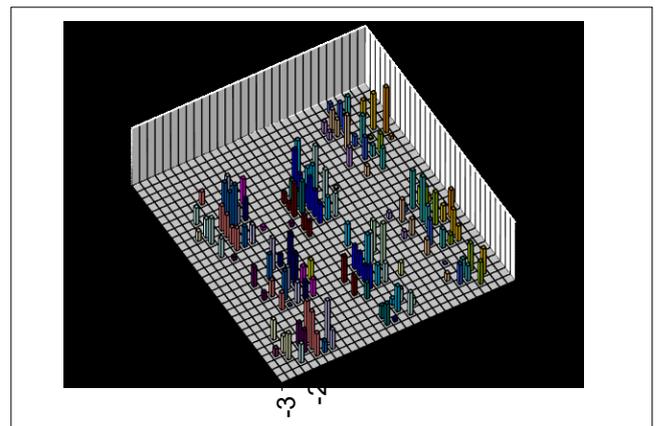


Рис. 3. Оценки весов частот появления точек на разделяющей плоскости R_5, R_9

Предположения и допущения, принятые в ходе реализации алгоритма:

- закон распределения признаков – многомерный, нормальный, полимодальный;
- выборка точек Z_{jl} является представительной, где, $l = 1, 2, \dots, n$ – число реализаций, ($n = 10571$ описание совокупностей эксплуатационных характеристик лесных участков).

Статистический анализ разделяющей плоскости R_5, R_9 выявил 148 ярко выраженных всплесков частот появления точек (рис. 4).

В.2. Устанавливаются деревья, отведенные для рубки (T^{py6}_j), которые виртуально маркируют и используют в виде навигационных ориентиров (маяков) T^{pp}_l , где $l \leq p$.

В.3. На карте лесного участка поквартально (в том числе и по таксационным выделам) накладывается сеть.

В.4. Осуществляются подготовительные работы в виде оформления необходимой документации перед началом исполнения работ по отводу лесного участка для рубки.

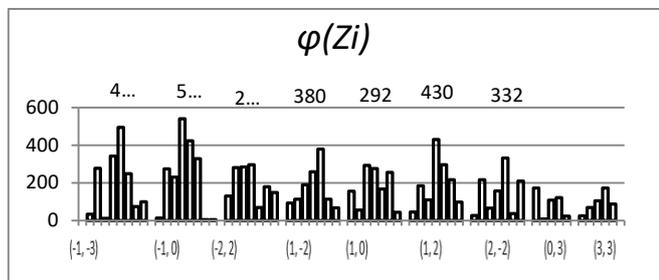


Рис. 4. Спектры частот совокупных признаков лесосек Дальнего Востока

Г. Производится статистический анализ таксационных показателей насаждения на участке лесного фонда (делянка, лесосека), отпущенного для рубки, рассчитываются черновые финансовые показатели деятельности ЛПП по реализации выбранной технологии для разработки конкретного лесного участка [23, 24]:

- на основании технологической документации на право разработки лесного участка выбирается система рубок (сплошные или выборочные), устанавливается интенсивность рубки деревьев и численные значения показателей по проведению мероприятий по сохранению лесной среды и содействию естественному лесовосстановлению (степень сохранения подроста, ключевых биотопов, количество оставляемых семенных групп, куртин, полос, процент площади, занятой погрузочными пунктами и трелевочными волоками, и др.);

- формируется реестр деревьев, отведенных для рубки T^{yb}_j , где $j \leq p$;

- с помощью компьютерной программы [23] определяется возможный выход из стволов деревьев, отпущенных для рубки, n -го сорта $T^{yb}_{jz} = f(T^{yb}_j, H_p, D^m_p, C_p)$.

Д. Осуществляется выбор схемы разработки лесосеки многомашиным или одномашиным лесозаготовительным комплексом, например, харвестер+форвардер и валочно-трелевочно-процессорная машина (ВТПМ), траектории ее движения при разработке участка $\bar{R} = f(r(t), T_k, T^{pen}_i, T^{yb}_j, T^{yb}_{jn}, \bar{R}, \Psi^{om})$, а также ориентировочно устанавливаются места технологических стоянок P^{cm}_i , с которых технологическое оборудование машины гарантированно достигнет группы деревьев T^{yb}_j на каждой i -й стоянке.

Е. С применением компьютерной программы [23] формируются программы автоматизированных систем управления $P^{ACV} = f(r(t), T_k, T^{pen}_i, T^{yb}_j, T^{yb}_{jn}, \bar{R}, \Psi^{om})$, отдельно для харвестера P^{ACV}_x и трелевочного трактора форвардера, P^{ACV}_ϕ (или в целом для ВТПМ). Выбранные траектории движения по лесному участку обеих

технологических машин в процессе его разработки (п. Д) в виде комплекса векторов V_i будут являться выходными параметрами для решения вопроса координации их движения [23].

Ж. Формируются подпрограммы чипирования деревьев $K^{p}_{дер}$ для контроля заготовленных сортиментов (продукции) $K^{p}_{сорт}$ и их передвижения T^{yb}_{jz} как для харвестера P^{ACV}_x , так и для трелевочного трактора P^{ACV}_ϕ (или в целом для ВТПМ) [23, 24].

Выводы. Использование удаленной виртуальной маркировки и учета всех элементов лесных насаждений дает возможность не только компьютеризировать процесс контроля за лесосырьевыми ресурсами, но и наладить ускоренное решение задачи по созданию базы данных лесопромышленных предприятий по произведенной продукции в виде лесоматериалов. Кроме того, данный способ обеспечивает значительное снижение рисков возникновения конфликтных ситуаций при проведении маркировочных операций с использованием электронного оборудования.

Операция по автоматизированной маркировке заготовленных сортиментов (продукции ЛПП) уникальными кодами (метками) с помощью харвестера или ВТПМ встроена в процесс выполнения основных операций харвестера или ВТПМ (срезание деревьев, доставка в зону обзора оператора, обрезка сучьев, раскряжевка) и реализуется способом, описанным в работе [25]. Суть предложенного способа заключается в том, что чипирование каждого ствола отведенного для рубки дерева (или сортиментов, полученных из него) осуществляется с помощью специального устройства в конструкции харвестерной головки, которое имплантирует в торец сортимента специальный чип. По завершению процесса обработки дерева сформированная информация по всем полученным из ствола сортиментам коммуницируется с соответствующими метками и отправляется в базу данных ЛПП и в Единую государственную автоматизированную информационную систему учета древесины и сделок с ней (ЕГАИС Лес) в соответствии с требованиями норм законодательства в области лесного права для осуществления контроля и учета произведенной продукции.

Распознавание уникальных кодов сформированной партии меток (чипов) производится с использованием существующего программного обеспечения, разработанного с учетом устранения противоречий входящей информации и встроеного в устройство сбора, а также обработки информации (считывателя) [25].

Описанный способ формирования баз данных ЛПП дает возможность повышения качества и оперативности работ по контролю и учету лесосырьевых ресурсов и движения произведенной продукции из древесины, поскольку операция ее чипирования осуществляется автоматически в процессе обработки ствола обрабатываемого дерева.

Использование предлагаемого способа автоматизированного учета лесосырьевых запасов и полученной из них продукции позволит сформировать полноценную базу данных лесопромышленного предприятия и осуществлять оперативный контроль и учет движения произведенной продукции.

Литература

1. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Швецова В.В., Рудов М.Е., Григорьев В.И. Развитие цифрового учета круглых лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 2 (54). С. 55-63.
2. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Элементы повышения точности учета сортиментов // Повышение эффективности лесного комплекса. Мат-лы Восьмой Всеросс. национал. науч.-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводск. гос. ун-та, 2022. С. 19-21.
3. Богданов А.С., Григорьева О.И. Особенности инструктажей, стажировки, обучения и проверки знания требований охраны труда машинистов лесных машин // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки. Мат-лы Всеросс. науч.-практич. конф. Казань: Изд-во Казан. национал. исслед. технологич. ун-та, 2023. С. 34-38.
4. Богачев П.В., Григорьева О.И., Шинкевич С.В., Лебедева Я.В. Применение различных методов таксации при отводе лесосек под рубки ухода за лесом в соответствии с нормативами интенсивного использования и воспроизводства лесов // Тр. Санкт-Петербург. науч.-исслед. ин-та лесного хозяйства. 2023. № 2. С. 68-79.
5. Архитектура виртуальных миров / Под науч. ред. М.Б. Игнатиева, А.В. Васильева, А.Е. Войскунского. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. гос. ун-та аэрокосмич. Приборостроения, 2009. 287 с.
6. Казаков Н.В., Садетдинов М.А., Кривошеева Р.Н. Метод управления лесными агрегатами и аспекты точности их позиционирования // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. [Электронный ресурс]. <http://www.science-education.ru/120-16835> (дата обращения 14.11.2022).
7. Krassi V.A., Tuominen J.O. Virtual prototyping for integration of the control system design chain // Proc. LASTED Internat. Conf. «Modelling and Simulation». Palm Springs, USA, February 24-26, 2003. Palm Springs, USA: ACTA Press, 2003. P. 99-105.
8. Westerberg S., Shiriaev A. Virtual environment-based teleoperation of forestry machines: Designing future interaction methods // Journ. of Human-Robot Interaction. 2013. Vol. 2, № 3. P. 84-110.
9. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. О необходимости повышения точности учета круглых лесоматериалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Мат-лы Восьмой Всеросс. национал. науч.-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводск. гос. ун-та, 2022. С. 18-19.
10. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Пути совершенствования нормативной базы группового учета круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: мат-лы Всеросс. науч.-практич. конф. (24-28 апреля 2023 г.). Казань: Изд-во Казан. нац. исслед. технол. ун-та, 2023. С. 11-15.
11. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Сравнительный анализ инновационных технологий в области учета круглых лесоматериалов // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Мат-лы Всеросс. науч.-практич. конференции. Красноярск: Изд-во Сиб. гос. ун-та науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, 2022. С. 74-77.
12. Knyaz V.A., Maksimov A.A. Photogrammetric technique for timber stack volume control // Internat. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Zurich, Switzerland. 2014. Vol. 40. P. 157-162.
13. Рекомендации по сортиментации и учету древесины (версия от 2015-05-05) // Лесэксперт. Рекомендации по сортиментации и учету древесины (версия от 2015-05-05) в соответствии федеральным законом от 28.12.2013 № 415-ФЗ по учету древесины и сделок с ней. [Электронный ресурс]. <http://lesexpert.info/415/14.pdf>. (дата обращения 12.10.2024).
14. GIS, Spatial Analysis, and Modeling / Eds. D.J. Maguire, M.F. Goodchild, M. Batty. Redlands, California, USA: Esri Press, 2005. 480 p.
15. Avery T.E., Burkhart H.E. Forest Measurements. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 2002. 456 p.
16. Ko C., Sohn G., Rimmel T.K. Tree Genera Classification with Geometric Features from High-Density Airborne LiDAR // Canadian Journ. of Remote Sensing. 2013. № 39. P. S73-S85.
17. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. М.: Мир, 1972. 319 с.
18. Роджерс Д. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. 604 с.
19. Казаков Н.В., Рябухин П.Б., Садетдинов М.А. Метод типизации лесного фонда // Вестн. Красноярск. гос. аграр. ун-та. 2013. № 10. С.157-161.
20. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Hongzhen Zhan. Mathematical Models of Principal Felling Characteristics on Cutting Areas in the Far East // Journ. of Northeast Forestry University. 1989. Vol. 7, № 5. P. 95-100.
21. Рябухин П.Б., Ковалев А.П., Казаков Н.В., Луценко Е.В. Лесозаготовки на Дальнем Востоке – состояние и перспективы: монография. Хабаровск: Изд-во Дальневосточ. науч.-исслед. ин-та лесного хоз-ва, 2010. 283 с.
22. Санников С.П., Герц Э.Ф., Дьячкова А.А. Методология дистанционного мониторинга древостоев и транспортных потоков древесины // Лесной журнал. 2016. № 3(351). С. 109-116.
23. Казаков Н.В., Кривошеева Р.Н. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617425. Программный комплекс для информационно-управляющей системы лесозаготовительного предприятия. М.: Роспатент, 2016.
24. Казаков Н.В., Рябухин П.Б., Абузов А.В. Способ учета и контроля круглых лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 4. С. 102-106.
25. Казаков Н.В., Кривошеева Р.Н. Патент РФ № 153577. Агрегат для лесопользования. Оpubл. 27.07.2015. Бюлл. № 21.

References

1. Kunitskaya O.A., Belyaev N.L., Shvetsova V.V., Rudov M.E., Grigoriev V.I. Development of digital accounting of roundwood // Systems. Methods. Technologies. 2022. № 2 (54). P. 55-63.
2. Belyaev N.L., Kunitskaya O.A. Elements of increasing the accuracy of accounting of assortments // Improving the efficiency of forest complex. Proceedings of the Eighth All-Russian national scientific-practical conference with international participation. Petrozavodsk: Publishing house of Petrozavodsk State University, 2022. P. 19-21.
3. Bogdanov A.S., Grigorieva O.I. Features of briefings, internship, training and verification of knowledge of labor protection requirements of forest machine operators // Actual problems of forestry and wood processing. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference. Kazan: Publishing House Kazan National Research Technological University, 2023. С. 34-38.
4. Bogachev P.V., Grigorieva O.I., Shinkevich S.V., Lebedeva Ya.V. Application of different methods of taxation in the allotment of harvesting areas for forest maintenance harvesting in accordance with the norms of intensive use and reproduction of forests // Proceedings of the St. Petersburg scientific-research institute of forestry. 2023. № 2. P. 68-79.
5. Architecture of virtual worlds / Under scientific ed. by M.B. Ignatiev, A.V. Vasiliev, A.E. Voiskunsky. St. Peters-

- burg: Publishing House of St. Petersburg State University of Aerospace. Instrument Engineering, 2009. 287 p.
6. Kazakov N.V., Sadetdinov M.A., Krivosheeva R.N. Control method of forest aggregates and aspects of accuracy of their positioning // Co-modern problems of science and education. 2014. № 6. [Electronic resource]. <http://www.science-education.ru/120-16835> (date of address 14.11.2022).
 7. Krassi B.A., Tuominen J.O. Virtual prototyping for integration of the control system design chain // Proc. LASTED Internat. Conf. «Modelling and Simulation». Palm Springs, USA, February 24-26, 2003. Palm Springs, USA: ACTA Press, 2003. P. 99-105.
 8. Westerberg S., Shiriaev A. Virtual environment-based teleoperation of forestry machines: Designing future interaction methods // Journ. of Human-Robot Interaction. 2013. Vol. 2, № 3. P. 84-110.
 9. Belyaev N.L., Kunitskaya O.A. On the need to improve the accuracy of accounting of roundwood // Improving the efficiency of forestry complex. Proceedings of the Eighth All-Russian national scientific-practical conference with international participation. Petrozavodsk: Publishing house, 2022. P. 18-19.
 10. Belyaev N.L., Kunitskaya O.A. Ways to improve the regulatory framework of group accounting of roundwood // Actual problems of forestry and wood processing: mat-l. of the All-Russian scientific-practical conference (April 24-28, 2023). Kazan: Publishing house of Kazan National Research Technological University, 2023. P. 11-15.
 11. Belyaev N.L., Kunitskaya O.A. Comparative analysis of innovative technologies in the field of round timber accounting // Innovations in chemical and forestry complex: trends and prospects of development. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, 2022. P. 74-77.
 12. Knyaz V.A., Maksimov A.A. Photogrammetric technique or timber stack volume control // Internat. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Zurich, Switzerland. 2014. Vol. 40. P. 157-162. Recommendations on sorting and accounting of timber (version of 2015-05-05) // Lesexpert. Recommendations on sorting and accounting of timber (version from 2015-05-05) in accordance with the federal law of 28.12.2013 № 415-FZ on accounting of timber and transactions with it. [Electronic resource]. <http://lesexpert.info/415/14.pdf>. (date of address 12.10.2024).
 13. GIS, Spatial Analysis, and Modeling / Eds. D.J. Maguire, M.F. Goodchild, M. Batty. Redlands, California, USA: Esri Press, 2005. 480 p.
 14. Avery T.E., Burkhart H.E. Forest Measurements. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 2002. 456 p.
 15. Ko C., Sohn G., Rimmel T.K. Tree Genera Classification with Geometric Features from High-Density Airborne LiDAR // Canadian Journ. of Remote Sensing. 2013. № 39. P. S73-S85
 16. Alberg J., Nielson E., Walsh J. Theory of splines and its applications. Moscow: Mir, 1972. 319 p.
 17. Rogers D. Mathematical bases of machine graphics. M.: Mir, 2001. 604 p.
 18. Kazakov N.V., Ryabukhin P.B., Sadetdinov M.A. Method of forest fund typification // Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2013. № 10. P. 157-161.
 19. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Hongzhen Zhan. Mathematical Models of Principal Felling Characteristics on Cutting Areas in the Far East // Journ. of Northeast Forestry University. 1989. Vol. 7, № 5. P. 95-100.
 20. Ryabukhin P.B. Kovalev A.P. Kazakov N.V. Lutsenko E.V. Logging in the Far East - status and prospects: a monograph. Khabarovsk: Publishing house of the Far East scientific and research institute of forestry, 2010. 283 p.
 21. Sannikov S.P., Hertz E.F., Dyachkova A.A. Methodology of remote monitoring of forest stands and timber transportation flows // Forest Journ. 2016. № 3(351). P. 109-116.
 22. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. Certificate of state registration of computer program No. 2016617425. Program complex for the information-management system of the logging enterprise. Moscow: Rospatent, 2016.
 23. Kazakov N.V., Ryabukhin, P.B., Abuzov A.V. Method of accounting and control of the round timber // Systems. Methods. Technologies. 2019. № 4. P. 102-106.
 24. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. Russian Federation patent № 153577. Aggregate for forest management. Published 27.07.2015. Bull. № 21.