

## Развитие беспилотных транспортно-технологических систем промышленного лесопользования

*Н.В. Казаков, А.В. Абузов*

*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск*

**Аннотация:** В статье рассмотрены аспекты промышленного лесопользования на базе автоматизации управления средствами локального позиционирования, инженерных и информационных технологий беспилотной индустрии. Созданы и апробированы оригинальные алгоритмы автоматического управления беспилотными техническими системами и контактными элементами технологического оборудования под пологом леса, непосредственно реализующие операции технологического процесса. Разработаны и зарегистрированы программные комплексы для сбора данных и управления информационными потоками, обеспечивающие устойчивое функционирование средств локального позиционирования последнего поколения. Предложены конструкции, способы и архитектура беспилотных систем наземного, подвесного и воздушного типа для задач промышленного лесопользования, ухода за лесами, расположенными на особо охраняемых природных территориях и производствах, косвенно связанных с лесом или лесными землями.

**Ключевые слова:** автоматизация, цифровизация, метод, алгоритм, синтез, технология, позиционирование, способ управления, цифровая модель, моделирование.

Отечественная наука имеет надежную теорию и практику управления роботизированными системами различного назначения. Однако, целый ряд технических и экономических проблем препятствуют разработкам и не позволяют создать специальный автономный лесопромышленный робот, который мог бы успешно функционировать в реальных условиях эксплуатации под пологом леса, где нет сигнала или практическая точность доступной глобальной навигации измеряется метрами [1], а для наведения контактных элементов оборудования на объекты требуется точность, в сто раз большая. Анализ альтернативных средств динамически-глобального и локального позиционирования в реальных лесах, показали также их практическую несостоятельность, как в точности, так в сложности и стоимости их реализации [2, 3]. При этом, системе управления и сенсорному оборудованию не должны мешать осадки, туман, плохая видимость ночью или блики солнца. Известно, что на сегодняшний день пока не существует ни

одной системы технического зрения и распознавания объектов с доверительной точностью для гарантированной безопасности функционирования промышленных роботов среди людей. Фактически доступные системы технического зрения дороги и далеки от совершенства. Всегда есть и будет погрешность в точности глобальной и локальной навигации, позиционирования элементов исполнительного оборудования роботов, распознавания препятствий и других задач [4, 5]. Конечно, существуют и практически применяются алгоритмы, компенсирующие неточности позиционирования, быстро совершенствуются технические системы распознавания объектов и тому подобные алгоритмы, но они плохо приспособлены для автономных систем в условиях больших неопределенностей. Кроме того, необходимо обеспечить работоспособность БТС в автоматическом режиме управления, что предопределяет использование адаптивных беспойсковых алгоритмов с обратной связью [4, 6]. Одним из эффективных методов является использование виртуального пространства среды функционирования [5, 7].

Проведенные авторами исследования в области беспилотных транспортно-технологических систем (далее БТС) показали, что решить прикладную для промышленного лесопользования, задачу позиционирования с требуемой точностью исполнительных элементов технологического оборудования можно только при комплексном подходе к автоматизации процессов и основных операций, включая работы по информатизации лесных ресурсов и участков, как среды функционирования техники [6]. Анализ средств управления БТС показал, что в настоящее время обеспечить сантиметровую точность местоположения реальных условиях возможно только с применением локального позиционирования [3, 5, 8].

В соответствии с концепцией, комплексная автоматизация, разрабатываемая БТС, состоит из следующих основных блоков:

---

- непосредственно беспилотной транспортной системы, технологического оборудования, системы автоматического управления (далее САУ), включающей блок приборов и сенсоров, и платформу программных средств [1, 2, 9].

Для решения указанной задачи в условиях реального леса авторами предложена конструкция БТС, защищенная патентом [10], на рис. 1 показана схема БТС, где ходовая часть 1, выполнена в виде шарнирных соединений 2 модулей моногусеничных движителей и технологического оборудования 3, а бортовая информационно-управляющая система комплектуется блоком программы управления и средствами локального позиционирования.

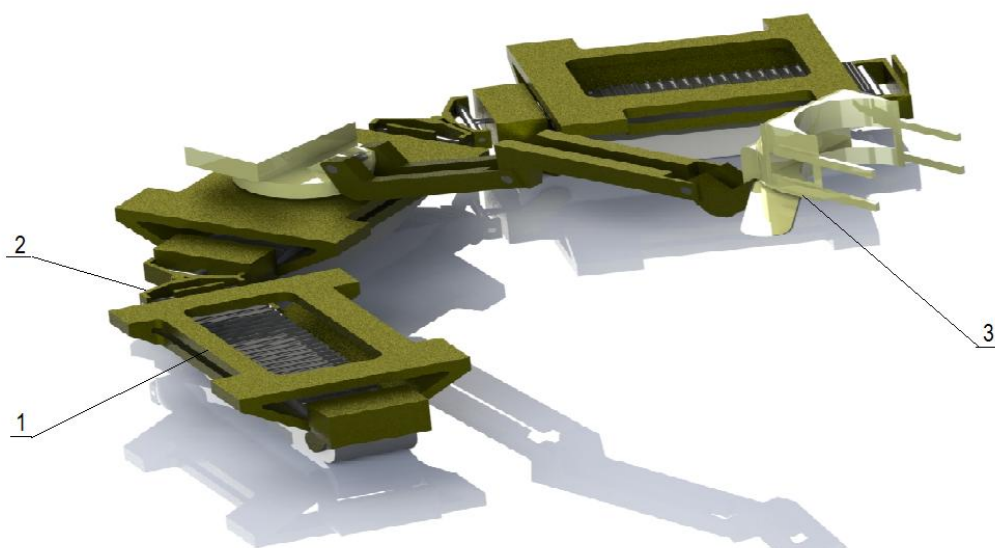


Рис.1. – Схема конструкции БТС

В процессе перемещения модули моногусеничных движителей 1 гибко копируют рельеф местности за счет шарнирных соединений 2, а на технологических стоянках блокируются подвижные элементы ходовой части силовыми приводами шарнирных соединений 2, придавая конструкции

требуемую жесткость, что обеспечивает равномерное распределение нагрузки на грунт по всей длине ходовой части и повышение устойчивости машины в процессе выполнения технологических операций. Управление модульной ходовой частью производят известным способом САУ БТС, а блокировку подвижных элементов для технологических операций выполняют после остановки и стабилизации движителей путем запираания силовых приводов в обоих направлениях движения (например для гидроцилиндров применяется сдвоенный обратный клапан), зафиксировав их в нужном положении. Затем разворачивают оборудование 3 и производят рубку деревьев известным способом.

Количество модулей моногусеничных движителей, состав и расположение технологического оборудования определяются отдельно для каждого способа лесопользования.



Рис. 2. – Фрагмент виртуального испытания управления работы технологическим оборудованием и модели БТС

БТС прошло виртуальные испытания (компьютерное 3D визуально-математическое моделирование см. рис. 2) в рамках совместного пилотного проекта с ТОГУ «Центр космических технологий».

В настоящее время прорабатывается технология испытания САУ БТС в составе экспериментального образца беспилотного управления на базе трелевочной машины отечественного производства.

Разработанный метод и алгоритм управления БТС дают возможность прецизионно выполнять технологическое задание, а также обеспечить точность позиционирования и управления под сомкнутым пологом леса, что повышает производительность, экономит энергию и время.

### Литература

1. Точность и помехозащищённость: как функционирует и развивается российская навигационная система «ГЛОНАСС» // URL: [ru.rt.com/mn73/](http://ru.rt.com/mn73/).
2. Morales D.O., Westerberg S., La Hera P.X., Mettin U., Freidovich L., Shiriaev A.S. 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. - P. 343-363.
3. Parker R., Bayne K., Clinton P.W. Robotics in forestry. New Zealand Journal of Forestry. 2016. // URL: [researchgate.net/publication/301650438/](http://researchgate.net/publication/301650438/).
4. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. - М.: Наука, 1980. -244 с.
5. 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. С. 14-18.

6. Казаков Н.В. Промышленное лесопользование. Цифровизация и автоматизация: Монография – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 188 с.

7. Боженюк А.В., Герасименко Е.М. Разработка алгоритма нахождения максимального потока минимальной стоимости в нечеткой динамической транспортной сети // Инженерный вестник Дона, 2013. № 1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1583/.

8. Садетдинов М.А., Кривошеева Р.Н. Метод реконструкции систем автоматического управления лесозаготовительных машин // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 (45) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4279.

9. Казаков Н.В., Кривошеева Р.Н. Программный комплекс для информационно-управляющей системы лесозаготовительного предприятия / Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2016617425. – М.: Роспатент. – 2016. – Бюл. №8. URL: fips.ru/iiss/document.xhtml? faces-redirect=true&id=caca71aa684a49dd9d8ce6691131debb

10. Казаков Н.В., Абузов А.В. Машина для лесопользования / Пат. 2761884 РФ, A01G 23/00. – № 2021113101; заявл. 05.05.2021. опубл.: 13.12.2021. – Бюл. №35. URL: fips.ru/registers-doc-view/fips\_servlet?DB=EVM&DocNumber=2016617425&TypeFile=html

## References

1. Tochnost' i pomehozashhishhjonnost': kak funkcioniruet i razvivaetsja rossijskaja navigacionnaja sistema «GLONASS» [Accuracy and Interference: How the Russian GLONASS navigation system functions and develops]. URL: <https://ru.rt.com/mn73/>.

2. Morales D.O., Westerberg S., La Hera P.X., Mettin U., Freidovich L., Shiriaev A.S. Journal of Field Robotics, Volume 31, Issue 3, 2014, pp. 343-363.

3. Parker R., Bayne K., Clinton P.W. New Zealand Journal of Forestry. 2016. URL: [researchgate.net/publication/301650438/](https://researchgate.net/publication/301650438/).
4. Petrov B.N., Rutkovskij V.Ju., Zemljakov S.D. Adaptivnoe koordinatno-parametricheskoe upravlenie nestacionarnymi ob'ektami [Adaptive coordinate-parametric control of non-stationary objects] M.: Nauka, 1980, 244 p.
5. Afanas'ev V.O., Brovkin A.G., Kornievskij A.N., Podobedov V.P., Semchenko V.S., Tomilin A.N. Kosmonavtika i raketostroenie. 2001, № 20 pp. 14-18.
6. Kazakov N.V. Promyshlennoe lesopol'zovanie. Cifrovizacija i avtomatizacija [Industrial forestry. Digitalisation and automation] Moskva; Vologda: Infra-Inzhenerija, 2022, 188 p.
7. Bozheniuk A.V., Gerasimenko E.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1583/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1583/).
8. Sadetdinov M.A., Krivosheeva R.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4279/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4279/).
9. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. Programmnyj kompleks dlya informacionno-upravlyayushhej sistemy` lesozagotovitel'nogo predpriyatiya [Software package for the information management system of a forestry enterprise] Rospatent, Moskva, 2016, Bjul. №8. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=EVM&DocNumber=2016617425&TypeFile=html](http://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2016617425&TypeFile=html)
10. Kazakov N.V., Abuzov A.V. Mashina dlya lesopol'zovaniya [Machine for forest management] Pat. 2761884 RF, 2021, Bjul. №35. URL: [fips.ru/iiss/document.xhtml?facesredirect=true&id=0b5f52af82900c527378f0cf5b4e9209](http://fips.ru/iiss/document.xhtml?facesredirect=true&id=0b5f52af82900c527378f0cf5b4e9209)