

УДК 630.3(075)

## МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМИ АГРЕГАТАМИ И АСПЕКТЫ ТОЧНОСТИ ИХ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Казаков Н.В.<sup>1</sup>, Садетдинов М.А.<sup>1</sup>, Кривошеева Р.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский Государственный университет», Хабаровск, Россия (680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136), e-mail: mail@pnu.edu.ru

Приведен анализ систем позиционирования лесопромышленных агрегатов под пологом леса, обоснован выбор методов дистанционного зондирования земли и лесной среды, обеспечивающих заданную точность получаемых фактических данных о лесных ресурсах. Предложен метод и алгоритм управления производственными процессами с использованием известных эмпирических зависимостей, внешних имитационных моделей и экспертных систем, интегрированных с геоинформационными технологиями. Разработка систем автоматизированного управления информационными потоками лесосечных процессов предприятия опирается на создаваемые трехмерные цифровые пространственные модели реальных участков леса подлежащих рубке. При этом в управлении агрегатами используется система обратной связи, обеспечивающая синхронизацию виртуальных моделей с фактическими данными, что позволит обеспечить полный учет процессов, изменений и перемещений добытых древесных ресурсов.

Ключевые слова: метод, алгоритм, дистанционное зондирование земли, геоинформационные технологии, позиционирование, система автоматизированного управления

## MANAGEMENT METHOD WOOD ASSEMBLIES AND ASPECTS OF ACCURACY OF THEIR POSITIONING

Kazakov N.V.<sup>1</sup>, Sadetdinov M.A.<sup>1</sup>, Krivosheeva R.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pacific National University, Khabarovsk, Russia (Pacific 136, Khabarovsk, Russia, 680035), e-mail: mail@pnu.edu.ru

The analysis of systems of positioning of timber industry assemblies under wood bed curtains is resulted, sampling of methods of distant sounding of land and the wood medium, the gained fact sheet providing given accuracy about wood resources is proved. The method and a control algorithm by flow processes with use of known empirical dependences, external imitating models and the expert systems integrated with geoinformation technology is offered. Automated management system engineering by the informational streams лесосечных factory processes leans against created three-dimensional digital three-dimensional models of real sections of wood subject to cabin. Thus in management of assemblies the system of a return coupling providing synchronisation of virtual models with the fact sheet that allows to provide the full account of processes, changes and movings of the extracted wood resources is used.

Keywords: method, algorithm, remote sounding of the earth, geoinformation technology, automated management system

Государственная программа России определяет снижение энергоёмкости валового внутреннего продукта. В лесной отрасли остройшей проблемой является высокая затратность лесозаготовительного производства. Как известно, традиционная технология промышленного лесопользования основана на использовании современной техники с соблюдением лесоводственных и технологических требований, регламентирующих работу лесопромышленных агрегатов (ЛПА). Вместе с тем такой подход не позволяет радикально решить проблему энергоэффективности. Одним из путей повышения эффективности промышленного лесопользования является автоматизация и применение прецизионных технологий. Однако применение точных лесозаготовительных технологий и их автоматизация ограничивается целым рядом технических проблем, связанных как с точностью

позиционирования лесных агрегатов, так и со сложностями их автоматизированного управления в реальных условиях.

Анализ систем позиционирования, их точности местоопределения и мобильного ориентирования показал, что в первую очередь для этих целей используются спутниковые системы глобального позиционирования ГЛОНАСС, GPS и Galileo. Наибольшую точность позиционирования (2-3 м) дает GPS/ГЛОНАСС. По заявлениям Роскосмоса, «в ближайшее время точность системы ГЛОНАСС повысится до 0,6 м. Тем не менее, в настоящее время обеспечить более высокую (до 1-2 см) точность глобального позиционирования в реальных условиях возможно только с добавлением еще и локальной системы позиционирования» [1].

Локальные системы позиционирования иначе т.н. "автопилотные" функции включают системы управления (слежения за курсом) и распознавания препятствий, доступные не только в авиации и флоте, но и во многих современных моделях автомобилей. Подобные системы действуют за счет анализа данных из нескольких источников – различных локационных маяков и видеокамер, ультразвуковых, тепловых или лазерных сканеров. В свою очередь применение в лесных условиях перечисленной совокупности технических средств позиционирования затруднительно, так как деревья существенно различаются по форме и могут быть как предметом труда (ПТ) скрытыми порослью так и препятствием и охраняемыми объектами одновременно. При этом проблемы с обзором и наводкой технологического оборудования не только снижают производительность [2], но и повышают энергозатратность производства.

Анализ путей решения подобных противоречий показал, что автоматизация лесосечных работ невозможна без применения методов локального бортового позиционирования в реальных условиях под пологом леса [3]. Кроме того необходимо обеспечить гарантированную работоспособность лесосечных агрегатов в автоматическом режиме управления а это предопределяет использование адаптивных беспоисковых алгоритмов с обратной связью [4]. Одним из эффективных методов является использование виртуального пространства среды функционирования, в котором производится оценка состояния управляемой системы (взаимного положения объекта управления и ПТ), что в данном случае можно трактовать как носитель обратной связи [5].

Экспериментальное исследование объектов сложной пространственной структуры на базе виртуальных моделей показало, что с ростом количества взаимосвязанных элементов существенно увеличиваются затраты времени и средств на создание непосредственно модели, программ и систем автоматического управления (САУ) [6]. В целях упрощения моделирования, составления программ управления и повышения их надежности в работе [7] было предложено разделить навигационные и управляющие блоки САУ, где

позиционирование осуществляется не всей системы в целом, а непосредственно опорных точек системы перемещения и базирования технологического оборудования. При этом управление манипуляционными действиями исполнительного оборудования и его позиционирование моделируется и планируется в САУ как функциональная зависимость от позиций опорных точек базовой системы. Тогда, при условии создания корректной пространственной модели лесного участка, отпадает потребность в поиске ПТ, достаточным будет позиционирование с заданной точностью опорных точек базовой системы.

Основное содержание метода автоматического управления информационными потоками, отождествляемыми с производственными процессами и функционированием лесных агрегатов, раскрывается на схемах (рис.1-3) и в приведенном ниже алгоритме.

1) Предварительно осуществляется сбор данных об участках лесного фонда из: различных схем, карт, таблиц и материалов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в виде гиперспектральных снимков передаваемых искусственными спутниками.

2) Определяется (по данным п.1) участок лесного фонда предварительно пригодный для лесозаготовительных работ, территория которого подвергается аэросъемке лазерной системой ДЗЗ (LiDAR). Здесь необходимо так подобрать параметры лазерной съемки, чтобы обеспечивалась возможность идентификации стволов деревьев.

3) В результате синхронизации данных п.1 и п.2, с применением геоинформационных технологий (ГИТ), осуществляется их географическое кодирование и формирование трехмерной цифровой модели (ЦМ) рельефа (ЦМР), и пространственное цифровое моделирование выбранного участка леса (лесосеки) (ЦМЛ), в виртуальной среде которой точно (по центрам стволов) отображается расстановка деревьев. Расположение каждого дерева, отражается в двухкомпонентной системе позиционирования (глобальное и аэро-локальное) и одновременно используется в качестве локальных навигационных привязок к ЦМЛ (т.е. как некой электронной локальной системы навигационно-реперного позиционирования ЛПА на местности) и в роли объектов для наведения технологического оборудования на ПТ.

4) Имея данные п.1-3 с помощью интегрированных внешних моделей производится расчет геометрических параметров деревьев (диаметр, сбежистость ствола и пр.), прогнозирование качества древесных ресурсов и формирование банка сортиментного выхода (с адресной привязкой потенциальных древесных ресурсов), что в совокупности позволяет наполнить атрибуты ЦМЛ.

5) В виртуальной среде имеющейся ЦМЛ (по данным п.1-4) с применением интегрированной с ГИТ автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) и системы экспертного советника (лицом принимающим решение

(ЛПР)) удаленно осуществляется электронный отвод лесосеки в рубку (создание электронных визиров, границ, документации и т.п.), а также последовательный выбор:

- уровня антропогенного воздействия на лесную среду (т.е. процента выборки деревьев, доли сохранения подроста, молодняка и семенных куртин и пр.)
- конкретно выделенного (поштучного) перечня деревьев, подлежащих рубке (например, согласно заказу потребителей) и их электронная маркировка в ЦМЛ;
- принципиальной схемы технологических действий на данном участке из перечня потенциально возможных;
- оптимальных путей (их трассировка в ЦМЛ) следования ЛПА и мест технологических стоянок, обеспечивающих однозначную досягаемость к ПТ;
- рациональных путей транспортировки ПТ (трассировка в ЦМЛ).
- способ представления и генерирование разрешительной, технологической и технико-экономической документации для утверждения и согласования.

6) Далее осуществляется формирование виртуальной модели ЛПА, состоящей из модели трассирования опорных точек и математических пространственных моделях функционально зависимого (от положения опорной точки см. рис.2-3) исполнительного технологического оборудования.

7) Создание и отладка программ САУ ЛПА могут быть построены на виртуальных технологиях позиционирования [8], математических и пространственных моделях, определенных в п.2-6 [9], с помощью специализированных программных комплексов, например [10] и функциональных зависимостях исполнительного технологического оборудования, например [12]. Тогда в целях повышения точности позиционирования опорных точек ЛПА под пологом леса и обеспечения гарантированной работоспособности автоматически управляемых лесосечных агрегатов в реальных условиях необходимо и достаточно применение бортового лазерного сканера кругового обзора (БЛКО) (см. рис.1), интегрированного в САУ ЛПА и синхронизированного с виртуальной средой ЦМЛ.

8) В соответствии с программой САУ (п.7) ЛПА прибывает на стартовую точку реальной лесосеки (см. рис.2).

9) После осуществляет сканирование БЛКО реальной лесосеки и после обработки данных выполняется их сравнение с виртуальной средой ЦМЛ (п.3-4). В случае расхождения данных позиционирования фактической стартовой точки и ее виртуального образа (см. рис.2, 3) осуществляется корректировка программы САУ ЛПА на величину ошибки позиционирования (синхронизация виртуальной и реальной лесосеки).

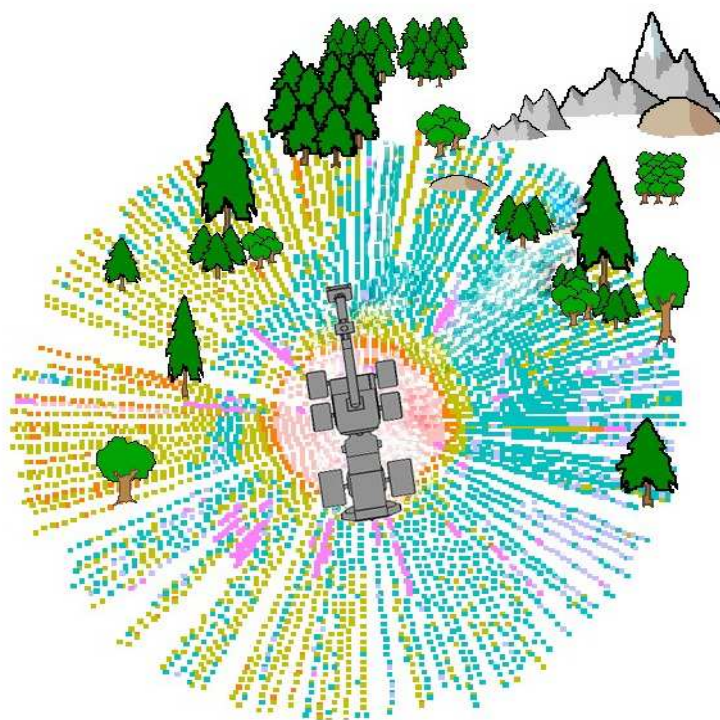


Рис. 1. Схема работы бортового локального лазерного сканера кругового обзора.

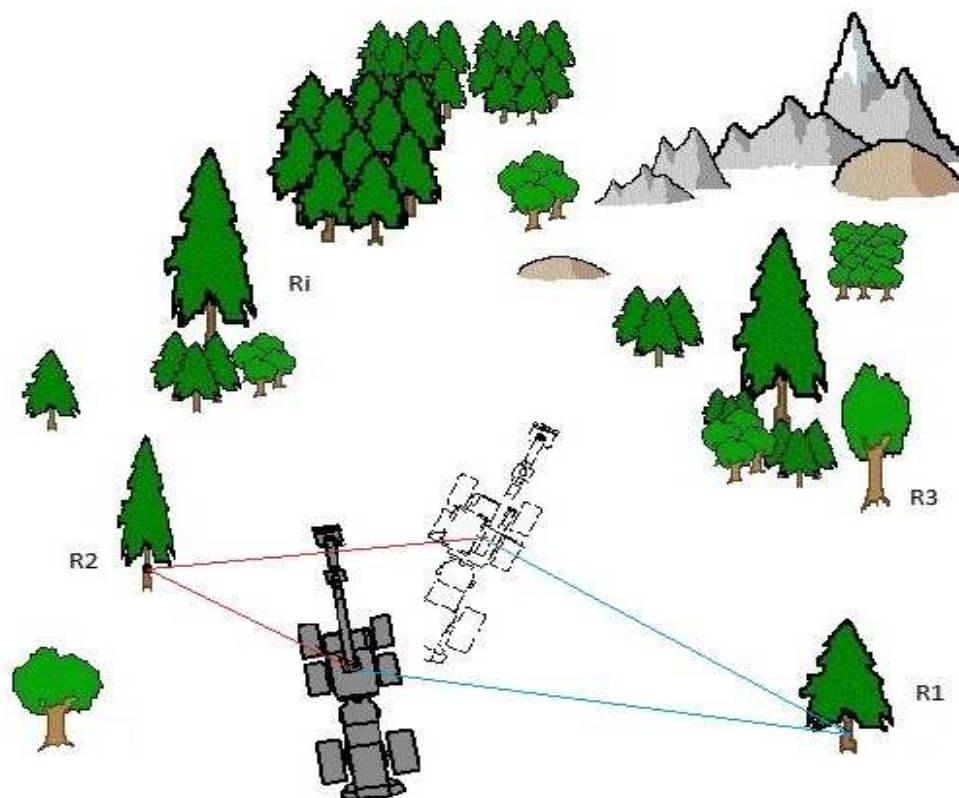


Рис. 2. Схема работы системы идентификации и коррекции стартовой ошибки позиционирования агрегата в реальной лесосеке.

10) Далее ЛПА (в соответствии с его программой управления) перемещается к первой (далее  $i$ -й) технологической стоянке, где выполняет соответствующую итерацию действий

предусмотренных п.9 и технологическое задание (*i*-й стоянки) вплоть до выполнения всей программы управления.

11) Учет всех изменений и перемещений ПТ, и выполняемых действий ЛПА регистрируется только в части их отклонения от программы САУ ЛПА, что позволяет их фиксировать в режиме реального времени, например на сервере диспетчера.

12) Маркировка произведенной продукции построена на моделях п.3-7 алгоритма и выполняется автоматически (см. рис.3) с использованием пассивных (без источника питания) электронных идентификаторов (например, путем их вбивания в спиленный торец). Номер идентификатора привязывается к конкретному сортименту, его атрибутам и данным о месте произрастания дерева и др. [8].

13) В целях обеспечения гарантированного сохранения данных маркировки в случае утраты электронного идентификатора (п.12) его уникальный номер прописывается (дублируется) в видеозаписи и может быть при необходимости восстановлен.

14) Считывание номеров идентификаторов (п.12) может осуществляться практически в любом месте и при любых условиях одним из известных способов, например, при помощи электромагнитного резонатора и сканера откликов электронных идентификаторов (путем введения в резонанс их пассивных контуров электропитания). При этом современный уровень пассивных электронных идентификаторов и считывающих систем позволяет идентифицировать как один маркированный сортимент, так и пакет сортиментов (в некотором их множестве).

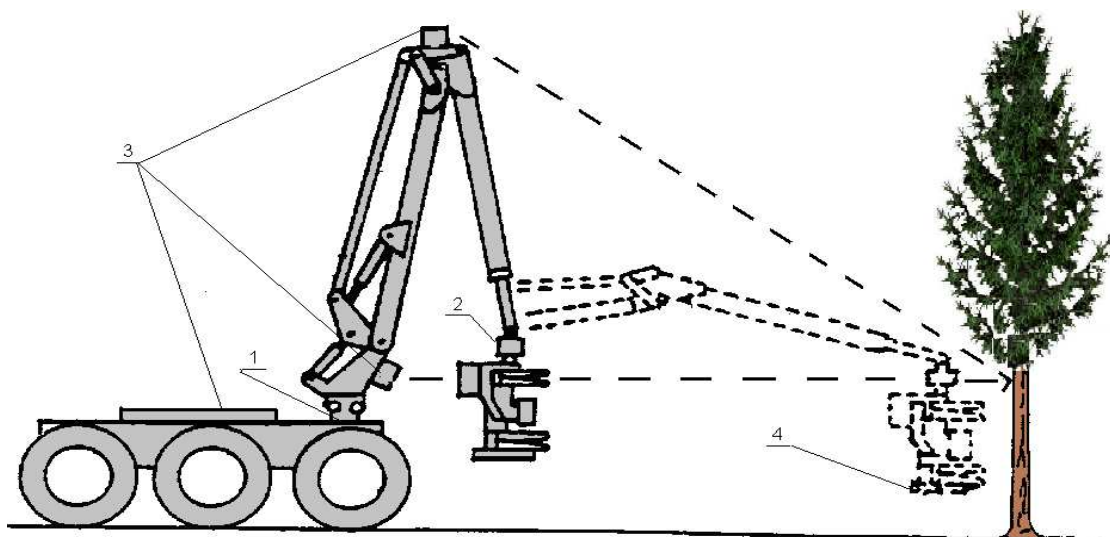


Рис. 3. Схема работы бортовой САУ (где, 1 - опорная точка базовой системы, 2 - технологическое оборудование, 3 – САУ с БЛКО, 4 – маркировщик).

Таким образом, разработанные метод и алгоритм управления ЛПА обеспечивают возможность прецизионно выполнять технологическое задание и необходимую точность

двухкомпонентного иерархического позиционирования и управления под сомкнутым пологом леса.

Инженерный результат и целесообразность применения предложенного в работе метода моделирования и управления лесосечными процессами и агрегатами состоят в применении трехмерного математико-картографического моделирования реальных лесных ресурсов в реальном времени с необходимой детализацией рельефа, предметов труда (поэлементно) для обеспечения эффективного прецизионного управления агрегатами, а также полного учета добытых лесных ресурсов. Автоматизация работы лесосечных агрегатов (за счет выбора оптимальных параметров маршрута следования лесозаготовительной машины, наводки и перемещения технологического оборудования) потенциально открывает резервы повышения производительности, экономии затрат энергии и времени.

### Список литературы

1. Точность российской навигационной системы ГЛОНАСС – Режим доступа: <http://onefact.ru/1-space-fact/tochnost-rossijskoj-navigacionnoj-sistemy-glonass.html> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Герц Э.Ф. Теоретическое обоснование технологий рубок с сохранением лесной среды. / Э.Ф. Герц // Дис. на соиск. учен. степени д.т.н. – Екатеринбург, УГЛУ, 2004. 281 с.
3. Visala, Arto and Dunn, Mark (2008) Robotics in agriculture and forestry. In: Springer handbook of robotics. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 1065-1077.
4. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. - М.: Наука, 1980. -244 с.
5. Моделирование сложных систем и виртуальная реальность // Вопросы кибернетики / Под ред. Ю.М. Баяковского и А. Н. Томилина. 1995. № 181.
6. Афанасьев В.О., Бровкин А.Г., Корниевский А.Н., Подобедов В.П., Семченко В.С., Томилин А.Н. Исследования и разработка системы интерактивного наблюдения индуцированной виртуальной среды (системы виртуального присутствия) // Космонавтика и ракетостроение. 2001. № 20.
7. Афанасьев В.О., Мартыненко М.В., Почукаев В.Н., Томилин А.Н. Системы навигации для объектов сложной пространственной структуры на базе виртуальных моделей трехмерной среды / 2-я Международная НТК «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». Рязань, 1998.

8. Казаков Н.В. Системы промышленного лесопользования в темнохвойных лесах Дальневосточного региона [Текст]: Монография / - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. 2013. - 99 с.
9. Мигранов А.Б. Система планирования траектории мобильного робота // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2001611806, 2001.
10. Ortiz Morales D. et al. Increasing the Level of Automation in the Forestry Logging Process with Crane Trajectory Planning and Control. Journal of Field Robotics, Volume 31, Issue 3, 2014. pp. 343-363.

**Рецензенты:**

Герц Э.Ф., д.т.н., профессор, директор «Института лесного бизнеса и дорожного строительства» ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург.

Рябухин П.Б., д.т.н., профессор, декан факультета «Природопользования и экологии» ФГБОУ ВПО Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск.