

УДК 630*3:658.011.56

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НАВЕДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ГОЛОВКИ МАНИПУЛЯТОРА НА ДЕРЕВО

Санников С. П., Серков П. А., Шипилов В. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» УГЛТУ, Екатеринбург Россия, (620100, Свердловская область, Екатеринбург, Сибирский тракт, д.37, УЛК-4/107), e-mail: SSP-mail@mail.ru

Предложен новый подход к автоматизированной системе наведения рабочей спиливающей головки с захватами манипулятора лесозаготовительной машины на ствол дерева. В работе представлена структурная схема управления манипулятором по наведению рабочей головки на дерево. Проведен анализ существующих систем управления лесозаготовительных машин, расчеты скоростей перемещения звеньев манипулятора. На основе расчетов скоростей звеньев манипулятора разработан алгоритм управления наведением рабочей головкой на дерево. Посредством компьютерного моделирования построен график ошибки наведения рабочей головки на дерево от времени. Система имеет специальный датчик с помощью радиочастотных меток, установленных на деревьях во время лесоотвода на спиливание. Бортовой компьютер лесозаготовительной машины содержит экспертную, связанную с радиочастотными датчиками через сканирующее устройство. После расчета координат с радиочастотного датчика предлагает оператору варианты выбора спиливаемого дерева, контроллер автоматически наведет рабочую головку манипулятора на дерево.

Ключевые слова: автоматизация, манипулятор, лесозаготовительная машина, рабочая головка, наведение, сканирующее устройство, радиочастотными датчиками, RFID устройство.

SYSTEM OF THE AUTOMATED PROMPTING OF THE WORKING HEAD OF THE MANIPULATOR ON THE TREE

Sannikov S. P., Serkov P. A., Shipilov V. V.

The Ural State Forest Engineering University, USFEU, Ekaterinburg, Russia (620100, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Siberian highway, 37, ULK-4/107), e-mail: SSP-mail@mail.ru

The new approach to the automated system of prompting of a working cutting head with captures of the manipulator the wood machines on a tree trunk is offered. In work the block diagram of management by the manipulator on prompting a working head on a tree is presented. The analysis of existing control systems the wood machines, calculations of speeds of moving of parts of the manipulator is lead. On the basis of calculations of speeds of parts of the manipulator the algorithm of management by prompting by a working head on a tree is developed. By means of computer modelling the schedule of a mistake of prompting of a working head on a tree from time is constructed. The system has the special gauge by means of the radio-frequency labels established on trees during marks trees on cutting. The onboard computer the wood contains machines expert, connected with radio-frequency gauges through the scanner. After calculation of coordinates from the radio-frequency gauge offers the operator variants of a choice of a cut tree, the controller will automatically guide a working head of the manipulator at a tree.

Keywords: automation, the manipulator, the wood machine (car), a working head, prompting, the scanner, radio-frequency gauges, RFID the device.

Введение. Известный способ лазерного наведения рабочей головки манипулятора лесозаготовительной машины (ЛЗМ) на ствол дерева оператором из кабины имеет существенные недостатки в управлении [5]. Оператору необходимо предварительно указать, навести на объект лазерный дальномер, а затем выполнить манипуляции джойстиком по спиливанию дерева. Используя лазерный дальномер наведения манипулятора, автор не учел временные задержки, оказывающие «транспортное» запаздывание системы управления рабочей головкой ЛЗМ. Оператору приходится делать лишнюю операцию, даже, если лазерный дальномер поставить на стрелу манипулятора и синхронизировать с системой

управления. Еще автор предлагает оператору лазерным дальномером указать две точки на стволе дерева – комель и вершину. Предлагаемая операция отвлекает оператора и приведет к снижению производительности ЛЗМ.

Цель работы – проанализировать существующие системы управления наведения рабочей головки на дерево для увеличения производительности ЛЗМ. Автоматизация управления рабочей головкой манипулятора с использованием RFID меток оптимизирует работу оператора и приведет к увеличению производительности, особенно при выборочной и рубке ухода. Автоматизированный способ наведения манипулятора сокращает время на подъезд к дереву, на приближение рабочей головки к стволу дерева. Оператору требуется осуществить выбор нужного дерева на карте монитора из предложенного списка экспертной системы. Выдаваемый список деревьев координируется экспертной системой с учетом координат навигационной системой GPS или Glonass. Данная система способствует экологической обстановке в лесных массивах, способствует сохранности деревьев, т.е. меньшей повреждаемости стволов деревьев во время лесопиления [1]. Система повышает производительность труда оператора ЛЗМ, избавляет его от лишних действий, например, по нахождению отведенного к рубке дерева, и подскажет, как лучше поставить машину.

Материал и методы исследования. Специальные радиочастотные датчики заранее устанавливаются на стволах деревьев, например, во время лесоотвода, информация с которых считывается сканером с монитором, который находится в кабине ЛЗМ. Радиочастотные метки, расположенные на стволах деревьев, содержат необходимую информацию о дереве: порода, возраст, координату нахождения дерева и пр.

Структурная схема системы автоматизированного наведения рабочей головки манипулятора ЛЗМ показана на рис. 1. Система состоит из радиочастотного датчика (метки), установленного на стволе дерева, манипулятора с рабочей головкой, установленного на шасси ЛЗМ, и кабины оператора. Сканирующее устройство расположено в кабине оператора для обнаружения и распознавания радиочастотной информации с датчика. Сканирующее устройство связано монитором и пультом оператора, со штатной системой управления манипулятором и рабочей головкой.

Функционирует система наведения рабочей головки следующим образом. Информация о деревьях лесного массива при лесоотводе заносится в базу данных, а соответствующие номера деревьев помечаются на вырубку. Сформированная база данных является неким документом для производства порубочных работ оператором ЛЗМ. При выполнении лесосечных работ база данных заносится в бортовой компьютер ЛЗМ.

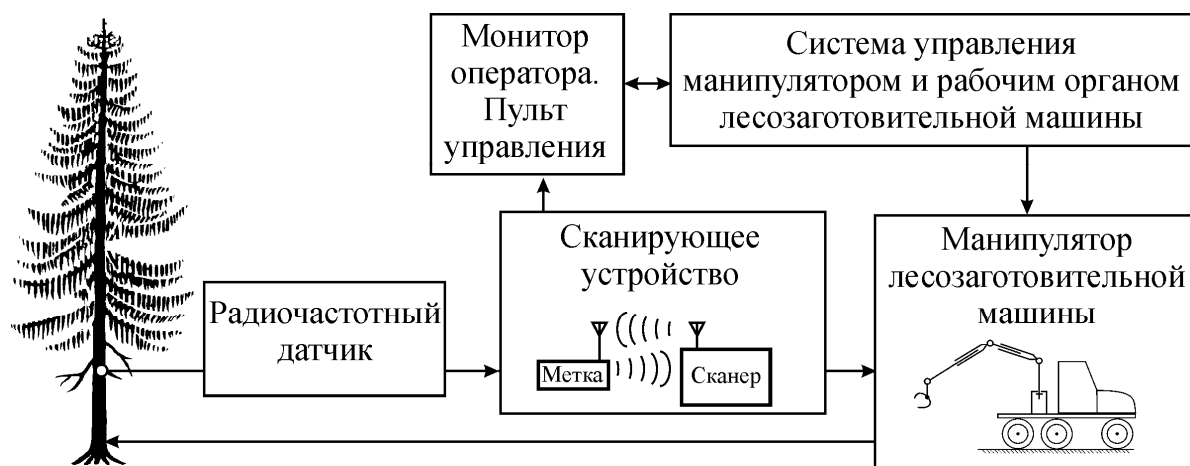


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной экспертной системы наведения рабочей головки манипулятора ЛЗМ на дерево

Приближение рабочей головки манипулятора к дереву, помеченного в базе данных на вырубку, выдаст оператору ЛЗМ соответствующую информацию. На мониторе у оператора высвечивается карта с отмеченными деревьями с RFID датчиками в виде цветных точек: красные – запрещены к спиливанию, зеленые – разрешены на спиливание. Количество деревьев на карте отмечают только те, которые входят в зону действия манипулятора. Это производится путем вычисления по соответствующему алгоритму. Цвет и форма точки указывают на геометрические размеры и породу дерева. При наведении рабочей головки манипулятора ЛЗМ на помеченное дерево в базе данных у оператора на мониторе метка становится активной, увеличивается в размерах или мигает и появляется информация о дереве: порода, возраст, высота, диаметр и пр. Таким образом, оператор имеет полную информацию о дереве и принимает решение, как распилить и куда положить сортимент.

Принятие решения оператором из предлагаемых вариантов контроллер автоматизированной системы управления по специально разработанному алгоритму наводит рабочую головку манипулятора на ствол дерева. Управляющая программа контроллера разработана по проведенным использованиям звеньев манипулятора ЛЗМ и расчетным данным, приведенным в работе [2]. Контроллер рассчитывает скорости перемещения элементов (звеньев) манипулятора с тем, чтобы помочь оператору быстро и без потерь времени – подвести рабочую головку с захватами на выбранный ствол дерева и на нужной высоте, с учетом рельефа местности. На рис. 2 представлены результаты расчетов моделирования ускорения захвата при различных линейных скоростях движения звена и начальных углах, которые использованы в программе управления манипулятором ЛЗМ. Порядок расчета представлен в работе [2].

На основе полученных данных о движения условной точки рабочей головки захвата построены алгоритмы программ для управляющего контроллера манипулятором ЛЗМ.

Наилучшим вариантом совместной работы звеньев является вращение стрелы при возможном выдвижении рукоятки (рис. 2, кривые 1 и 4). Технологические возможности манипулятора можно оценить после исследования характера зон обслуживания манипулятора при различных вариациях его перемещения в лесном массиве.

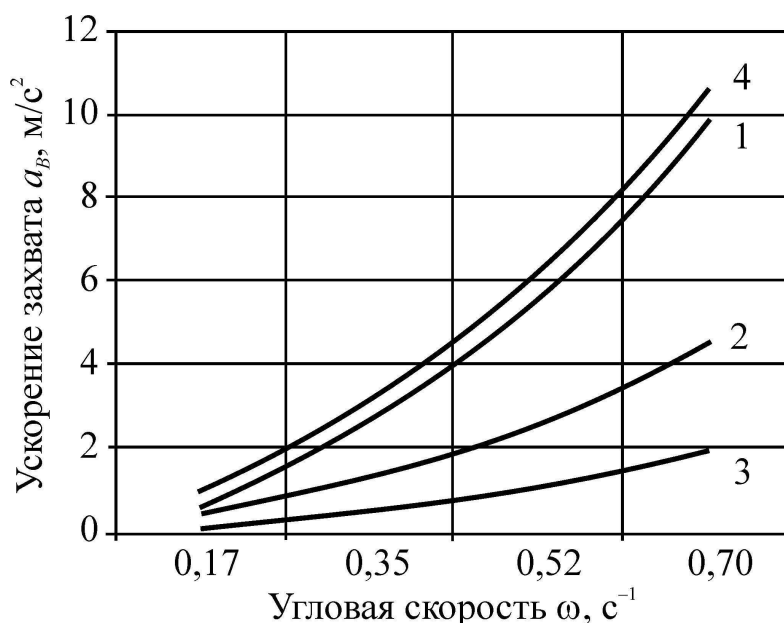


Рис. 2. Расчетные модельные кривые ускорения захвата манипулятора при начальных углах $\varphi = 60^\circ$, $\psi = 180^\circ$ и линейной скорости $U = 1 \text{ м/с}$: 1 – стрела и рукоятка вращаются и не выдвигаются; 2 – стрела вращается, рукоятка выдвигается и не вращается; 3 – стрела неподвижна, рукоятка вращается; 4 – стрела вращается, рукоятка вращается и выдвигается

Фрагмент алгоритма управления одним звеном манипулятора ЛЗМ показан на рис. 3. Поступающие данные от оператора в контроллер анализируются, т.е. производится определенный расчет координаты перемещения рабочей головки манипулятора по предельным углам наклона и поворота звеньев манипулятора. Сравниваются с данными оператора, после этого производится расчет оптимальных ускорений и скоростей, а затем контроллер вырабатывает управляющее воздействие на гидроцилиндр звена манипулятора ЛЗМ.

Управляющая программа в контроллере выполнена в виде отдельного цикла, в который вставлены подпрограммы управления отдельными звеньями манипулятора ЛЗМ. Поэтому система оказывается самостоятельной, т.е. автономной от системы выравнивая шасси ЛЗМ на не ровном рельефе почвы, например, на слоне.

Важным элементом алгоритма управления манипулятором ЛЗМ являются данные, поступающие с радиочастотной метки (рис. 3). Сканер считывает данные с радиочастотной метки, обрабатывает их и передает их в контроллер, где производится расчет координаты метки.

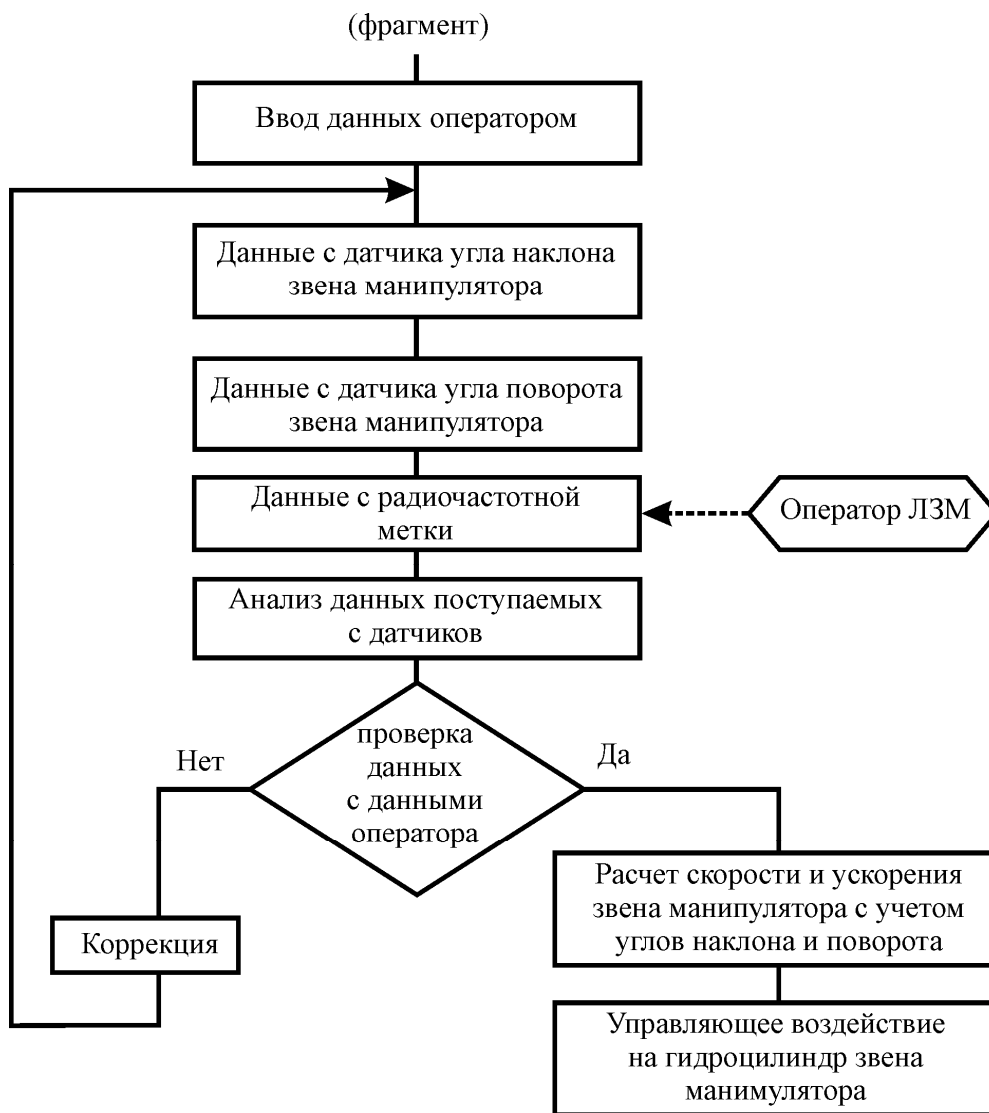


Рис. 3. Алгоритм управления работой манипулятора

Расчетная схема координаты RFID датчика показана на рис. 4. По сигналам со сканеров S_1 и S_2 , расположенных друг от друга на расстоянии R , в контроллере производится расчет расстояния r_1 , r_2 от метки M и высота h . Трехмерная система координат расположения RFID датчика M и сканирующего устройства S_1 , S_2 , необходима для объяснения принципа работы алгоритма управления манипулятором ЛЗМ. Это связано с тем, что рельеф почвы в лесу имеет уклоны, впадины, холмики и пр., то контроллер должен вычислить координату для перемещения рабочей головки манипулятора и переместить ее в заданную меткой точку оптимальным образом.

Расчет координаты RFID датчика производится по поступившему сигналу. Положение координаты сканера S_1 в момент времени t определяем по заданному вектору $r_1 = [x_1, y_1, z_1]^T$, а положение S_2 определяем вектор $r_2 = [x_2, y_2, z_2]^T$, как величины обратные координаты точки расположения RFID датчика. Таким образом, векторы r_1 и r_2 определяют в момент времени t текущее расстояние $R = \| r_1 - r_2 \|$ между S_1 и S_2 в выбранной системе координат.

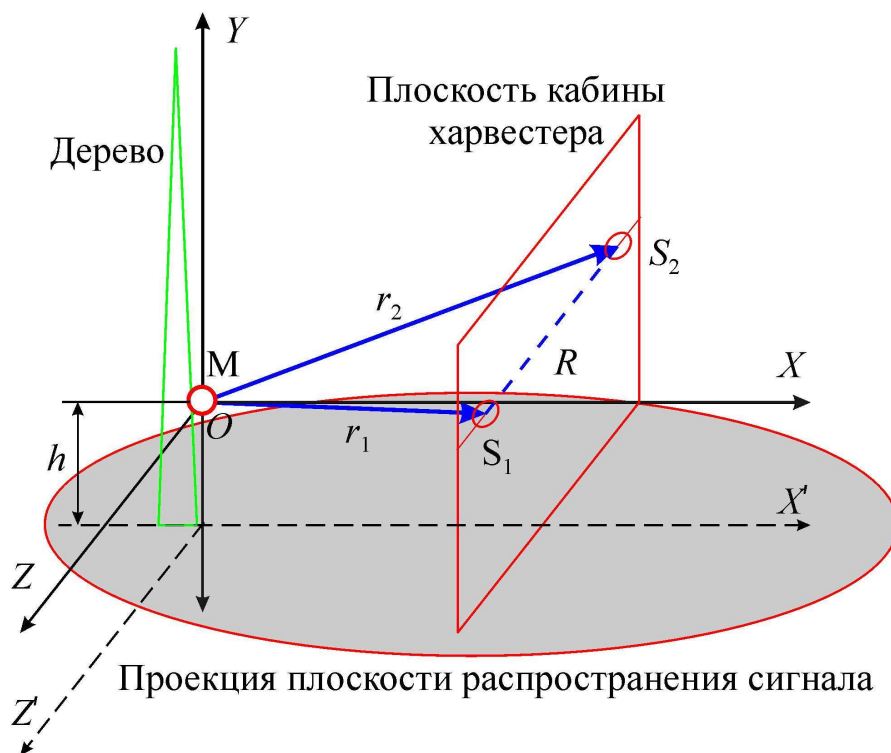


Рис. 4. Пространственная схема координат сканирующего устройства: М – радиочастотная метка; r_1 и r_2 – расстояние (радиус распространения сигнала) от М до сканера; h – высота расположения М; S_1 и S_2 – сканирующее устройство с двумя приемниками сигнала от М; R – расстояние между точками S_1 и S_2

Доминирующий вклад в погрешность измерения расстояния вносят канал распространения радиоволн, возникающих в условиях леса отражения от близкорасположенных стволов деревьев, собственный шум метки (передатчика) и сканера (приемника). Для точной оценки времени прихода сигнала (дальности) использовали методологию, описанную в [3]. Результат измерений сводится к оценке всех трех координат точки М.

Предлагаемый синтез алгоритма расчета координат выполним на основе Марковской теории нелинейной фильтрации [4]. Введем трехмерный вектор переменных состояния:

$$x^T = [x_1, x_2, x_3] = [x_2, y_2, z_2], \quad (1)$$

координаты являются неизвестными случайными величинами. Для неподвижного на интервале измерения r в дискретном времени для вектора x справедлива система разностных уравнений:

$$x(k) = x(k-1), k = 1, 2, \dots \quad (2)$$

Случайные начальные условия для (2) определены заданием априорной плотности распределения вероятностей $W[x(0)]$, где в качестве источника информации о состоянии используются измерения дальности, объединенные в вектор наблюдения:

$$z(k) = \|x(k) - r_1(k)\| + n(k), \quad (3)$$

где $n(k)$ – одномерный вектор ошибок измерений.

Применяя формулу Байеса с учетом Марковских свойств состояний (2) и наблюдений (3), можно записать уравнения, позволяющие рекурсивно обновлять апостериорную плотность распределения вероятностей по мере поступления наблюдений [6]. Для квадратичной функции потерь оптимальная байесовская оценка $\hat{x}(k)$ текущего состояния $x(k)$ реализуется в виде оператора апостериорного среднего.

Задачей экспериментальных исследований является определение ошибки измерения расстояния. Исследование проводили на местности в горизонтальной плоскости с углом от -90° до $+90^\circ$ с шагом 45° . Расчет ошибок с определением координат выполнено методом статистических испытаний при усреднении по 100 независимых реализаций гауссовых ошибок в канале наблюдений и различных начальных условий для (2). При движении сканера в пределах действия радиочастотной метки радиусом 100 м, со скоростью 5 км/ч ошибки измерений полагали статистически независимыми во времени с нулевым средним и среднеквадратичным отклонением 30 мм. Интервал сканирования, т.е. поступление данных 1 с. Расстояние R между точками S_1 и S_2 выбрали 1 м, длину волны – 130 мм. Произведен расчет максимальной ошибки при определении места расположения радиочастотной метки M (рис. 5).

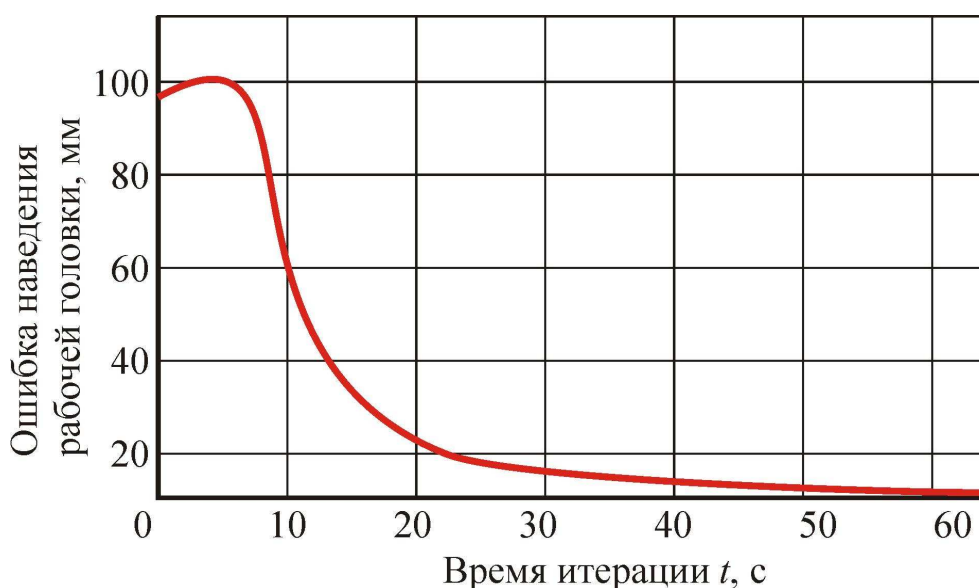


Рис. 5. Итерационная ошибка определения места расположения метки M

Результаты исследования и их обсуждение. В исследованиях использовали радиочастотную метку с диаметром антенны 25 мм. Результаты итерационных исследований в горизонтальной плоскости приведены на рис. 5. Расчет плотности распределения вероятностей произведен при 8000 точек. Результаты итерации в вертикальной плоскости в работе не представлены по причине, что первоначальная задача исследований заключалась в поиске места нахождения метки в горизонтальной плоскости, чтобы навести рабочий орган

манипулятора ЛЗМ на дерево.

Выводы. Полученные результаты позволяют определять координаты дерева с точностью, соизмеримой с размерами RFID датчика за время 30–35 сек. При использовании более коротких волн, например 10–12 мм, можно надеяться на более высокую точность измерения координаты объекта. Для снижения времени вычисления необходимо поработать по снижению шумов.

Список литературы

1. Герц Э. Ф., Санников С. П., Соловьев В. М. Использование радиочастотных устройств для мониторинга экологической ситуации в лесах // Всероссийский научный аграрный журнал. «Аграрный вестник Урала». – Екатеринбург: АБУ, 2012. – № 1 (93). – С. 37–39.
2. Добрачев А. А., Раевская Л. Т., Швец А. В. Исследование кинематики работы звеньев манипулятора в обобщенном виде. // Вестник московского государственного университета леса Лесной Вестник. Науч.-инф. журн. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса. – 2008. – № 3. – С. 118—122.
3. Савин А. А., Тисленко В. И. Сравнительный анализ алгоритмов определения времени прихода импульсного сигнала при многолучевом распространении радиоволн // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2006. – № 6. – С. 62–66.
4. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / под ред. Б. Р. Левина. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
5. Шобанов Л. Н., Шургин А. И. Способ наведения рабочего органа манипулятора лесной машины на объект. Заявка на изобретение №: 2010147210. М., 2012.
6. Doucet A. On Sequential Simulation-Based Methods for Bayesian Filtering. Technical report CUED / F-INFENG / TR 310, Department of Engineering, Cambridge University, 1998.

Рецензенты:

Залесов Сергей Вениаминович, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург.

Лисиенко Владимир Георгиевич, д.т.н., профессор, УрФУ имени первого Президента России, г. Екатеринбург.