Khristoforov Evgeniy Nikolaevich - Professor of the Department of Life Safety and Engineering Ecology FGBOU VO "Bryansk State Agrarian University", Doctor of Technical Sciences, Professor, Bryansk, Russian Federation, email: en-x@bk.ru

Baranov Yurii Nikolaevich - Professor of the Department of service and repair of machines Orel State University, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orel, Russian Federation, email: bar20062@yandex. ru

DOI:10.12737/article_5ab0dfc77edc04.85487053
УДК 681.5

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАВЕДЕНИЯ ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ДЕРЕВО

кандидат технических наук, доцент **А.П. Мохирев**[1]
учащийся **И.А. Мохирев**[2]
магистрант **Д.М. Морозов**[1]
1 - Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", Лесосибирск, Россия
2 - КГАОУ «Краевая школа-интернат по работе с одарёнными детьми «Школа космонавтики», Железногорск, Россия

На сегодняшний день совершенствование лесозаготовительных машин направлено повышение производительности с использованием современных информационных систем. Наиболее сложной операцией на лесозаготовках, требующей опыта и квалификации оператора является управление манипулятором при наведении захватно-срезающего устройства на дерево. При «жестком» захвате дерева в результате неточного наведения манипулятора происходит повреждение спиливаемого дерева, произрастающего вокруг подроста, поломка дорогостоящего оборудования, возникает риск падения дерева в незаданном направлении, разрушения пильного механизма. Также увеличивается время наведения манипулятора и захвата дерева, что значительно снижает производительность работ. При постоянной концентрации на сложной операции оператор быстро утомляется, что снижает его работоспособность и внимательность. Не точное наведение манипулятора и «жесткий» захват дерева происходит довольно часто и может произойти даже у опытного оператора. Рассматриваемые операции в большей степени выполняются по одному алгоритму, а значит, могут выполняться автоматизировано. С целью устранения выше перечисленных недостатков предложена система автоматического наведения захватно-срезающего устройства на дерево и его захвата. Она состоит кроме как из технологического оборудования самой машины, компьютера с системой управления лесозаготовительной машиной, двух датчиков расстояния, датчика касания. Датчики расстояния, установленные на захватно-срезающем устройстве, определяют местоположение дерева. Информация с датчиков подается на компьютер лесозаготовительной машины, который управляет исполнительными механизмами манипулятора лесозаготовительной машины. Управляемые системой управления машины исполнительные механизмы гидроманипулятора, наводят захватно-срезающее устройство на дерево. Датчик касания устанавливается на корпусе захватно-срезающего устройства. При касании дерева с датчиком дерево захватывается. При таком выполнении повышается точность и скорость наведения захватно-срезающего устройства на дерево, что приводит к снижению утомляемости оператора, повышению производительности лесной машины, снижению повреждений деревьев и захватно-срезающего устройства за счет частичной автоматизации процесса наведения захватно-срезающего устройства на дерево и его захвата.

Ключевые слова: лесозаготовительная машина, захватно-срезающее устройство, оператор, автоматизация, роботизация, манипулятор, система управления, захват дерева, повышение производительности, утомляемость оператора.

ROBOTIZED SYSTEM OF POINTING THE GRIPPER-CUTTING DEVICE ON THE TREE

PhD (Engineering), Associate Professor **A.P. Mokhirev** [1]
Student **I.A. Mokhirev** [2]
Master's Degree Student **D.M. Morozov** [1]
1 - Lesosibirsk Branch of FSBEI HE "Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev", Lesosibirsk, Russia
2 - RSAEI "Regional boarding school for gifted children" School of Astronautics ", Zheleznogorsk, Russia

Abstract

To date, the improvement of forest machines is aimed at increasing productivity using modern information systems. The most complex operation in logging, which requires the experience and skill of the operator, is the manipulator control when gripper-cutting device is pointed to a tree. At "hard" capture of the tree as a result of inaccurate pointing of the manipulator, the sawed tree growing around the undergrowth is damaged, expensive equipment is damaged, there is a risk of tree falling in the undetermined direction, saw mechanism is destroyed. Also the time for pointing the manipulator and capture the tree increases, which significantly reduces the productivity of work. With constant concentration on a complex operation, the operator quickly becomes fatigued, which reduces his/her efficiency and attention. Not precise guidance of the manipulator and "hard" capture of the tree occurs quite often and can happen even with an experienced operator. The operations are performed by one algorithm, which means that they can be automated. In order to eliminate the above-mentioned shortcomings, a system of automatic guidance of gripper-cutting device on a tree and its gripping is proposed. It consists, apart from both technological equipment of the machine itself, a computer with a logging machine control system, two distance sensors, and touch sensor. The distance sensors are installed on the pick-up device and determine the location of the tree. The information from the sensors is fed to the computer of the forest machine, which controls the operating mechanisms of the manipulator of the forest machine. Controlled by the machine control system, actuators of hydromanipulator guide the gripper-cutting device onto the tree. The touch sensor is mounted on the body of the gripping device. When you touch the tree with the sensor, the tree is captured. With such an implementation, the accuracy and speed of guiding the cutting device onto the tree is increased, which leads to a reduction in operator fatigue, increased productivity of the forest machine, reduction of damage to trees and gripping device due to the partial automation of the process of guiding the cutting device on the tree and its capture.

Keywords: logging machine, gripper, operator, automation, robotics, manipulator, control system, tree gripping, productivity increase, operator fatigue.

Роботизированные системы управления технологическим оборудованием применяются уже во многих отраслях [1], все более расширяя области использования. Их применение значительно снижает трудозатраты производства и себестоимость, повышают точность выполнения операций, увеличивают безопасность и т.п. В первую очередь роботизированные системы внедряют в сложные механизмы, выполняющие высокоточные операции по алгоритму.

Современные лесозаготовительные машины представляют собой сложные электрогидравлические механизмы. Для улучшения технических характеристик машин в основном совершенствуются силовые установки, технологическое оборудование [5]. В последнее время машины оснастили компьютерами для оптимизации раскряжевки, диагностики машин и др. [17]. Однако данные модернизации ведут к усложнению труда, увеличение скорости переключения между определенными операциями и режимами работы приводит к возрастанию интеллектуальной нагрузки оператора [10, 16]. В связи с этим при создании новых и модернизации существующих лесозаготовительных машин возникает типичная задача уменьшение нагрузки на человека для человеко-машинных систем, а также уменьшения количества принятия решений типовых задач. Многие выполняемые операции лесоза-

готовительных машин не требуют выборных решений оператора, выполняются по одному алгоритму и требуют точности и внимательности, а значит, могут выполняться автоматизировано или даже роботизировано.

На сегодняшний день имеются разработки по дистанционному управлению лесозаготвительными машинами [11]. В зарубежных компаниях, производящих лесозаготовительные машины, таких как Ponsse, John Deer и др. сделаны опытные образцы и последние годы проходят испытания. Преимуществом таких разработок является снижение трудовых затрат, повышение безопасности работ [4]. В качестве недостатков можно отметить сложность разработок и управления, снижение производительности. В России также имеются несколько запатентованных способов, но до опытного образца они не дошли.

Также все более распространено лазерное сканирование древостоя для определения его местоположения [2, 14], таксационных характеристик и дефектов [15, 20]. На базе таких разработок создаются мобильные роботы для целей лесного хозяйства [18, 19].

Наиболее распространенная на сегодняшний день современная лесозаготовительная машина - валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (харвестер) [3, 7]. Харвестер состоит из базовой машины и технологического оборудования, которое в свою очередь состоит из манипулятора и харвестерной головки.

В лесных машинах применяются следующие типы манипуляторов:

- шарнирно-рычажные, имеющие шарнирно-соединенную стрелу и рукоять;
- телескопические, имеющие телескопические выдвижные звенья стрелы (рукоять как элемент конструкции отсутствует);
- комбинированные – шарнирно-рычажный манипулятор с телескопически выдвижными звеньями стрелы;
- параллельные – шарнирно-рычажные или комбинированные манипуляторы, у которых рукоять с помощью гидроцилиндра и механизма стабилизации движется прямолинейно по отношению к поверхности земли и обеспечивает легкую наводку на дерево.

Харвестерная головка является сложным устройством, позволяющим выполнять различные технологические операции по захвату свободно стоящего дерева, срезанию и направленной его валке, удаление сучьев и раскряжёвки ствола дерева на сортименты определенной длины. Головка объединяет в себя основные компоновочные единицы: подающий или простаскивающий блок, сучкорезный блок, пильный блок, измерительные устройства для определения длины, диаметра и объёма сортимента, гидравлическую и электрическую систему, микропроссесорные блоки управления.

Технологический процесс харвестера складывается из переездов по лесосеке, спиливания, обрезки сучьев, раскряжевки хлыстов на сортименты и их пакетирования. Совершив переезд, машина останавливается таким образом, чтобы очередная группа деревьев находилась в пределах рабочей зоны манипулятора. Следующей операцией является наводка захватно-срезающего устройства (харвестерной головки) на дерево, которая осуществляется непосредственно оператором посредством управляющих джойстиков и системы управления харвестером. Движениями стрелы, рукояти и колонны манипулятора харвестерную головку наводят на ствол дерева так, чтобы пильный механизм располагался у комля дерева. Затем производят захват ствола сучкорезными ножами и протаскивающими вальцами, его натяг вверх движением стрелы и спиливание. После спиливания ствол дерева опрокидывается и одновременно перемещается к месту раскряжевки. При протаскивании ствола дерева протаскивающими вальцами происходит измерение длины и диаметра ствола с одновременной обрезкой сучьев. Данная информация передается в компьютер машины и с помощью программного обеспечения обрабатывается для наиболее рационального распиливания дерева. При получении нужного сортимента по размерно-качественным характеристикам происходит раскряжевка. Отпиливаемый сортимент укладывается в пачку. Система управления с программным комплексом позволяет оператору напрямую управлять

как отдельными частями машины, так и настраивать комплексы узлов и оборудования.

Деятельность оператора современных валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин представляет собой сложный многофункциональный процесс, состоящий из множества основных и дополнительных операций [13]. К основным операциям относят перемещение харвестера на рабочую позицию, подведение харвестерной головки, захват и срезание дерева, протяжку ствола, раскряжевку и укладку сортиментов.

К дополнительным операциям можно отнести действия оператора харвестера для повышения эффективности своей работы или работы последующей машины, такие как поиск дерева, оптимизация маршрута движения харвестера к объекту разработки, оптимизация наведения срезающей головки на дерево и т.д.

В процессе наведения на дерево захватно-срезающего устройства оператор управляет манипулятором с использованием чувствительных джойстиков. Каждое действие джойстиком приводит в действие исполнительные механизмы манипулятора или харвестерной головки. При этом, есть возможность приводить в действие одновременно несколько исполнительных механизмов. Однако совмещение действий требует опыта оператора.

Недостатком существующего способа и системы управления валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины является ручное наведение харвестерной головки на дерево, что требует высокой квалификации оператора, постоянной сосредоточенности на движениях и часто приводит к неточности их выполнения, быстрой утомляемости оператора, повреждениям дерева и харвестерной головки, снижению производительности.

Автоматизировать процесс предложили Шобанов Л.Н., Шургин А.И. в способе наведения рабочего органа манипулятора лесной машины на объект [9]. Оператор указывает положение места захвата или спила объекта пятном луча дальномера и одновременно измеряет расстояние до объекта и углы поворота дальномера с дальнейшим подводом рабочего органа к объекту для захвата или спила, при этом оператор может указывать несколько объектов, не ожидая начала операции или окончания текущей, с последующим захватом или спилом всех указанных объектов. Оператор может указывать на каждом объекте, по меньшей мере, две точки, например, для определения длины сортамента и/или оптимизации раскряжевки или точки захвата, причем оператор может указывать на каждом объекте в заданном порядке комель и вершину или точки, близкие к ним.

Недостатком данного способа является временные задержки при наведении на дерево лазерного дальномера. В результате происходит запаздывание системы управления рабочего органа, что увеличивает время на осуществление технологического цикла и снижает производительность работ. Также при наведении луча дальномера на объект из окна кабины снижается точность наведения луча, а значит и выполнения операции. Кроме того, оператору приходится делать лишнюю операцию по наведению лазерного дальномера на объект, что отвлекает его от основных операций, а значит, увеличивается утомляемость оператора и снижается производительность работ.

Таким образом, существующие способы и устройства для наведения захватно-срезающих устройств (ЗСУ) на дерево и его захват не позволяют производить данные операции с высокой точностью и скоростью наведения, минуя ручное управление захватно-срезающим устройством.

В современных лесозаготовительных машинах управление технологическим оборудованием происходит с использованием мини рычагов или джойстиков, которыми управляет оператор. С них информация передается на исполнительные механизмы. Движением рычагом, джойстиком или нажатием кнопки приводится в действие исполнительный механизм машины. При этом джойстики на современных машинах очень чувствительны и для точного управления манипулятором и другим технологическим оборудованием требуется опыт и квалификация [6, 8, 12].

В данных исследованиях предложена автоматизированная система управления манипулятором лесозаготовительной машиной.

Предлагаемая система наведения захватно-срезающего устройства на дерево и его захват (рис. 1) состоит из захватно-срезающего устройства 1 с исполнительными механизмами 2, гидроманипулятора 3 с исполнительными механизмами 4, компьютера с системой управления лесозаготовительной машиной 5, двух датчиков расстояния 6, датчика касания 7.

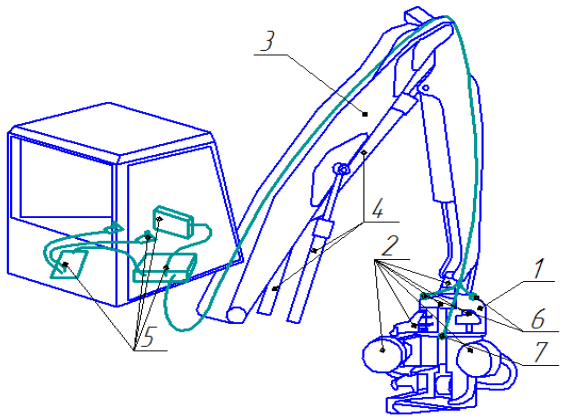

Рис. 1. Система управления и передача данных с захватно-срезающем устройством: 1 – захватно-срезающее устройство; 2 – исполнительные механизмы ЗСУ; 3 – гидроманипулятор; 4 – исполнительные механизмы гидроманипулятора; 5 – компьютер с системой управления машиной; 6 – датчики расстояния; 7 – датчик касания

Датчики расстояния 3 (рис. 2) устанавливаются на максимально возможных удаленных друг от друга по ширине точках на неподвижных частях корпуса ЗСУ 1, таким образом, чтобы их действие было направлено по оси ЗСУ в сторону захватов 5. Датчики расстояния 3 определяют местоположение дерева 2 относительно захватно-срезающего устройства 1 на расстоянии не менее чем на L=1,0-2,5 м.

Принцип действия заключается в следующем (рис. 3). Оператор устанавливает лесную машину в положение, наиболее удобное для проведения запланированных технологических операций, и переводит ее в соответствующий режим. Оператор с помощью системы управления машины 5 подводит захватно-срезающее устройство 1 к дереву на расстояние до L=1,0-2,5 м и, направив его на дерево по оси направления захватно-срезающего устройства с погрешностью α=±200. Нажатием кнопки запуска системы, оператор включает систему наведения захватно-срезающего устройства на дерево и его захвата. Датчики расстояния 6 определяют местоположение дерева относительно захватно-срезающего устройства. Информация с датчиков подается на компьютер лесозаготовительной машины 5. Информация может передаваться различными способами, включая проводные и беспроводные технологии. При входящей информации о расстояниях до объекта с двух датчиков, расположенных под разными углами к дереву, программное обеспечение компьютера определяет местоположение дерева относительно захватно-срезающего устройства. Программное обеспечение компьютера управляет исполнительными механизмами манипулятора 4 лесозаготовительной машины. Управляемые системой управления машины гидродвигатели, наводят захватно-срезающее устройство 1 на дерево. При касании дерева с датчиком касания 7, установленным на захватно-срезающем устройстве 1, информация передается на компьютер 5, который управляя исполнительными механизмами захватно-срезающего устройства 2, захватывает дерево. После захвата дерева управление захватно-срезающим устройством переходит в ручной режим. При необходимости экстренного отключения системы автоматического наведения захватно-срезающего устройства на дерево, оператор повторно нажимает на кнопку запуска системы.

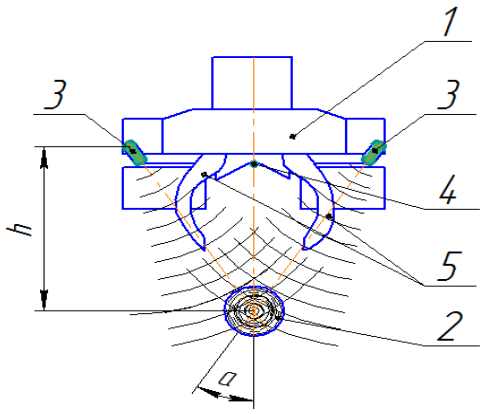

Рис. 2. Принцип определения местоположения дерева: 1 – захватно-срезающее устройство; 2 – дерево; 3 – датчик расстояния; 4 – датчик касания; 5 – захваты

На рисунке 3 представлен порядок действий системы наведения захватно-срезающего устройства на дерево и его захвата, а также элементы, отвечающие за выполнение действий. При внедрении данной системы повысится точность и скорость наведения захватно-срезающего устройства на дерево, что приведет к снижению утомляемости

оператора, повышению производительности лесной машины, снижению повреждений деревьев и захватно-срезающего устройства за счет частичной автоматизации процесса наведения захватно-срезающего устройства на дерево и его захвата, с последующей компьютерной обработкой полученных данных наведения и автоматической выдачей управляющих сигналов на исполнительные механизмы манипулятора и захватно-срезающее устройство машины. По данной разработке сделана действующая модель. Она испытана на адекватность и работоспособность.

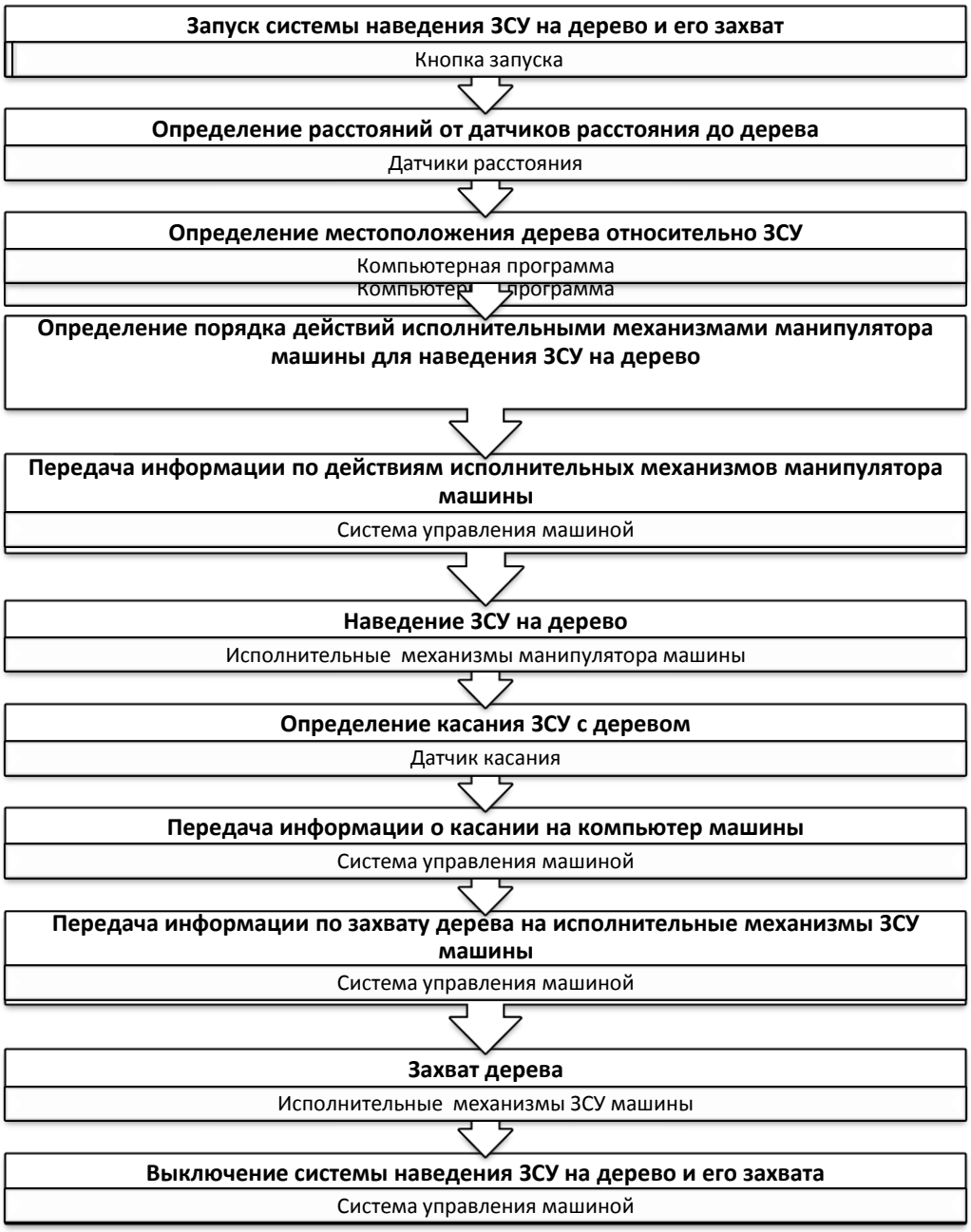

Рис. 3. Порядок действий системы наведения захватно-срезающего устройства на дерево и его захвата, а также элементы, отвечающие за выполнение действий

Библиографический список

1. Байкова, Е.С. Развитие исследований в сфере робототехники в организациях ФАНО России [Текст] / Е. С. Байкова, О. О. Мугин, Д. И. Цыганов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 1 (174). – С. 219-227.

2. Барабанов, Д. В. Обзор систем позиционирования применяемых при создании роботизированных установок [Текст] / Д. В. Барабанов, Н. В. Муханов // В сборнике: Наука и молодежь: новые идеи и решения в АПК: Сборник материалов Всероссийских научно-методических конференций с международным участием. – 2016. – С. 233-235.

3. Инновационные технологии лесосечных работ [Текст] : учеб. пособие / И. Р. Шегельман, Я. Т. Лаурила, В. И. Скрыпник, О. Н. Галактионов. – Петрозаводск : Verso, 2016. – 134 с.

4. Карпачев, С. П. Дистанционное управление машинами обеспечивает безопасность труда в лесу [Текст] / С. П. Карпачев // Лесопромышленник. – 2008. – Февраль-март (45). – С. 28-29.

5. Ласточкин, Д. М. Исследование нагруженности пространственно-приводного механизма захватно-срезающего устройства [Текст] / Д. М. Ласточкин, Е. М. Онучин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 91. – С. 731-741.

6. Мохирев, А. П. Методика выбора лесозаготовительных машин под природно-климатические условия [Текст] / А. П. Мохирев // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6. – № 4 (24). – С. 208-215.

7. Мохирев, А. П. Оценка технологических процессов лесозаготовительных предприятий [Текст] / А. П. Мохирев, Е. В. Горяева, С. О. Медведев // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6. – № 4 (24). – С. 139-147.

8. Мохирев, А. П. Моделирование технологического процесса работы лесозаготовительных машин [Текст] / А. П. Мохирев, В. О. Мамматов, А. П. Уразаев // Международные научные исследования. – 2015. – № 3 (24). – С. 72-74.

9. Патент на изобретение RU 2468573 C2. Способ наведения рабочего органа манипулятора лесной машины на объект [Текст] / Л. Н. Шобанов, А. И. Шургин. – № 2468573; заявл. 18.11.2010; опубл. 10.12.2012.

10. Зрительное утомление человека-оператора в процессе восприятия информации с электронных дисплеев [Текст] / И. В. Петухов [и др.] // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. – 2014. – № 2. – С. 87-94.

11. Посметьев, В. И. Оценка актуальности и обоснование выбора схемы лесовозного автомобиля с дистанционным управлением [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7. – № 1 (25). – С. 211-218.

12. Шегельман, И. Р. Техническое оснащение современных лесозаготовок [Текст] / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, О. Н. Галактионов. – СПб. : ПРОФИ – ИНФОРМ, 2005. – 337 с.

13. Ширнин, Ю. А. Автоматизация отбора деревьев при выборочных рубках леса [Текст] / Ю. А. Ширнин, Л. А. Стешина, И. О. Танрывердиев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014. – № S2. – С. 19-23.

14. Aschoff, T. Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data [Text] / T. Aschoff, H. Spiecker // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. – 2004. – No. 36. P. 71-75.

15. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests [Text] / J. Hyyppa [et al.] // Int. J. Remote Sens. – 2008. – No. 29. – P. 1339-1366.

16. Analysis of human-operated motions and trajectory replanning for kinematically redundant manipulators [Text] / U. Mettin, S. Westerberg, A. S. Shiriaev, P. X. La Hera // Proceedings of the 2009 IEEE / RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, St. Louis, MO, USA, 11-15 October 2009. – P. 795-800.

17. Substantiation and evaluation of effectiveness of perspective constructions of forest tractors ancillary equipment [Text] / V. I. Posmetyev [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11. – № 3. – P. 1840-1855.

18. Rossmann, J. Navigation of mobile robots in natural environments: Using sensor fusion in forestry. [Text] / J. Rossmann, P. Krahwinkler, C. Schlette // J. Syst. Cybern. Inform. – 2010. – No. 8. – P. 67-71.

19. Realization of a Highly Accurate Mobile Robot System for Multi Purpose Precision Forestry Applications [Text] / J. Rossmann [et al.] // Proceedings of the 2009 International Conference on Advanced Robotics, ICAR 2009, Munich, Germany, 22–26 June 2009. – P. 1-6.

20. Laser scanning measurements on trees for logging harvesting operations [Text] / Y. Zheng, J. Liu, D. Wang, R. Yang // Sensors. – 2012. – No. 12. – P. 9273-9285.

References

1. Baykova E. S., Mugin O. O., Tsyganov D. I. *Razvitie issledovaniy v sfere robototekhniki v organizatsiyakh FANO Rossii* [Development of research in the field of robotics in the organizations of the Russian Academy of Sciences] *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of SFU. Technical science]. 2016. No. 1 (174). P. 219-227.

2. Barabanov D. V., Mukhanov N. V. *Obzor sistem pozitsionirovaniya primenyaemykh pri sozdanii robotizirovannykh ustanovok* [A review of the positioning systems used to create robotic installations] *V sbornike: Nauka i molodezh': novye idei i resheniya v APK Sbornik materialov Vserossiyskikh nauchno-metodicheskikh konferentsiy s mezhdunarodnym uchastiem*. [In the collection: Science and youth: new ideas and solutions in the agro-industrial complex Collected materials of All-Russian scientific and methodological conferences with international participation]. 2016. P. 233-235.

3. Shegel'man I. R., Laurila Ya. T, Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Innovatsionnye tekhnologii lesosechnykh rabot: uchebnoe posobie* [Innovative technologies of logging operations]. Petrozavodsk: Verso, 2016. 134 p.

4. Karpachev S. P. *Distantsionnoe upravlenie mashinami obespechivaet bezopasnost' truda v lesu* [Remote control of machines ensures labor safety in the forest]. Lesopromyshlennik. 2008. February-March (45). P. 28-29.

5. Lastochkin D. M., Onuchin E. M. *Issledovanie nagruzhennosti prostranstvenno-privodnogo mekhanizma zakhvatno-srezayushchego ustroystva* [Investigation of the loading of the space-driven mechanism of the gripper-cutting device] *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Political electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]. 2013. No. 91. P. 731-741.

6. Mokhirev A. P. *Metodika vybora lesozagotovitel'nykh mashin pod prirodno-klimaticheskie usloviya* [Methods of selecting logging machines for natural and climatic conditions] *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Lesotekhnichesky Journal]. 2016. Vol. 6. No. 4 (24). P. 208-215.

7. Mokhirev A. P., Goryaeva E. V., Medvedev S. O. *Otsenka tekhnologicheskikh protsessov lesozagotovitel'nykh predpriyatiy* [Evaluation of technological processes of logging enterprises] *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Lesotekhnichesky Journal]. 2016. Vol. 6. No. 4 (24). P. 139-147.

8. Mokhirev A. P., Mammatov V. O., Urazaev A. P. Modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa raboty lesozagotovitel'nykh mashin [Modeling of technological process of forest machines operation]. Mezhdunarodnye nauchnye issledovaniya [International scientific research]. 2015. No. 3 (24). P. 72-74.

9. Shobanov L. N., Shurgin A. I. Patent na izobretenie RU 2468573 S2. *Sposob navedeniya rabochego organa manipulyatora lesnoy mashiny na ob"ekt* [The way to set the working element of the manipulator of the forest machine to the object]. No. 2468573, 2012.

10. Petukhov I. V. [et al.] *Zritel'noe utomlenie cheloveka-operatora v protsesse vospriyatiya informatsii s elektronnykh displeev* [Visual fatigue of the human operator in the process of perceiving information from electronic displays] *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika* [Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Physics and Mathematics]. 2014. No 2. P. 87-94.

11. Posmet'ev V. I., Nikonov V. O., Posmet'ev V. V. *Otsenka aktual'nosti i obosnovanie vybora skhemy lesovoznogo avtomobilya s distantsionnym upravleniem* [Assessment of the relevance and justification of the choice of the scheme of a forest vehicle with remote control] *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Lesotekhnichesky Journal]. 2017. Vol. 7. No. 1 (25). P. 211-218.

12. Shegel'man I. R., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Tekhnicheskoe osnashchenie sovremennykh lesozagotovok* [Technical equipment of modern logging]. SPb.: PROFI – INFORM, 2005. 337 p.

13. Shirnin Yu. A., Steshina L. A., Tanryverdiev I. O. *Avtomatizatsiya otbora derev'ev pri vyborochnykh rubkakh lesa* [Automation of tree selection in selective logging] *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. [Bulletin of Moscow State University – Forest Bulletin]. 2014. No. S2. P. 19-23.

14. Aschoff T., Spiecker H. Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2004. 36. 71-75.

15. Hyyppa J. [et al]. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. Int. J. Remote Sens 2008, 29, 1339-1366.

16. Mettin U., Westerberg S., Shiriaev A. S., La Hera P. X. Analysis of human-operated motions and trajectory replanning for kinematically redundant manipulators. Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, St. Louis, MO, USA, 11-15 October 2009. P. 795-800.

17. Posmetyev V. I. [et al.] Substantiation and evaluation of effectiveness of perspective constructions of forest tractors ancillary equipment. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. № 3 P. 1840-1855.

18. Rossmann J., Krahwinkler P., Schlette C. Navigation of mobile robots in natural environments: Using sensor fusion in forestry. J. Syst. Cybern. Inform 2010, 8, 67-71.

19. Rossmann J. [et al.] Realization of a Highly Accurate Mobile Robot System for Multi Purpose Precision Forestry Applications. Proceedings of the 2009 International Conference on Advanced Robotics, ICAR 2009, Munich, Germany, 22-26 June 2009. P. 1-6.

20. Zheng Y., Liu J., Wang D., Yang R. Laser scanning measurements on trees for logging harvesting operations. Sensors 2012, 12, 9273-9285.

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович – доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru

Мохирев Иван Александрович – учащийся КГАОУ «Краевая школа-интернат по работе с одарёнными детьми «Школа космонавтики», Железногорск, Российская Федерация; e-mail: mohirevivan@yandex.ru

Морозов Дмитрий Михайлович – студент магистратуры Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: dima-morozov-1992@mail.ru

Information about authors

Mokhirev Aleksandr Petrovich – Associate Professor of the Department of Logging Technology and Woodworking Production, Lesosibirsk Branch «Reshetnev Siberian State University of Science and Technology», Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lesosibirsk, Russia; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru

Mokhirev Ivan Aleksandrovich – student of "Regional boarding school for gifted children "School of cosmonautics", Zheleznogorsk, Russia; e-mail: mohirevivan@yandex.ru

Morozov Dmitry Mikhailovich – magister of Lesosibirsk branch of "Siberian state University of science and technology named after academician M. F. Reshetnev", Lesosibirsk, Russia; e-mail: dima-morozov-1992@mail.ru