

СУПЕРВИЗОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ МАШИН ЛЕСОЗАГОТОВОК И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

А.В. Сиротов, А.С. Лапин, А.Ю. Тесовский,
Ф.А. Карчин, М.С. Усачев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

sirotov@mgul.ac.ru

Приведены структурные схемы автоматизированной системы управления технологическими процессами и информационными потоками лесопромышленной деятельности. Представлены объекты и метод исследования. Установлено, что в настоящее время в России все большее распространение принимает сортиментная заготовка древесного сырья и, соответственно, специальные лесные машины — харвестеры. Выявлено, что одним из основных преимуществ харвестеров являются автоматизированные функции, которые позволяют системе управления оптимизировать раскрой ствола дерева с учетом цены сортимента и его оптимальных параметров. Установлено, что большинство харвестеров, находящихся в эксплуатации, оборудовано харвестерными головками с механизмом протаскивания непрерывного действия. Показано, что снижение производственных и ресурсных потерь, сохранение природной среды и адекватных мер воспроизводства древесных ресурсов становится возможным за счет перевода управления лесопромышленными процессами на качественно новый уровень за счет применения современных автоматизированных систем управления технологическими процессами и информационными потоками (АСУТП ИП). На основании проведенного анализа была предложена система поддержки принятия решений (СППР), обеспечивающей поддержку операторской деятельности и модель принятия решения о назначении рубки дерева.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления технологическими процессами и информационными потоками, автоматизация, машины лесозаготовок и лесного хозяйства, система поддержки принятия решений, супервизорное управление

Ссылка для цитирования: Сиротов А.В., Лапин А.С., Тесовский А.Ю., Карчин Ф.А., Усачев М.С. Супервизорное управление исполнительными механизмами машин лесозаготовок и лесного хозяйства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-121-128

Планирование современных технологических процессов лесосечных работ следует проводить таким образом, чтобы при выполнении каждой рабочей операции и всего их комплекса в нормальном производственном режиме при существующих видах рубок исключалось недопустимое отрицательное воздействие на все элементы биогеоценозов.

Технологические процессы заготовки древесного сырья классифицируют по виду продукта, вывозимого с лесосеки: хлысты, сортименты, деревья, щепа [1].

В соответствии с законом 415-ФЗ в Лесной кодекс Российской Федерации были внесены изменения — новые главы и дополнения, касающиеся создания единой государственной автоматизированной информационной системы (ЕГАИС) учета древесины и сделок с ней, введения новых правил учета, фиксации определения сортиментного объема, маркировки древесины и введения новых требований к транспортировке и учету сделок с ней. Так, согласно закону 415-ФЗ, вводится обязательность учета всей срубленной древесины, наличия документов, подтверждающих законность заготовленной древесины, выполнения всех мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов, обязательность составления сопроводительных документов при транспортировке древесины любым видом транспорта, поштучной

маркировки древесины ценных лесных пород и декларирования сделок в ЕГАИС [2, 3].

“Лесозаготовительные работы выполняются по четырем типам технологических процессов, которым при систематизации были присвоены соответствующие обозначения: ТП1, ТП2, ТП3, ТП4. Каждый технологический процесс направлен на заготовку древесного сырья в определенном виде:

- ТП 1 — заготовка и вывозка деревьев с кроной;
- ТП 2 — заготовка и вывозка хлыстов;
- ТП 3 — заготовка и вывозка сортиментов;
- ТП 4 — заготовка и вывозка технологической щепы” [4].

Цель работы

Цель работы — разработка концепции супервизорного управления исполнительными механизмами машин лесозаготовок и лесного хозяйства.

Объекты и методика исследований

“В настоящее время в России все большее распространение принимает сортиментная заготовка древесного сырья и, соответственно, специальные лесные машины — харвестеры” [4].

В настоящее время большинство харвестеров, находящихся в эксплуатации, оборудовано харвестерными головками с механизмом протаскивания непрерывного действия.



Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления технологическими процессами и информационными потоками лесопромышленной деятельности [7]

Fig. 1. Block diagram of an automated control system for technological processes and information flows of forestry activities [7]

“В конструкциях харвестеров применяются три типа гидроманипуляторов:

- шарнирно-сочлененные (надежны и способны воспринимать большие нагрузки);
- телескопические (обладают высокой кинематической точностью, компактностью);
- комбинированные (имеют шарнирное соединение телескопической рукояти и стрелы, объединяют в себе достоинства шарнирно-сочлененных и телескопических манипуляторов);
- параллельные (рукоять с помощью гидроцилиндра перемещения и механизма стабилизации движется прямолинейно по отношению к поверхности земли и обеспечивает легкое наведение на дерево; удобны в использовании, производительны)”.

В результате проведенного анализа использования “различных типов гидроманипуляторов на предприятиях лесной промышленности (на основе анализа спроса и предложения на рынке) можно сказать, что наибольшее распространение получили комбинированные и параллельные типы гидроманипуляторов — до 80 %. Шарнирно-сочлененные и телескопические манипуляторы относительно редки — до 20 %” [4].

Одним из основных “преимуществ харвестеров являются автоматизированные функции, которые позволяют системе управления оптимизировать раскрой ствола дерева с учетом цены сортимента и его оптимальных параметров. Автоматические

функции” харвестерной “головки, такие, как” корректная регулировка “давления сучкорезных ножей и возврат харвестерной головки, повышают” эффективность “работы и не отвлекают оператора от процесса выбора места для валки следующего дерева” [5, 6].

“Снижение производственных и ресурсных потерь, сохранение природной среды и адекватных мер воспроизводства древесных ресурсов” становится возможным за счет “перевода управления лесопромышленными процессами на качественно новый уровень за счет применения современных автоматизированных систем управления технологическими процессами и информационными потоками (АСУТП ИП)” [7].

Данный класс систем ориентирован на решение следующих задач:

- по консолидации геоинформационных данных (карт, материалов дистанционного зондирования земли, аэрофотосъемки, лазерно-локационной съемки);
- по формированию информационной модели участка лесного массива, учитывающей точечное расположение деревьев, их таксационных параметров и оценивающей объем сортиментного выхода;
- по формированию вариантов потенциально возможных технологических процессов лесопользования на заданном участке;

– обозначению конкретных деревьев, подлежащих рубке, согласно требованиям, сформированным автоматизированной системой планирования и потребности в материалах — MRP;

– оптимизации путей следования машин лесозаготовок и лесного хозяйства;

– автоматизированной маркировке и учету перемещения лесоматериалов.

Структурную схему автоматизированной системы управления технологическими процессам и информационными потоками лесопромышленной деятельности можно представить в виде (рис. 1) [7].

“Технологический процесс работы харвестера состоит из” следующих операций: “перезды лесозаготовительной машины по лесосеке, спиливание деревьев, обрезка сучьев, раскряжевка хлыстов на сортименты и их пакетирование” [8–11].

Реализация методики и алгоритма оценки доступности деревьев является крайне важным условием для успешного и эффективного функционирования АСУТП ИП лесопромышленной деятельности.

Для решения данной задачи можно применять карты выдела с предоставлением пользователю возможности на основе визуального представления имитируемого древостоя изменить назначения деревьев в рубку, в зависимости от их расположения, либо по другим критериям.

Данная “методика дает возможность проводить оценку доступности деревьев, назначаемых в рубку, за счет сравнения их координат с координатами перемещающейся по насаждению машины. Участок леса, на котором моделируется рубка, задается рядом параметров” [15] на основе данных геоинформационных систем и лазерно-локационной съемки [12–14].

“Положение деревьев первоначально задается в декартовой системе координат” (рис. 2).

“Перемещение” харвестера “по насаждению выражается изменением его координат. Расстояние между рабочими стоянками харвестера назначается в зависимости от максимального вылета манипулятора, почвенно-грунтовых условий и параметров насаждения. При этом” следует “создавать непрерывную зону обработки.

Положение деревьев относительно машины” лесозаготовки “задается в полярной системе координат с центром на оси поворотной колонны” (рис. 3).

“Применение полярной системы координат, кроме решения задачи оценки доступности дерева для захвата и срезания, позволит в процессе моделирования получить данные для расчета производительности машины” лесозаготовки, “так как модуль радиус-вектора $|R_i|$ равен вылету манипулятора при захвате дерева, а полярный угол — углу между осями волока и манипулятора:

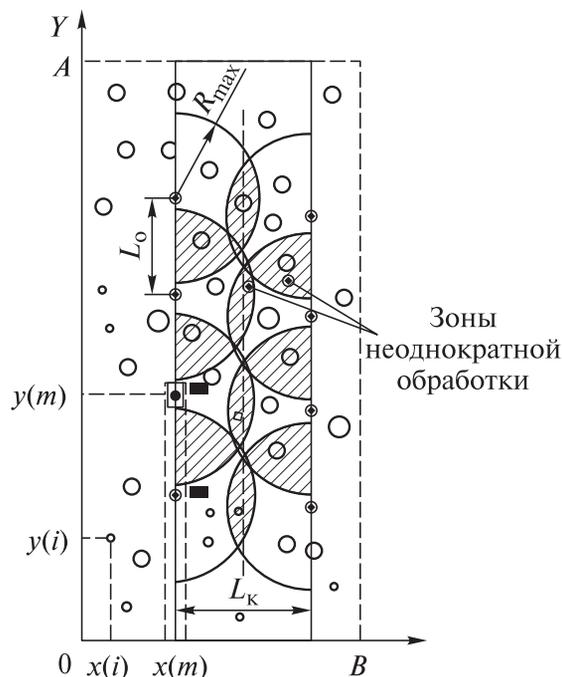


Рис. 2. Схема процесса назначения области работы харвестера [15]

Fig. 2. Diagram of assigning a harvester work area process [15]

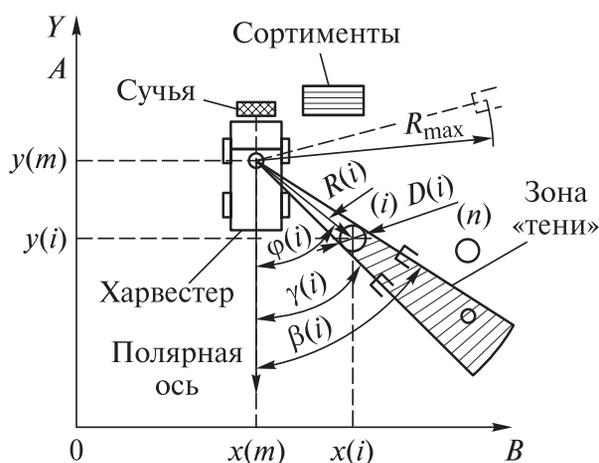


Рис. 3. Схема определения расположения срезаемых деревьев [15]

Fig. 3. Scheme for determining the location of cut trees [15]

$$|R_i| = \sqrt{(y_m - y_i)^2 + (x_i - x_m)^2};$$

$$\phi_i = \cos^{-1} \frac{(y_m - y_i)}{|R_i|},$$

где m — номер стоянки харвестера;
 i — номер дерева;
 x_m, y_m — координаты харвестера;
 x_i, y_i — координаты дерева;
 R_i — вылет манипулятора харвестера.

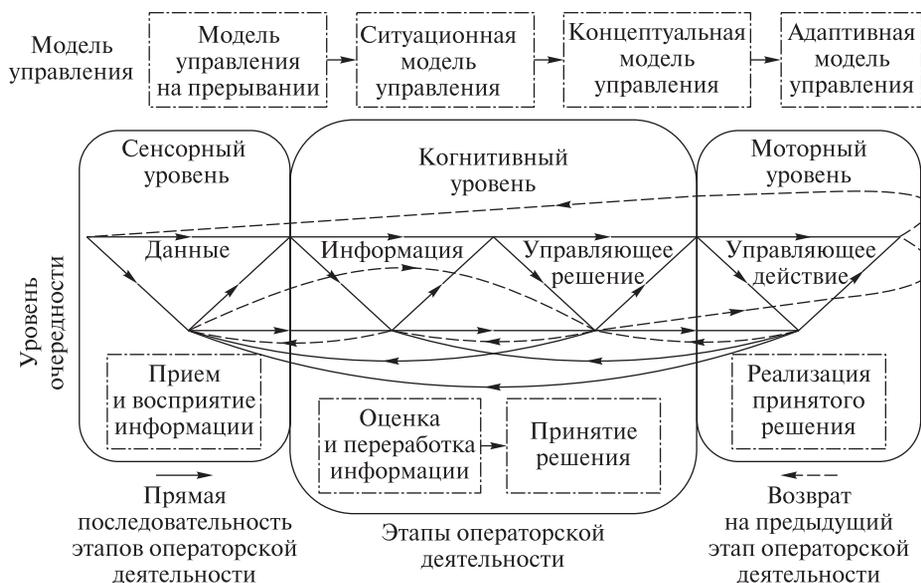


Рис. 4. Системная модель функций оператора [21]

Fig. 4. System model of operator functions [21]

Каждое дерево, которое не подлежит рубке, образует зону «тени». Оказавшиеся в этой зоне «деревья не могут быть захвачены с данной стоянки харвестера». «Границы этой зоны определяются полярными углами β_i и γ_i », значение «которых зависит от диаметра ствола дерева D_i и его расстояния от машины лесозаготовки:

$$\beta_i = \varphi_i + \sin^{-1} \frac{D_i}{2 \cdot |R_i|};$$

$$\gamma_i = \varphi_i - \sin^{-1} \frac{D_i}{2 \cdot |R_i|}.$$

Таким образом, сформулируем условия доступности n -го дерева, назначенного в рубку, для захвата и срезания.

Дерево должно находиться в рабочей зоне манипулятора: $|R_i| \leq R_{\max}$, где R_{\max} — максимальный вылет манипулятора машины лесозаготовки.

Приведенное ниже неравенство не выполняется ни разу для всех оставляемых для дальнейшего роста деревьев, модули радиус-векторов которых меньше, чем у него: $\gamma_i < \varphi_n < \beta_i$ [15].

Таким образом, учитывается «непрямолинейность движения» харвестера и возможность того, что «отдельные деревья можно обработать с двух позиций машин лесозаготовки и более, в том числе, расположенных на соседних волоках» [15].

Автоматизация технологической операции по раскряжке древесины подразумевает не только проведение раскряжки, но и внедрение методики выявления и определения характеристик внутренних пороков древесины (гнили, сучков, трещин) на основе самообучающейся системы распознавания образов, сформированных рент-

генотелевизионным комплексом в процессе сканирования.

Полученная после дефектоскопии информация сохраняется на специальных метках. В качестве таких меток могут выступать носители информации на основе технологии Radio Frequency Identification (RFID). Так, форвардер, осуществляя сбор сортиментов, может сразу проводить их сортировку на основании информации, считываемой с RFID-метки, установленной харвестером на этапе раскряжки [16–18].

Результаты и обсуждение

«Недостатком существующей» технологии «и в целом системы управления валочно-сучкорезно-раскряжевой машины является ручное наведение харвестерной головки на дерево, что требует» высокого уровня профессиональной подготовки оператора, концентрации внимания «на движениях и часто приводит к неточности их выполнения», снижению функциональной надежности «оператора, повреждением стволов деревьев и харвестерной головки, снижению производительности» [8].

Влияние индивидуальных особенностей машины и человека в системе различно. В зависимости от стажа работы, квалификации и других факторов, в результате процессов, происходящих в сознании, находят новые решения, которые сложнее поддаются прогнозированию [19, 20].

«Согласно современным представлениям, работу оператора можно представить в виде системной модели» (рис. 4), применяемой «к большинству типичных действий оператора.

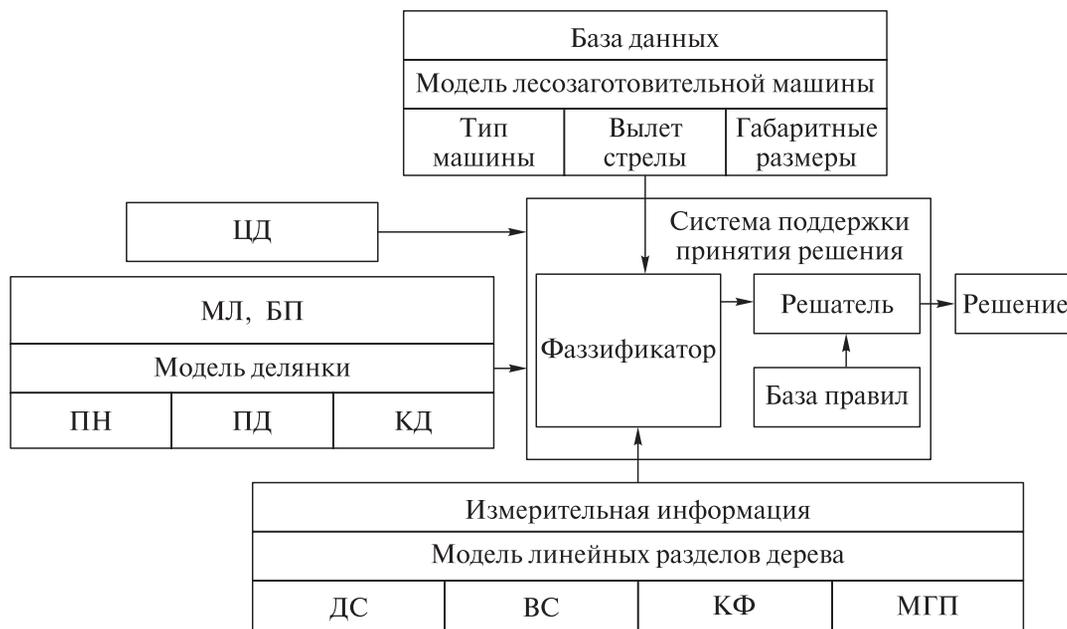


Рис. 5. Концептуальная модель системы поддержки принятия решений деятельности оператора: ЦД — цель деятельности; МЛ — модель линейных размеров дерева; БП — база правил назначения рубки; МЛМ — модель лесозаготовительной машины; ПН — плотность насаждений; ПД — порода дерева; КД — количество деревьев, обнаруженных в площади обзора измерителя; ДС — диаметр ствола на высоте; ВС — расчетная высота ствола; КФ — коэффициенты формы; МГП — матрица глубины пространства, полученная оптическими средствами измерения [21]

Fig. 5. Conceptual model of the operator's decision-making support system: ЦД — the purpose of the activity; МЛ — a model of the linear dimensions of the tree; БП — base of rules for the designation of felling; МЛМ — model of a logging machine; ПН — the density of plantings; ПД — wood species; КД — the number of trees found in the meter's viewing area; ДС — trunk diameter at height; ВС — estimated barrel height; КФ — form coefficients; МГП — matrix of the depth of space, obtained by optical measuring instruments [21]

Циклограмма работы оператора валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСРМ) свидетельствует о том, что наибольшую сложность для оператора представляют дополнительные операции, длительность выполнения которых” непосредственно “зависит от квалификации оператора и опыта работы и определяет эффективность работы ВСРМ.

В исследовании зависимости производительности операторов лесозаготовительных машин от их опыта работы, проведенном НИИ леса Финляндии” (Metsäntutkimuslaitos, известное как Metla), “было выявлено, что в среднем операторы харвестеров выходят на 90%-й уровень средней выработки только к девятому месяцу работы, а на 100%-й — только на тринадцатый месяц. Применение компьютерного интеллекта к задачам обеспечения деятельности оператора и систем управления является важнейшим резервом повышения эффективности и безопасности” эргатической системы управления (ЭСУ) [21].

“Таким образом, предложено использование системы поддержки принятия решений (СППР),

обеспечивающей поддержку операторской деятельности.

Модель принятия решения о назначении рубки дерева представлена в виде теоретико-множественной концептуальной модели” (рис. 5) [21].

Выводы

Современные машины лесозаготовок представляют собой сложные электрогидравлические механизмы. Рабочий цикл таких машин приводит к увеличению скорости перехода между функциональными операциями и режимами работы и нагрузки интеллектуального характера на оператора. В связи с этим при создании новых и модернизации существующих лесозаготовительных машин возникает классическая задача снижения нагрузки на оператора для человеко-машинных систем, а также уменьшения количества принятых решений для типовых задач. Многие операции, выполняемые машинами лесозаготовок, не требуют выборных решений оператора, выполняются по единому алгоритму и требуют высокой точности и внимательности, а значит, могут быть автоматизированы и роботизированы [22–25].

Список литературы

- [1] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation studies on line intersect sampling of residues left after cut-to-length logging // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, t. 41, no. 1, pp. 95–107.
- [2] Симоненков М.В., Салминен Э.О., Бачериков И.В. Основы для разработки системы мониторинга перемещения и поштучной автоматической идентификации круглых лесоматериалов в цепи поставок // *Resources and Technology*, 2016. Т. 13. № 4. С. 12–26.
- [3] Макуев В.А., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Управление парком лесных машин // *Леспроектинформ*, 2015. № 5. С. 98.
- [4] Колесников П.Г., Мошкин Д.В., Моисеев Г.Д. Анализ конструкций гидроманипуляторов харвестеров // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2016. № 45. С. 5–7.
- [5] Shilovsky V., Pitukhin A., Kostyukevich V. Maintenance Performance of Imported Forest Machines in the Russian Federation // *Resources and Technology*, 2013, no. 10, pp. 139–150.
- [6] Иванов В.А., Степанищева М.В., Кепеть И.И. Системный анализ работы комплекса машин лесозаготовительного производства // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2015. № 42. С. 5–8.
- [7] Казаков Н.В., Абузов А.В. Автоматизированные системы управления процессами промышленного лесопользования // *Инженерный вестник Дона*, 2014. № 2. С. 99–106.
- [8] Робот — друг лесоруба // *Лесозаготовка. Бизнес и профессия*. URL: <http://lesozagotovka.com/rybriki/nauka-proizvodstvu/robot-drug-lesoruba/> (дата обращения 15.10.2020).
- [9] Häkli J., Sirkka A., Jaakkola K., Puntanen V., Nummala K. Challenges and Possibilities of RFID in the Forest Industry // *Radio Frequency Identification from System to Applications*, Mamun Bin Ibne Reaz, 2013, pp. 302–323. DOI: 10.5772/54205
- [10] Schraml R., Hofbauer H., Petutschnigg A., Uhl A. Tree log identification based on digital cross-section images of log ends using fingerprint and iris recognition methods // *Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP'15)*, Valetta, Malta, 2015, pp. 752–765.
- [11] Mikita T., Klimánek M., Cibulka M. Evaluation of airborne laser scanning data for tree parameters and terrain modelling in forest environment // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2013, v. 5, pp. 1339–1347.
- [12] Стариков А.В., Батурич К.В. Применение лазерного сканирования в технологии учета древесины // *Лесотехнический журнал*, 2015. Т. 5. № 4. С. 114–122.
- [13] Kohl M., Magnussen S., Marchetti M. Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory. Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg, 2006, 376 p.
- [14] Leeuwen M., Nieuwenhuis M. Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing // *European J. of Forest Reserch*, 2010, v. 129, no. 4, pp. 749–770.
- [15] Чайка О.П. Методика оценки доступности деревьев для захвата при моделировании работы харвестера // *ИВУЗ. Лесной журнал*, 2011. № 2. С. 89–91.
- [16] Фролов И.С. Использование рентгенотелевизионного оборудования для дефектоскопии внутренних пороков круглых лесоматериалов // *Лесотехнический журнал*, 2016. Т. 6. № 3. С. 135–141.
- [17] Hartmann C.S., Brown P., Bellamy J. Design of global SAW RFID tag // *Proceedings of 2nd International Symposium Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communications Systems*, Chiba, Japan, 2004, pp. 15–19.
- [18] Pirotti F., Grigolato S., Lingua E., Sitzia T., Tarolli P. Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Sciences // *Italian J. of Remote Sensing*, 2012, v. 44, pp. 109–123.
- [19] Макуев В.А., Дац Ф.А., Клубничкин В.Е. Обучение человека-оператора как основная задача управления зарубежной лесозаготовительной техникой // *Тр. Междунар. симп. «Надежность и качество»*, 2010. Т. 2. С. 36–38.
- [20] Shabaev A., Sokolov A., Urban A., Pyatin D. Mathematical model and numerical methods of the wood harvesting machines scheduling // *Resources and Technology*, 2018, no. 15, pp. 23–38.
- [21] Ширнин Ю.А., Стешина Л.А., Танрывердиев И.О. Автоматизация отбора деревьев при выборочных рубках леса // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*, 2014. Т. 18. № S2. С. 19–23.
- [22] Карчин Ф.А., Лапин А.С., Тесовский А.Ю. Пути повышения конкурентоспособности машин лесозаготовок и лесного хозяйства // *Тр. Междунар. симп. «Надежность и качество»*, 2014. Т. 2. С. 207–210.
- [23] Тесовский А.Ю., Лапин А.С. Организация информационного обмена при техническом обслуживании и ремонте машин лесозаготовок и лесного хозяйства // *Техника и оборудование для села*, 2014. № 2. С. 42–44.
- [24] Sirotoev A.V., Usachev M.S., Tesovsky A.Yu., Karchin F.A., Lapin A.S. Automated system of information support for the engineering of logging and forestry on the base on an unmanned platform // *XLIII Academic Space Conference AIP Conference Proceedings 2171*, 110006, 2019. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5133240> (дата обращения 15.03.2021).
- [25] Арико С.Е. Анализ конструкции харвестерных машин // *Тр. Белорусского государственного технологического университета. Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*, 2009. № 2. С. 76–81.

Сведения об авторах

Сиротов Александр Владиславович — д-р техн. наук, зав. кафедрой ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), sirotov@mgul.ac.ru

Лاپин Андрей Сергеевич — ведущий инженер лаборатории кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), lapin@mgul.ac.ru

Тесовский Александр Юрьевич — ст. преподаватель кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tau@bmstu.ru

Карчин Федор Анатольевич — зав. лабораторией кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), karchin@mgul.ac.ru

Усачев Максим Сергеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), usachev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 18.02.2021.

Принята к публикации 31.03.2021.

SUPERVISORY CONTROLLED FOREST MACHINES

A.V. Sirotov, A.S. Lapin, A.Yu. Tesovskiy, F.A. Karchin, M.S. Usachev

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

sirotov@mgul.ac.ru

The article presents structural diagrams of an automated control system for technological processes and information flows of logging operations. The article includes subject and research methodology. The study in a field of logging operations confirms the fact of increasing rate of using special forest machinery like forest harvesters for conducting timber-logging operations. One of the main advantages of forest harvesters is the automated functions that allow the control system to optimize the cutting of the tree trunk, taking into account the price of the assortment and its optimal parameters. The majority of forest harvesters in service are equipped with a continuous pull-through harvesting head. It is shown that reducing production and resource losses, preserving the natural environment and adequate measures for the reproduction of wood resources becomes possible due to the transfer of management of forestry processes to a qualitatively new level through the use of modern automated control systems for technological processes and information flows (APCS IP). The development of a software decision support system (DSS) was conducted according to the results of the data process analysis. The automated decision support system provides support for operator activities and a model for making a decision on the appointment and execution of timber-logging operations.

Keywords: process automation systems, dataflow, industrial automation, forest machines, automated decision making, supervisory control

Suggested citation: Sirotov A.V., Lapin A.S., Tesovskiy A.Yu., Karchin F.A., Usachev M.S. *Supervizornoe upravlenie ispolnitel'nyimi mekhanizmami mashin lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Supervisory controlled forest machines]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-121-128

References

- [1] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation studies on line intersect sampling of residues left after cut-to-length logging // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, t. 41, no. 1, pp. 95–107.
- [2] Simonenkov M.V., Salminen E.O., Bacherikov I.V. *Osnovy dlya razrabotki sistemy monitoringa peremeshcheniya i poshtuchnoy avtomaticheskoy identifikatsii kruglykh lesomaterialov v tsepi postavok* [Basis for development of timber traceability system with automatic identification of individual logs in supply chain]. *Resources and Technology*, 2016, v. 13, no. 4, pp. 12–26.
- [3] Makuev V.A., Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I. *Upravlenie parkom lesnykh mashin* [Forest machine fleet management]. *Lesprominform*, 2015, no. 5, p. 98.
- [4] Kolesnikov P.G., Moshkin D.V., Moiseev G.D. *Analiz konstruksiy gidromanipulyatorov kharvesterov* [Structural analysis of cranes harvesters]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Modern challenges of the forest industry], 2016, no. 45, pp. 5–7.
- [5] Shilovsky V., Pitukhin A., Kostyukevich V. Maintenance Performance of Imported Forest Machines in the Russian Federation. *Resources and Technology*, 2013, no. 10, pp. 139–150.
- [6] Ivanov V.A., Stepanishcheva M.V., Kepet' I.I. *Sistemnyy analiz raboty kompleksa mashin lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [System analysis of work complex machines timber production]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Modern challenges of the forest industry], 2015, no. 42, pp. 5–8.

- [7] Kazakov N.V., Abuzov A.V. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya protsessami promyshlennogo lesopol'zovaniya* [Process automation systems for forest industry]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2014, no. 2, pp. 99–106.
- [8] *Robot — drug lesoruba* [Robot as an assistant to forester]. *Lesozagotovka. Biznes i professiya* [Logging business and career] Available at: <http://lesozagotovka.com/rybriki/nauka-proizvodstvu/robot-drug-lesoruba/> (accessed 15.10.2020).
- [9] Häkli J., Sirkka A., Jaakkola K., Puntanen V., Nummila K. Challenges and Possibilities of RFID in the Forest Industry. *Radio Frequency Identification from System to Applications*, Mamun Bin Ibne Reaz, 2013, pp. 302–323. DOI: 10.5772/54205
- [10] Schraml R., Hofbauer H., Petutschnigg A., Uhl A. Tree log identification based on digital cross-section images of log ends using fingerprint and iris recognition methods. *Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP'15)*, Valetta, Malta, 2015, pp. 752–765.
- [11] Mikita T., Klimánek M., Cibulka M. Evaluation of airborne laser scanning data for tree parameters and terrain modelling in forest environment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2013, v. 5, pp. 1339–1347.
- [12] Starikov A.V., Baturin K.V. *Primenenie lazernogo skanirovaniya v tekhnologii ucheta drevesiny* [The use of laser scanning technology of accounting for wood]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry engineering journal], 2015, v. 5, no. 4, pp. 114–122.
- [13] Kohl M., Magnussen S., Marchetti M. *Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory*. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg, 2006, 376 p.
- [14] Leeuwen M., Nieuwenhuis M. Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. *European J. of Forest Reserch*, 2010, v. 129, no. 4, pp. 749–770.
- [15] Chayka O.R. *Metodika otsenki dostupnosti derev'ev dlya zakhvata pri modelirovanii raboty kharvestera* [Technique of Tree Availability of Engineering and Technology]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2011, no. 2, pp. 89–91.
- [16] Frolov I.S. *Ispol'zovanie rentgenotelevizionnogo oborudovaniya dlya defektoskopii vnutrennikh porokov kruglykh lesomaterialov* [The use of portable x-ray equipment for detection of inner defects of timber wood]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry engineering journal], 2016, v. 6, no. 3, pp. 135–141.
- [17] Hartmann C.S., Brown P., Bellamy J. Design of global SAW RFID tag. *Proceedings of 2nd International Symposium Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communications Systems*, Chiba, Japan, 2004, pp. 15–19.
- [18] Pirotti F., Grigolato S., Lingua E., Sitzia T., Tarolli P. Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Sciences. *Italian J. of Remote Sensing*, 2012, v. 44, pp. 109–123.
- [19] Makuev V.A., Dats F.A., Klubnichkin V.E. *Obuchenie cheloveka-operatora kak osnovannaya zadacha upravleniya zarubezhnoy lesozagotovitel'noy tekhnikoy* [Forest machine operator training as the main goal in using foreign forest machines]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Annual International symposium Reliability and quality collected papers], 2010, v. 2, pp. 36–38.
- [20] Shabaev A., Sokolov A., Urban A., Pyatin D. Mathematical model and numerical methods of the wood harvesting machines scheduling. *Resources and Technology*, 2018, no. 15, pp. 23–38.
- [21] Shirin Yu.A., Steshina L.A., Tanryverdiev I.O. *Avtomatizatsiya otbora derev'ev pri vyborochnykh rubkakh lesa* [Automatic selection of trees in selected woodcutting]. *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2014, v. 18, no. S2, pp. 19–23.
- [22] Karchin F.A., Lapin A.S., Tesovskiy A.Yu. *Puti povysheniya konkurentosposobnosti mashin lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Improving competitiveness of the forest machines]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Annual International symposium Reliability and quality collected papers], 2014, v. 2, pp. 207–210.
- [23] Tesovskiy A.Yu., Lapin A.S. *Organizatsiya informatsionnogo obmena pri tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte mashin lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Forest machines maintenance data interchange]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and Equipment for rural area], 2014, no. 2, pp. 42–44.
- [24] Siroto A.V., Usachev M.S., Tesovsky A.Yu., Karchin F.A., Lapin A.S. Automated system of information support for the engineering of logging and forestry on the base on an unmanned platform. *XLIII Academic Space Conference AIP Conference Proceedings* 2171, 110006, 2019. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5133240>
- [25] Arikov S.E. *Analiz konstruktivnykh kharvesternykh mashin* [Forest harvesters design and engineering analysis]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Proceedings of BSTU], 2009, no. 2, pp. 76–81.

Authors' information

Siroto Aleksandr Vladislavovich — Dr. Sci. (Tech.), Head of Department of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), siroto@mgu.ac.ru

Lapin Andrey Sergeevich — Staff Engineer Laboratory of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), lapin@mgu.ac.ru

Tesovskiy Aleksandr Yur'evich — Senior Lecturer of Department of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), tau@bmstu.ru

Karchin Fedor Anatol'evich — Head of Laboratory of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10, of the BMSTU (Mytishchi branch), karchin@mgu.ac.ru

Usachev Maksim Sergeevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), usachev@mgu.ac.ru

Received 18.02.2021.

Accepted for publication 31.03.2021.