

**Казakov Николай Владимирович,**  
др. техн. наук, проф., «Авто-трейд», г. Хабаровск

**Садетдинов Михаил Александрович,**  
«Авто-трейд», г. Хабаровск

**Кривошеева Римма Николаевна,**  
«Авто-трейд», г. Хабаровск

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Аннотация:** Предложен способ управления автономной робототехнической системой в условиях неопределенности. Способ построен на базе алгоритма локального позиционирования, который не имеет аналогов в мире и относится к алгоритмам последнего поколения, созданных авторами на основе математического моделирования операций процесса промышленного производства в реальных условиях эксплуатации.

**Ключевые слова:** способ, алгоритм, позиционирование, автоматизация, цифровизация, моделирование.

Способ управления автономной робототехнической системой (далее АРС) в условиях неопределенности, выполнен на базе картографирования лесного участка и деревьев, заключается в применении бортовых средств локального позиционирования контактных элементов оборудования и шасси АРС [1]. Проведенные лабораторные, полевые исследования и вычислительные эксперименты с моделью системы автоматического управления (далее САУ), на базе локального позиционирования подтвердили ее эффективность в реальных условиях. Использование бортового лазерного сканера кругового обзора (далее БЛКО) в сочетании с САУ АРС, построенной на применении виртуальной среды эксплуатации АРС, потенциально обеспечит решение задачи позиционирования базы АРС и управления его исполнительного оборудования с требуемой точностью и низкими затратами.

Любой производственный процесс — это сложная многоступенчатая задача [2-4], что определяет необходимость выделения области, отражаемой в данной работе это непосредственно описание предмета труда, среды функционирования техники и операции технологического процесса [1, 5, 6]. В целях обеспечения требуемой точности локального позиционирования опорных точек АРС в условиях неопределенности и обеспечения гарантированной работоспособности АРС необходимо и достаточно применение комплексов бортовых лазерных дальномеров кругового обзора (далее БЛКО) и синхронизации данных, получаемых при обработке облаков точек с виртуальной средой цифровых двойников среды и предметов труда [1]. Основное содержание совокупности методов моделирования и управления информационными и материальными потоками, отождествляемыми с операциями производственного процесса [5, 6], а также автоматического управления функционированием АРС, раскрывается в приведенном ниже алгоритме.

Входящие в алгоритм визуально-математические модели среды функционирования и ее компонентов предложено распределить на два блока, включающих подготовительный этап и непосредственно этап локального позиционирования опорных точек автономных объектов и автоматического управления их функционированием [7, 8].

Подготовительный этап включает сбор и формализацию знаний о предмете труда, местности и прочих природно-производственных условиях, выполнение планирования операций и формирования программ автоматического управления АРС.



1) Создание визуально-математических моделей рельефа местности, на основе иерархического зондирования участков и другой доступной информации [1, 4] и др.

2) Иерархическое моделирование и планирование работ в виртуальной среде, а также формирования программ автоматического управления АРС и их исполнительного технологического оборудования [1].

3) Создание и отладка программ САУ АРС, построенных на виртуальных технологиях позиционирования, математических и пространственных моделях, определенных в п.1 и п.2, а также функциональных зависимостях исполнительного технологического оборудования подробно представленных в работах [1, 3, 4] и др.

После выполнения (п. 1-3) алгоритма, приступаем к основному этапу.

4) Прибытие АРС на стартовую точку осуществляется в соответствии с программой САУ (п.3).

5) Сканирование БЛКО (см. рис. 1) реальной среды и последующая обработка данных, а также выполнение процедуры их сравнения с данными виртуальной среды функционирования АРС и ее цифровой моделью (далее ЦМ) (п.2) осуществляется автоматически в соответствии с программой САУ АРС (п.3). В случае расхождения данных позиционирования фактической стартовой точки и ее виртуального образа (см. рис. 1) выполняется корректировка программы САУ АРС на величину стартовой ошибки позиционирования опорной точки (далее  $O^T$ ) АРС и соответственно синхронизация виртуальной и реальной среды.

б) Корректировка позиционирования опорной точки  $O^T$  АРС выполняется с учетом ограничений, накладываемых условиями реальной среды, и определяет траекторию перемещения АРС в требуемую точку (1) с мнимой стартовой точки (2):

$$(x_i, y_i, z_i), i = 0, \dots, (n-1), \quad \text{где } n - \text{узлы сетки точек траектории,} \quad (1)$$

$$(x'_i, y'_i, z'_i), i = 0, \dots, (n-1). \quad (2)$$

Преобразование данных (2) выполняются таким образом, чтобы стартовая и требуемая точки траектории после корректировки позиционирования опорной точки  $O^T$  АРС совпали, т. е. выполнялось условие (3):

$$x'_0 = x_0, y'_0 = y_0, z'_0 = z_0, x'_{n-1} = x_{n-1}, y'_{n-1} = y_{n-1}, z'_{n-1} = z_{n-1}. \quad (3)$$

Корректировка траектории позиционирования опорной точки  $O^T$  АРС производится путем её замены на полином порядка  $m$ :

$$x'_i = F_m(i) = \sum_{j=0}^m ax_j i^{m-j} \quad (4)$$

где коэффициенты полинома  $ax_j$  (здесь и далее формулы для координат  $y$  и  $z$  аналогичные) находятся из системы линейных алгебраических уравнений (5):

$$\left\{ \sum_{i=0}^{n-1} [(F_m(i) - x_i) i^{m-j}] = 0, \quad j = 0 \dots m \right. \quad (5)$$

Составляются системы линейных алгебраических уравнений (6) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{n-2} [(F_m(i) - x_i) \cdot i^{m-j}] = 0, \quad j = 0 \dots (m-2); \\ F_m(n-1) - x_{n-1} = 0, \quad (m-1); \\ F_m(0) - x_0 = 0, \quad m. \end{array} \right. \quad (6)$$



7) Перемещение АРС (осуществляется в соответствии с его программой управления) по смоделированной трассе к первой (далее  $i$ -й) технологической стоянке, где выполняет соответствующую итерацию действий, предусмотренных технологическим заданием для  $i$ -й стоянки вплоть до выполнения всей программы управления.

8) Учет всех изменений и перемещений предметов труда, а также выполняемых действий АРС регистрируется только в части их отклонения от программы САУ АРС, что позволяет фиксировать их в режиме реального времени, например, на сервере диспетчера.

Таким образом, разработанные способ и алгоритм управления АРС (обеспечивающие и необходимую точность двухкомпонентного иерархического позиционирования и управления в условиях неопределенности) дают потенциальную возможность прецизионно в автоматическом режиме выполнять технологическое задание в любое время суток.

Проведенные авторами лабораторные, полевые исследования и вычислительные эксперименты [3] с лазерными дальномерами и компьютерной моделью процесса локального позиционирования подтвердили эффективность САУ АРС, комплексированную БЛКО и виртуальной средой в реальных условиях в любое время суток. Применение разработанной конфигурации САУ АРС позволяет создать автоматически функционирующий автономный объект [7] для реальных условий на существующих машиностроительных центрах и не прибегать к разработке мобильного лесного робота с «полноценным» автономным управлением [1].

Вычислительные эксперименты с компьютерной моделью процесса управления АРС в условиях среды, в рамках указанной конфигурации и параметров прибора локального позиционирования АРС подтвердили эффективность САУ, комплексированную БЛКО и САУ с виртуальными моделями местности.

*Список литературы:*

1. Казаков Н.В. Промышленное лесопользование. Цифровизация и автоматизация: Монография – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 188 с.
2. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4279).
3. Рябухин П.Б., Кривошеева Р.Н. Программный комплекс учета и маркирования древесины. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2018615134. – М.: Роспатент. – 2018. – Бюл. №5.
4. Казаков Н.В., Абузов А.В. Автоматизированные системы управления процессами промышленного лесопользования // Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2014/2426](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2014/2426).
5. Аллакулиев Ю.Б. Идентификация системы сбора, передачи и отображения информации Узла связи Берегового центра управления автономными необитаемыми подводными аппаратами // Инженерный вестник Дона, 2019, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2019/5985](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2019/5985).
6. Бородин И.Ф., Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления : учебник для вузов / 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 386 с.
7. Parker R., Bayne K., Clinton P.W. Robotics in forestry. // New Zealand Journal of Forestry. 2016. URL: [researchgate.net/publication/301650438/](https://researchgate.net/publication/301650438/).

