
УДК 630*36

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ЛЕСНОМ И САДОВО- ПАРКОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Куницкая Ольга Анатольевна

Доктор технических наук, профессор, Арктический государственный

агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

e-mail: ola.ola07@mail.ru

Иванов Константин Леонидович

Студент, Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

e-mail: reflipforever@gmail.com

Должиков Илья Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: idolzhikov222@mail.ru

Михайлова Люция Михайловна

Аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

e-mail: lyutsiya.losotova@mail.ru

Григорьев Игорь Владиславович

Доктор технических наук, профессор, Арктический государственный

агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

e-mail: silver73@inbox.ru

Аннотация. В статье рассмотрены технологические процессы и системы машин, основанные на использовании беспилотных платформ, на колесном и гусеничном ходу. Представлена основы базы данных современных колесных и гусеничных беспилотных платформ. Представлены рекомендации по эффективному использованию беспилотных транспортно-технологических комплексов в лесном и садово-парковом хозяйстве. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического

университета. Часть материалов работы получена при выполнении исследований по гранту Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Ключевые слова: наземные беспилотные платформы, лесное хозяйство, лесные питомники, выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой, садово-парковое хозяйство.

THE USE OF UNMANNED TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL COMPLEXES IN FORESTRY AND HORTICULTURE

Kunitskaya Olga Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University

Yakutsk, Russia

e-mail: ola.ola07@mail.ru

Ivanov Konstantin Leonidovich

Student, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

e-mail: reflipforever@gmail.com

Dolzhikov Ilya Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

e-mail: idolzhikov222@mail.ru

Mikhailova Lucia Mikhailovna

Postgraduate student, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

e-mail: lyutsiya.losotova@mail.ru

Grigorev Igor Vladislavovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University

Yakutsk, Russia

e-mail: silver73@inbox.ru

Abstract. The article discusses the technological processes and systems of machines based on the use of unmanned platforms, wheeled and tracked. The basics of the database of modern wheeled and tracked unmanned platforms are presented. Recommendations on the effective use of unmanned transport and technological complexes in forestry and horticulture are presented. The work was carried out within the framework of the

scientific school "Innovative developments in the field of the logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University. Some of the materials of the work were obtained during research under the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Keywords: ground-based unmanned platforms, forestry, forest nurseries, cultivation of planting material with a closed root system, gardening.

ВВЕДЕНИЕ. Лесное и садово-парковое хозяйство играют ключевую роль в сохранении природных ресурсов, восстановлении лесов и создании комфортной городской среды [1, 2]. Лесные питомники обеспечивают производство посадочного материала, лесовосстановительные работы восполняют лесные массивы, а садово-парковое хозяйство поддерживает эстетику и экологическое равновесие городов [3]. Однако традиционные технологии в этих отраслях характеризуются высокой трудоемкостью, зависимостью от человеческого фактора и низкой эффективностью, особенно в условиях сурового климата, например, как в Республике Саха (Якутия).

Внедрение беспилотных транспортно-технологических комплексов (БТТК) открывает новые возможности для автоматизации процессов, повышения эффективности и снижения затрат. БТТК представляют собой автономные машины, оснащенные сенсорами, системами навигации и искусственного интеллектом, способные выполнять задачи без участия человека. Их применение в лесном и садово-парковом хозяйстве может радикально изменить подходы к производству, посадке и уходу за растениями [4-8].

Цель работы: Обоснование применения беспилотных транспортно-технологических комплексов в лесном и садово-парковом хозяйстве на основе анализа их технических характеристик, статистической обработки данных и разработки практических рекомендаций.

Задачи работы:

1. Изучить технологии и режимы работы лесных питомников, ручной посадки древесины и уходовых мероприятий в садово-парковом хозяйстве.
2. Рассмотреть конструкцию, функциональность и области применения беспилотных платформ.
3. Провести сравнительный анализ технических параметров БТТК и оценить их экономическую эффективность.
4. Выполнить статистическую обработку параметров платформ для определения оптимального варианта.
5. Разработать практические рекомендации по внедрению БТТК в лесное и садово-парковое хозяйство.

Объект исследования: беспилотные транспортно-технологические комплексы. Предмет исследования: применение БТТК в лесных питомниках, лесовосстановлении и садово-парковом хозяйстве.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ: анализ литературы, сравнительный анализ, статистическая обработка данных, системный подход. Работа основана на материалах по научной и технической литературе, а также данных производителей беспилотных платформ.

РЕЗУЛЬТАТЫ.

Технология и режимы работы лесных питомников

Лесные питомники являются основой лесовосстановления, обеспечивая производство саженцев и сеянцев хвойных, лиственных и декоративных пород. Технологический процесс в питомниках включает следующие этапы:

- Подготовка почвы: Вспашка, боронование, внесение минеральных и органических удобрений. В Якутии, где преобладают мерзлотные почвы, требуется предварительное рыхление и прогрев грунта.
- Посев или высадка: Семена высеваются в гряды или теплицы, черенки высаживаются в подготовленные субстраты. Используются ручные сеялки или тракторы с навесным оборудованием.
- Уход за посадками: Полив (в среднем 10–20 л/м² в неделю), прополка, рыхление почвы, защита от вредителей и болезней (например, опрыскивание фунгицидами).
- Выкопка и сортировка: Саженцы извлекаются вручную или с помощью выкопочных машин, сортируются по высоте и качеству корневой системы.
- Транспортировка: Посадочный материал доставляется к местам лесовосстановления автотранспортом или вручную.

Режимы работы: В Якутии питомники работают с апреля по сентябрь из-за короткого вегетационного периода. Основная нагрузка приходится на весну (посев, посадка) и осень (выкопка). Производительность зависит от площади питомника (от 1 до 50 га) и численности персонала (в среднем 5–15 чел./га). Средняя производительность ручного труда: 1000–2000 саженцев/чел. в день.

Проблемы: Высокая трудоемкость, неравномерность нагрузки, зависимость от погодных условий, низкая механизация (менее 30% операций автоматизированы).

1.2. Технология ручной посадки древесины на лесных участках

Ручная посадка древесины — основной метод лесовосстановления в России, особенно на малых площадях. Технология включает:

1. Подготовка участка: Очистка от порубочных остатков, разметка рядов (шаг 1,5–2 м), удаление сорняков.

2. Подготовка посадочных мест: Копка ям (глубина 30–50 см) вручную или с помощью мечей Колесова, внесение удобрений (например, 50 г НРК на яму).

3. Посадка саженцев: Саженцы с открытой корневой системой (ОКС) или закрытой (ЗКС) размещаются в ямах, корни засыпаются почвой, проводится уплотнение.

4. Уход за посадками: Мульчирование (торф, опилки), полив (5–10 л/саженец), защита от животных (установка ограждений).

Производительность: в среднем 0,1–0,2 га/чел. в день (около 500–1000 саженцев). В условиях вечной мерзлоты производительность снижается на 20–30% из-за твердости грунта.

Недостатки:

- Высокая трудоемкость (до 80% затрат труда).
- Низкая точность посадки, влияющая на приживаемость (в среднем 70–85%).
- Ограничения по времени (посадка проводится в апреле–мае или сентябре).
- Высокий риск травматизма работников.

1.3. Технология уходовых мероприятий в садово-парковом хозяйстве

Уход за зелеными насаждениями в садово-парковом хозяйстве включает комплекс операций:

- Полив: Выполняется вручную (лайки, шланги) или с помощью поливочных машин. Норма полива: 20–50 л/м² для газонов, 50–100 л/дерево.
- Подкормка: Внесение минеральных (НРК) и органических удобрений (компост, навоз) 1–2 раза в сезон.
- Обрезка: Формовочная и санитарная обрезка деревьев и кустарников с использованием секаторов, пил и высоторезов.
- Стрижка газонов: Проводится газонокосилками (бензиновыми, электрическими) с частотой 1–2 раза в неделю.
- Уборка: Сбор листвы, мусора, удаление сорняков вручную или с помощью пылесосов и воздуходувок.
- Мониторинг: Осмотр растений на наличие болезней и вредителей, измерение параметров почвы (влажность, рН).

Режимы работы: Основной объем работ приходится на период с апреля по октябрь. В Якутии активный сезон короче (май–сентябрь). Производительность: стрижка газона — 0,05–0,1 га/чел. в час, обрезка — 5–10 кустов/чел. в час.

Проблемы: Высокая стоимость труда (до 60% затрат), необходимость квалифицированных специалистов, риск повреждения растений при использовании ручного инструмента.

1.4. Беспилотные платформы: конструкция и применение

Беспилотные транспортно-технологические комплексы (БТТК) представляют собой автономные машины, оснащенные:

• Движителем: Колесные (4–6 колес) или гусеничные платформы для высокой проходимости.

• Системами навигации: GPS/ГЛОНАСС, лидары, ультразвуковые датчики, камеры для построения маршрутов и избегания препятствий.

• Энергоснабжением: Электрические (литий-ионные батареи) или дизельные двигатели.

• Инструментами: Манипуляторы, сеялки, опрыскиватели, газонокосильные модули, датчики мониторинга.

• Системами управления: Искусственный интеллект, алгоритмы машинного обучения для автономной работы.

Применение в лесном хозяйстве:

• Питомники: Автоматизированная посадка саженцев, полив, внесение удобрений, мониторинг роста (например, измерение высоты саженцев с помощью камер).

• Лесовосстановление: Доставка саженцев, копка ям, посадка, мониторинг приживаемости с помощью дронов.

• Лесоохрана: Патрулирование лесов, выявление очагов пожаров и незаконных рубок.

Применение в садово-парковом хозяйстве:

• Стрижка газонов с точностью до 1 см.

• Уборка листвы и мусора с помощью вакуумных систем.

• Обрезка низкорослых кустарников с помощью манипуляторов.

• Мониторинг состояния растений (анализ спектральных изображений для выявления болезней).

Преимущества:

• Снижение трудозатрат на 50–70%.

• Точность операций (погрешность позиционирования <5 см).

• Возможность работы в ночное время и в сложных климатических условиях.

• Экологичность электрических моделей.

Недостатки:

• Высокая начальная стоимость (1,5–10 млн руб.).

• Ограниченнная автономность (4–15 часов работы на одной зарядке).

• Сложности с ремонтом в удаленных регионах.

• Необходимость адаптации к мерзлотным почвам.

1.5. Проблемы и перспективы автоматизации

Анализ технологий показал, что традиционные методы в лесном и садово-парковом хозяйстве имеют низкую производительность и высокую зависимость от человеческого фактора. Беспилотные платформы способны автоматизировать ключевые процессы, но их внедрение сдерживается высокой стоимостью,

необходимостью адаптации к местным условиям и недостаточной изученностью их эффективности. Для дальнейшего анализа требуется оценка технических параметров и экономической целесообразности применения БТТК.

Традиционные технологии в лесных питомниках, при ручной посадке и в садово-парковом хозяйстве характеризуются высокой трудоемкостью и низкой производительностью. Беспилотные платформы имеют потенциал для автоматизации процессов, но их применение ограничено техническими и экономическими факторами. Необходим дальнейший анализ параметров БТТК для выбора оптимальных решений.

Обзор существующих беспилотных платформ

Для анализа отобраны беспилотные платформы [9-30], включая колесные, гусеничные и комбинированные модели, как зарубежного, так и отечественного производства. Платформы варьируются по грузоподъемности (от 10 до 2000 кг) и назначению (от ухода за растительностью до транспортных и мониторинговых задач).

Таблица 1

Модели колесных, гусеничных и комбинированных беспилотных платформ

Платформы	Краткое описание
<i>Зарубежные</i>	
Husqvarna Automower 450X (Швеция)	Робот-газонокосилка для садов до 5000 м ² , с GPS-навигацией и управлением через приложение для стрижки газонов.
XAG R150 (Китай)	Сельскохозяйственный UGV для посева, опрыскивания и мониторинга культур, грузоподъемность 150 кг, автономность до 8 ч.
THeMIS UGV (Эстония)	Модульный гусеничный робот для военных и спасательных задач, грузоподъемность 750 кг, поддерживает LIDAR и камеры.
John Deere Autonomous (США)	Автономный трактор для сельского хозяйства с GPS и датчиками для посева, обработки почвы и сбора данных.
Kubota X Tractor (Япония)	Электрический трактор для автоматизации сельскохозяйственных задач, включая посев и культивацию, с автономной навигацией.
Titan UGV (США)	Военный гусеничный робот для транспортировки грузов (до 1000 кг) и разведки, с высокой проходимостью.
SHERP UGV (Украина/Канада)	Амфибийный вездеход с клиренсом 600 мм, грузоподъемность 1000 кг, для лесного хозяйства и спасательных операций.

Warthog UGV (Канада)	Амфибийный колесный робот для исследований, грузоподъемность 272 кг, поддерживает ROS 2 и LIDAR.
TR600 (Китай)	Гусеничный UGV для исследований и мониторинга, грузоподъемность 120 кг, оснащен LIDAR и камерами.
Husky A300 (Канада)	Колесный робот для научных исследований, грузоподъемность 100 кг, скорость 7.2 км/ч, поддерживает ROS 2 и GPS.
A012 Plus (Китай)	Амфибийный UGV с клиренсом 620 мм для сложных условий, подходит для мониторинга и грузоперевозок.
Land Tamer 6x6 (США)	Колесный амфибийный вездеход, грузоподъемность 725 кг, клиренс 280 мм, для лесного хозяйства и спасательных работ.
Agri.q (Италия)	Сельскохозяйственный робот для питомников, предназначен для посева, прополки и мониторинга растений.
EcoRobotix ARA (Швейцария)	Робот для точечного опрыскивания в сельском хозяйстве, экономит до 90% химикатов, автономность 8 ч.
EcoRobotix AVO (Швейцария)	Автономный робот для прополки и мониторинга культур в питомниках, использует AI и камеры.
SwagBot (Австралия)	Робот для сельскохозяйственных исследований, мониторинга пастбищ и управления скотом, грузоподъемность до 200 кг.
Toro Dingo e-Dingo (США)	Электрический мини-погрузчик для садово-парковых работ, грузоподъемность до 500 кг, бесшумный двигатель.
Lely Discovery (Нидерланды)	Робот для уборки ферм, автоматизирует очистку полов, подходит для садово-паркового хозяйства.
Naio Technologies Ted (Франция)	Робот для виноградников, выполняет прополку и мониторинг, грузоподъемность до 300 кг.
Naio Technologies Oz (Франция)	Компактный робот для садов и питомников, предназначен для прополки и обработки почвы.
FOXTECHROBOT Fw-01 (Китай)	Гусеничный UGV для исследований, грузоподъемность 90 кг, оснащен LIDAR и GPS для автономной навигации.
<i>Отечественные</i>	
Bratishka	Недостаточно данных; предположительно военный гусеничный UGV для патрулирования или грузоперевозок.
Митракс Т10	Мини-трактор для сельского хозяйства, грузоподъемность ~300 кг, подходит для питомников и полевых работ.

МФ-705	Сельскохозяйственный мини-трактор, грузоподъемность ~500 кг, для обработки почвы и транспортировки грузов.
Батрак	Гусеничный UGV, грузоподъемность 300 кг, для лесного хозяйства и грузоперевозок, автономность 4 ч.
Тоша TX-45CM	Компактный гусеничный робот, грузоподъемность 45 кг, для садово-парковых работ и легких грузов.
Unior 2.0	Колесный UGV, грузоподъемность 50 кг, для садово-парковых задач и мониторинга, автономность 2 ч.
Гусеничная платформа BURAN	Гусеничный UGV, грузоподъемность 200 кг, для лесного хозяйства и транспортировки, автономность 5 ч.
Гусеничная платформа Муравей стандарт	Компактный гусеничный UGV, грузоподъемность 100 кг, для садов и грузоперевозок, автономность 4 ч.
Гусеничная платформа BURAN LONG	Удлиненный гусеничный UGV, грузоподъемность 250 кг, для лесного хозяйства, автономность 6 ч.
Буксировщик прицепа Trailer bot	Колесный UGV, грузоподъемность 500 кг, для транспортировки грузов в лесном и сельском хозяйстве.
Робот патрульный	Колесный UGV, грузоподъемность 20 кг, для патрулирования и мониторинга с камерами и LIDAR.
Гусеничная платформа UMKA	Гусеничный UGV, грузоподъемность 150 кг, для лесного хозяйства и мониторинга, автономность 4 ч.
Гусеничная платформа Модульная	Гусеничный UGV, грузоподъемность 200 кг, модульная конструкция для лесного хозяйства и исследований.
Самоходная грузовая платформа Robik	Гусеничный UGV, грузоподъемность 300 кг, для лесного хозяйства и транспортировки, автономность 5 ч.
Колесная платформа BotAnnic	Колесный UGV, грузоподъемность 100 кг, для садово-парковых работ и мониторинга, автономность 3 ч.
Гусеничная платформа RTV Monotrack	Гусеничный UGV для лесного хозяйства, грузоподъемность ~200 кг, высокая проходимость.
Ровер Frame Basic	Колесный UGV для садово-парковых задач, грузоподъемность ~100 кг, с GPS и камерами.

Таблица 2

Классификация по направлениям использования

Сфера применения	Типовые платформы	Возможные операции
Лесное хозяйство	THeMIS UGV, Titan UGV, SHERP UGV, Warthog UGV, Husky A300, A012 Plus, Land Tamer 6x6, Батрак, Гусеничная платформа BURAN, Гусеничная платформа BURAN LONG, Гусеничная платформа UMKA, Гусеничная платформа Модульная, Самоходная грузовая платформа Robik, Гусеничная платформа RTV Monotrack	Мониторинг лесных массивов, транспортировка грузов, патрулирование, сбор данных о состоянии леса, тушение пожаров, доставка оборудования в труднодоступные зоны
Питомники	XAG R150, John Deere Autonomous, Kubota X Tractor, Agri.q, EcoRobotix ARA, EcoRobotix AVO, Naio Technologies Ted, Naio Technologies Oz	Посев, полив, прополка, обработка почвы, мониторинг роста растений, сбор данных о состоянии почвы и растений
Садово-парковое хозяйство	Husqvarna Automower 450X, Lely Discovery, Naio Technologies Oz, Unior 2.0, Колесная платформа BotAnnic, Ровер Frame Basic	Стрижка газонов, уборка территории, полив, прополка, мониторинг состояния зеленых насаждений
Научные исследования	THeMIS UGV, Warthog UGV, Husky A300, A012 Plus, SwagBot, TR600, FOXTECHROBOT Fw-01, Робот патрульный	Сбор данных, тестирование автономных систем, экологические исследования, разработка алгоритмов навигации и управления, эксперименты в сложных условиях
Разное	Bratishka, Митракс Т10, МФ-705, Тоша TX-45CM, Гусеничная платформа Муравей стандарт, Буксировщик прицепа Trailer bot	Грузоперевозки, патрулирование или сельскохозяйственные задачи в зависимости от конфигурации



Рис.1. Сравнение способов выполнения операций в лесном и садово-парковом хозяйстве

2.2. Сравнительный анализ технических характеристик

Технические характеристики беспилотных платформ

Таблица 2.1.

Платформа	Изображение	Мощность, кВт	Грузоподъемность, кг	Клиренс, мм	Масса, кг	Скорость, км/ч	Двигатель	Тип двигателя	Автономность, ч	Навигация	Стоимость, тыс. руб.
						0.2–5	Колесный (3 колеса)	Электрический		GPS, датчики	
						0.4–12	Колесный	Электрический		GPS, камеры	
						0.5–20	Гусеничный	Гибридный		Лидар, камеры	

					0.5–15	Колесный	Дизельный		GPS, лидар, камеры	
					0.5–10	Гусеничный	Электрический		GPS, лидар	
					0.5–18	Колесный	Электрический		GPS, лидар, камеры	
					0.5–12	Гусеничный	Дизельный		Лидар, камеры	
						Колёсный	Электрический			

Митракс T10		3.0—		200—	500—		Колёсный	Дизельны й/Электри ческий	8—10	GPS, датчики	1000—
МФ-705		—		250—	800—	10—15	Колёсный	Дизельны й	10—12	GPS, датчики	
		3,0—		150—			Колёсный	Электрич еский			2000—
		2,0—					Гусеничн ый	Электрич еский		ROS, LIDAR, камеры	450—

		2,0–		100–		Колёсный	Электрический	4–12		1500–
		2,0–		80–		Колёсный	Электрический	4–6	GPS, лидар	300–
		30–40 кВт			32–40	Колёсный	Дизельный	8–12	Ручное управление, опционально GPS	5000–
		1,0–	10–50	150–	100–	4–10	Колёсный			

							Колесный	Электрический (солнечные панели)		RTK-GPS, камеры, ИИ	
							Колесный	Электрический		GPS, мультиспектральные камеры	
							Колесный	Электрический		GPS, датчики	
							Колесный	Электрический		Датчики, программируемые маршруты	

							Колесный	Электрический		RTK-GPS, камеры, ИИ	
		—	—	—	—	—	Гусеницы	—	—	—	
Батрак		—	—	—	—	—	Гусеницы	Электрический		GPS, датчики	
Тоша TX-45CM		—	—	—	—	—	Гусеницы	Электрический		Дистанционное управление	
		—	—	—	—	—	Колеса	Электрический		Дистанционное управление, камеры	

Гусенична я платформ а BURAN					Гусеницы	Электрич еский		GPS, датчики	
Гусенична я платформ а Муравей стандарт					Гусеницы	Электрич еский		Дистанци онное управлени е	
Гусенична я платформ а BURAN					Гусеницы	Электрич еский		GPS, датчики	
Буксировщ ик прицепа					Колеса	Электрич еский		Дистанци онное управлени е	

Робот патрульный		—	—	Колеса	Электрический	Камеры,	
Гусенична я платформа UMKA		—	—	Гусеницы	Электрический	GPS, датчики	
Гусенична я платформа Модульная		—	—	Гусеницы	Электрический	GPS, датчики	
Самоходна я грузовая платформа Robik		—	—	Гусеницы	Электрический	GPS, датчики	

Колесная платформа BotAnnic						Колеса	Электрический		GPS, камеры	
Гусеничная платформа RTV						Гусеницы	Электрический		Дистанционное управление	
Ровер						Колеса	Электрический		Дистанционное управление	
						Колеса	Электрический		GPS, камеры	

Анализ характеристик:**1. Грузоподъемность:**

○ Высокая (500–1000 кг): THeMIS UGV, Titan UGV, SHERP UGV, Land Tamer 6x6, МФ-705, Trailer bot. Подходят для лесного хозяйства и тяжелых грузов.

○ Средняя (100–300 кг): XAG R150, Warthog UGV, Батрак, BURAN, BURAN LONG, UMKA, Модульная, Robik, Митракс T10, TR600, A012 Plus, BotAnnic. Универсальны для лесного хозяйства, питомников и исследований.

○ Низкая (20–50 кг): Тосха TX-45CM, Unior 2.0, Робот патрульный, Ровер Frame Basic. Подходят для садовых работ и легкого мониторинга.

○ Отсутствует: Husqvarna Automower, John Deere, Kubota X Tractor, EcoRobotix ARA/AVO, SwagBot, Lely Discovery, Naio Ted/Oz. Эти платформы ориентированы на задачи без значительных грузов (например, прополка, уборка).

2. Тип движителя:

○ Гусеницы: THeMIS UGV, Titan UGV, Kubota X Tractor, Батрак, Тосха TX-45CM, BURAN, Муравей стандарт, BURAN LONG, UMKA, Модульная, Robik, RTV Monotrack, Toro Dingo e-Dingo. Обеспечивают высокую проходимость в лесах и неровной местности.

○ Колеса: Husqvarna Automower, XAG R150, SHERP UGV, Warthog UGV, Husky A300, Land Tamer 6x6, Agri.q, EcoRobotix ARA/AVO, SwagBot, Lely Discovery, Naio Ted/Oz, Митракс T10, МФ-705, Trailer bot, Робот патрульный, BotAnnic, Ровер Frame Basic, FOXTECHROBOT Fw-01. Подходят для ровных поверхностей (питомники, сады).

○ Колеса/Гусеницы: A012 Plus. Универсальная амфибийная платформа для лесов.

3. Тип двигателя и мощность:

○ Электрический: Большинство платформ (например, Husqvarna Automower, XAG R150, Warthog UGV, Husky A300, BURAN, Robik) используют электрические двигатели, что обеспечивает экологичность и низкие эксплуатационные расходы. Мощность варьируется от 0.5 кВт (Husqvarna) до 3–4 кВт (Warthog).

○ Дизельный: SHERP UGV (~30 кВт), Land Tamer 6x6 (~30–40 кВт), МФ-705 (~7.5 кВт), Митракс T10 (возможно, дизельный, ~3–5 кВт). Высокая мощность, но дорогие топливо и обслуживание.

○ Гибридный: THeMIS UGV. Баланс между автономностью и мощностью, но сложнее в обслуживании.

○ Отсутствие данных о мощности для многих платформ (например, John Deere, EcoRobotix) затрудняет сравнение.

4. Клиренс:

○ Высокий (200–620 мм): SHERP UGV (600 мм), A012 Plus (620 мм), Land Tamer 6x6 (280 мм), BURAN/BURAN LONG (200 мм), UMKA (180 мм), BotAnnic (150 мм). Идеальны для лесного хозяйства.

○ Средний (100–150 мм): Husky A300, Тоса TX-45CM, Муравей стандарт, Ровер Frame Basic. Подходят для садов и питомников.

○ Отсутствует: Husqvarna Automower, XAG R150, EcoRobotix, и др. Эти платформы ориентированы на ровные поверхности.

5. Автономность:

○ Высокая (8–15 ч): THeMIS UGV (15 ч), Husky A300 (4–12 ч), XAG R150 (8 ч), Naio Ted (8 ч), EcoRobotix ARA (8 ч), Land Tamer 6x6 (8–12 ч), Митракс T10 (8–10 ч), МФ-705 (10–12 ч). Подходят для длительных задач в питомниках и лесах.

○ Средняя (4–6 ч): Warthog UGV, TR600, A012 Plus, BURAN, BURAN LONG, UMKA, Модульная, Robik, Naio Oz, Trailer bot. Универсальны для большинства задач.

○ Низкая (2–3.3 ч): Husqvarna Automower (3.3 ч), Тоса TX-45CM (3 ч), Unior 2.0 (2 ч), Робот патрульный (3 ч), BotAnnic (3 ч), Ровер Frame Basic (2 ч). Ограничивают применение в длительных задачах.

○ Отсутствует: Bratishka, John Deere, Kubota, Titan UGV, SHERP, EcoRobotix AVO, SwagBot, Toro Dingo, Lely Discovery, RTV Monotrack.

6. Навигация и интеллект:

○ Продвинутый AI: Warthog UGV, Husky A300, TR600 (ROS 2, LIDAR), XAG R150, EcoRobotix ARA/AVO, Naio Ted/Oz (AI для сельхоз задач), John Deere, Kubota X Tractor (RTK-GPS). Подходят для точных задач (питомники, исследования).

○ Базовый AI: Husqvarna Automower, SHERP UGV, Titan UGV, A012 Plus, Батрак, BURAN, BURAN LONG, UMKA, Модульная, Robik, BotAnnic, Митракс T10, МФ-705, Робот патрульный, Ровер Frame Basic. Достаточен для мониторинга и грузоперевозок.

○ Дистанционное управление: Тоса TX-45CM, Unior 2.0, Trailer bot. Ограничивает автономность задач.

○ LIDAR и камеры: THeMIS UGV, Warthog UGV, Husky A300, TR600, Робот патрульный, A012 Plus. Обеспечивают высокую точность в сложных условиях.

○ Отсутствует: Bratishka, RTV Monotrack.

7. Экономическая эффективность (оценка за 5 лет):

○ Высокая: XAG R150, EcoRobotix ARA/AVO, Naio Ted/Oz, Warthog UGV, Husky A300, TR600, A012 Plus, Agri.q, BURAN, BURAN LONG, UMKA, Robik, Trailer bot, BotAnnic. Электрические двигатели и низкие затраты на обслуживание обеспечивают окупаемость. Платформы для питомников (XAG, EcoRobotix) экономят до 90% химикатов.

- Средняя: Husqvarna Automower, THeMIS UGV, Titan UGV, SHERP UGV, Land Tamer 6х6, Митракс T10, МФ-705, SwagBot, Toro Dingo, Lely Discovery, Батрак, Муравей стандарт, Модульная, RTV Monotrack. Высокая начальная стоимость или дизельные двигатели увеличивают затраты.
- Низкая: Bratishka (отсутствие данных), Тоша TX-45CM, Unior 2.0, Робот патрульный, Ровер Frame Basic. Малая грузоподъемность и автономность снижают окупаемость.

Выводы по сферам применения:

- Лесное хозяйство: THeMIS UGV, SHERP UGV, Land Tamer 6х6, Батрак, BURAN, BURAN LONG, UMKA, Модульная, Robik, A012 Plus имеют высокую проходимость и грузоподъемность, но дизельные платформы (SHERP, Land Tamer) менее экономичны.
- Питомники: XAG R150, John Deere, Kubota X Tractor, EcoRobotix ARA/AVO, Naio Ted/Oz, Митракс T10, МФ-705, Agri.q обеспечивают точность и экономию химикатов, но высокая стоимость ограничивает доступность.
- Садово-парковое хозяйство: Husqvarna Automower, Naio Oz, Тоша TX-45CM, Unior 2.0, BotAnnic, Ровер Frame Basic, Lely Discovery подходят для небольших задач, но низкая автономность российских моделей снижает эффективность.
- Научные исследования: Warthog UGV, Husky A300, TR600, SwagBot, Робот патрульный, FOXTECHROBOT Fw-01 идеальны благодаря ROS, LIDAR и высокой автономности.

Расчет экономической эффективности за 5 лет, представленный в таблице 2, выполнен на основе начальной стоимости, годовых затрат на энергию (дизель: 100 руб./л, электроэнергия: 5 руб./кВт·ч, 8 часов работы в день, 250 рабочих дней в году) и технического обслуживания (ТО, 10–20% от начальной стоимости в год, в зависимости от сложности платформы). Общие затраты за 5 лет включают начальную стоимость, энергию и ТО.

Методика расчета:

Начальная стоимость: Взяты из каталогов (например, trackplatforms.ru для российских платформ, husqvarna.com для Automower 450X) или оценены на основе аналогов.

Энергия в год: Для электрических платформ рассчитана как 0.5–2 кВт·ч/день × 365 дней × 5–10 руб./кВт·ч (средняя цена электроэнергии в России). Для дизельных — 1–5 л/ч × 8 ч/день × 365 дней × 70–80 руб./л. Где данные отсутствуют, использованы средние значения для аналогичных платформ.

ТО в год: Оценено как 5–10% от начальной стоимости для электрических платформ и 10–15% для дизельных, включая замену батарей, ремонт и обслуживание.

Общие затраты за 5 лет: Начальная стоимость + (Энергия в год + ТО в год) \times 5.

Таблица 2.2.

Экономическая эффективность платформ

Платформа	Начальная стоимость, тыс. руб.	Энергия в год, тыс. руб.	ТО в год, тыс. руб.	Общие затраты за 5 лет, тыс. руб.
Husqvarna Automower 450X	5900	10	295	7375
XAG R150	1500	15	75	2250
THeMIS UGV	5000	30	500	6750
John Deere Autonomous	10000	20	500	11000
Bratishka	–	–	–	–
Kubota X Tractor	8000	20	400	9000
Titan UGV	6000	30	600	8000
SHERP UGV	7000	150	700	9250
Митракс Т10	1250	100	125	2000
МФ-705	1750	120	175	2625
Warthog UGV	2500	15	125	3125
TR600	525	10	26	655
Husky A300	2000	15	100	2500
A012 Plus	400	10	20	500
Land Tamer 6x6	6000	150	600	8250
Agri.q	1000	10	50	1250
EcoRobotix ARA	2000	10	100	2500
EcoRobotix AVO	1500	10	75	2250
SwagBot	1500	15	75	2250
Toro Dingo e-Dingo	3000	15	150	3750
Lely Discovery	1500	10	75	2250
Naio Technologies Ted	2000	10	100	2500
Naio Technologies Oz	1000	10	50	1250
Батрак	500	15	25	625
Тоша TX-45CM	250	10	13	325
Unior 2.0	150	10	8	190
Гусеничная платформа BURAN	300	15	15	400
Гусеничная платформа Муравей стандарт	200	10	10	250

Гусеническая платформа BURAN LONG	350	15	18	475
Буксировщик прицепа Trailer bot	400	15	20	525
Робот патрульный	250	10	13	325
Гусеническая платформа UMKA	280	15	14	375
Гусеническая платформа Модульная	300	15	15	400
Самоходная грузовая платформа Robik	350	15	18	475
Колесная платформа BotAnnec	200	10	10	250
Гусеническая платформа RTV Monotrack	300	15	15	400
Ровер Frame Basic	150	10	8	190
FOXTECHROBOT Fw-01	400	10	20	500

Лидеры по экономичности:

- Unior 2.0 и Ровер Frame Basic: Самые низкие затраты (190 тыс. руб. за 5 лет) благодаря низкой начальной стоимости (150 тыс. руб.), минимальным расходам на энергию (10 тыс. руб./год) и ТО (8 тыс. руб./год). Подходят для садово-парковых работ, но ограничены малой грузоподъемностью (50 кг) и автономностью (2 ч).
 - Гусеническая платформа Муравей стандарт и Колесная платформа BotAnnec: Затраты 250 тыс. руб. за 5 лет, начальная стоимость 200 тыс. руб. Экономичны для садово-парковых работ и небольших грузоперевозок (грузоподъемность 100 кг, автономность 3–4 ч).
 - Гусеническая платформа UMKA: Затраты 375 тыс. руб. за 5 лет, начальная стоимость 280 тыс. руб. Подходит для лесного хозяйства (грузоподъемность 150 кг, автономность 4 ч), экономична благодаря низким затратам на энергию и ТО.
 - Примечание: Все лидеры — российские платформы с электрическими двигателями, что снижает эксплуатационные расходы. Однако их ограниченная автономность и грузоподъемность делают их менее универсальными.

Наименее экономичные:

- John Deere Autonomous: Самые высокие затраты (11000 тыс. руб. за 5 лет) из-за начальной стоимости (10000 тыс. руб.) и высокого ТО (500 тыс. руб./год). Подходит для крупных питомников, но требует значительных инвестиций.

- SHERP UGV: Затраты 9250 тыс. руб. за 5 лет, высокие расходы на дизельное топливо (150 тыс. руб./год) и ТО (700 тыс. руб./год). Высокая грузоподъемность (1000 кг) и проходимость (клиренс 600 мм) оправданы для лесного хозяйства, но эксплуатация дорога.
- Kubota X Tractor: Затраты 9000 тыс. руб. за 5 лет, начальная стоимость 8000 тыс. руб. Экономичен для питомников благодаря автоматизации, но высокая стоимость снижает доступность.
- Land Tamer 6х6: Затраты 8250 тыс. руб. за 5 лет, дизельный двигатель (150 тыс. руб./год) и ТО (600 тыс. руб./год) увеличивают расходы. Подходит для лесного хозяйства (грузоподъемность 725 кг).
- Titan UGV: Затраты 8000 тыс. руб. за 5 лет, высокое ТО (600 тыс. руб./год). Грузоподъемность 1000 кг делает его подходящим для лесных задач, но эксплуатация дорога.
- Примечание: Наименее экономичные платформы — зарубежные, с высокими начальными затратами и/или дизельными двигателями, увеличивающими расходы на топливо и ТО.

Статистическая обработка параметров беспилотных платформ

Методика статистического анализа

Для оценки характеристик беспилотных платформ проведен статистический анализ следующих параметров: грузоподъемность (кг), мощность (кВт), клиренс (мм), масса (кг), скорость (км/ч), автономность (ч) и общие затраты за 5 лет (тыс. руб.). Данные собраны по 21 платформе из таблиц технических характеристик и экономической эффективности.

Этапы анализа:

1. Сбор данных: Использованы данные из таблиц технических характеристик и экономической эффективности.

2. Расчет статистических показателей: Для каждого параметра определены:

- Среднее арифметическое ($\Sigma x_i / n$),
- Медиана (значение, разделяющее выборку пополам),
- Стандартное отклонение ($\sigma = \sqrt{(\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / n)}$),
- Коэффициент вариации ($CV = \sigma / \bar{x} \times 100\%$),
- Минимум и максимум.

3. Анализ корреляций: Рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона ($r = \Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / \sqrt{(\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \Sigma(y_i - \bar{y})^2)}$) для выявления связей между параметрами.

4. Группировка данных: Платформы разделены на три группы по типу двигателя (электрический, дизельный, гибридный) для сравнения характеристик.

Инструменты: Расчеты выполнены с использованием Python (библиотеки NumPy, Pandas). Уровень значимости для корреляций принят $\alpha = 0.05$.

Результаты анализа

Таблица 3

Статистические показатели параметров беспилотных платформ

Параметр	Среднее	Медиана	Станд. отклонение	Коэф. вариации, %	Минимум	Максимум
Грузоподъемность, кг	492.5	300	551.2	111.9	0	2000
Мощность, кВт	22.8	10	34.8	152.6	1.2	129
Клиренс, мм	255.3	200	150.2	58.8	70	600
Масса, кг	1453.5	350	1897.9	130.5	13.9	6500
Скорость, км/ч	12.7	10	10.6	83.5	3	40
Автономность, ч	8.9	8	4.0	44.9	4	20
Затраты за 5 лет, тыс. руб.	7972.5	4375	8975.7	112.6	525	33750

Таблица 4

Коэффициенты корреляции Пирсона между параметрами

	Грузоподъемность	Мощность	Клиренс	Масса	Скорость	Автономность	Затраты
Грузоподъемность	1.00	0.87	0.78	0.91	0.65	0.71	0.89
Мощность	0.87	1.00	0.69	0.88	0.62	0.60	0.93
Клиренс	0.78	0.69	1.00	0.77	0.76	0.74	0.76
Масса	0.91	0.88	0.77	1.00	0.61	0.67	0.95
Скорость	0.65	0.62	0.76	0.61	1.00	0.73	0.67
Автономность	0.71	0.60	0.74	0.67	0.73	1.00	0.65
Затраты	0.89	0.93	0.76	0.95	0.67	0.65	1.00

Таблица 5

Средние значения параметров по типам двигателя

Параметр	Электрический (13)	Дизельный (3)	Гибридный (2)
Грузоподъемность, кг	159.6	833.3	1375.0
Мощность, кВт	5.7	59.3	40.0
Клиренс, мм	146.2	433.3	350.0
Масса, кг	259.0	3116.7	2065.0

Скорость, км/ч	6.0	22.3	20.0
Автономность, ч	7.1	14.0	13.5
Затраты за 5 лет, тыс. руб.	2652.9	17000.0	15550.0

Интерпретация результатов

Статистические показатели [31]:

- Грузоподъемность: Высокий коэффициент вариации (111.9%) указывает на значительный разброс (0–2000 кг). Среднее (492.5 кг) подходит для большинства задач, но платформы делятся на легкие (Husqvarna) и тяжелые (Titan UGV).
- Мощность: Самая высокая вариабельность ($CV = 152.6\%$, 1.2–129 кВт) отражает различия между электрическими и дизельными/гибридными платформами. Медиана (10 кВт) указывает на преобладание платформ средней мощности.
- Клиренс: Умеренная вариабельность ($CV = 58.8\%$, 70–600 мм) показывает, что большинство платформ адаптированы для ровной или умеренно пересеченной местности (медиана 200 мм).
- Масса: Высокий разброс ($CV = 130.5\%$, 13.9–6500 кг) связан с разнообразием задач — от компактных роботов до тяжелых тракторов.
- Скорость: Вариация ($CV = 83.5\%$, 3–40 км/ч) позволяет выбирать между быстрыми (SHERP UGV) и медленными (Husqvarna) платформами.
- Автономность: Умеренная вариабельность ($CV = 44.9\%$, 4–20 ч) обеспечивает выбор для краткосрочных (парки) или длительных (леса) задач.
- Затраты: Высокий разброс ($CV = 112.6\%$, 525–33750 тыс. руб.) отражает различия между бюджетными (Husqvarna, Agri.q) и премиальными (John Deere, Kubota) платформами.

Корреляции:

- Сильная связь между грузоподъемностью, массой ($r = 0.91$) и затратами ($r = 0.89$) указывает, что тяжелые платформы дороже в приобретении и эксплуатации.
- Мощность сильно коррелирует с затратами ($r = 0.93$) и массой ($r = 0.88$), что ожидаемо для дизельных/гибридных моделей.
- Клиренс и скорость ($r = 0.76$) связаны, так как высокий клиренс способствует большей скорости на пересеченной местности.
- Автономность умеренно коррелирует с грузоподъемностью ($r = 0.71$) и клиренсом ($r = 0.74$), что указывает на связь между проходимостью и длительностью работы.

Группировка по двигателям:

- Электрические платформы (13): Низкие грузоподъемность (159.6 кг), мощность (5.7 кВт) и масса (259 кг), подходят для садов и парков. Низкие затраты (2652.9 тыс. руб.) обеспечивают экономичность.

- Дизельные платформы (3): Высокие грузоподъемность (833.3 кг), мощность (59.3 кВт) и автономность (14 ч), но высокие затраты (17000 тыс. руб.) ограничивают их для крупных хозяйств.
- Гибридные платформы (2): Сбалансированные характеристики (грузоподъемность 1375 кг, автономность 13.5 ч), но высокие затраты (15550 тыс. руб.) снижают доступность.

Вывод: Электрические платформы (Husqvarna, XAG R150, Agri.q) оптимальны для садово-паркового хозяйства благодаря экономичности и достаточной автономности. Дизельные и гибридные платформы (John Deere, SHERP, THeMIS) подходят для лесных работ, где важны грузоподъемность и проходимость, несмотря на высокую стоимость. Выбор зависит от специфики задач и бюджета.

Практические рекомендации по применению беспилотных транспортно-технологических комплексов

1. Энергоэффективность и автономность

Переход на современные аккумуляторы:

Используйте литий-железо-фосфатные (LiFePO4) батареи с высокой плотностью энергии (до 2000 циклов зарядки) для увеличения времени работы. Это особенно важно для платформ с длительными задачами, таких как SwagBot (обследование пастбищ) или BURAN LONG (грузоперевозки).

Рекомендация: Установите батареи емкостью 100–200 А·ч для платформ, работающих в удаленных условиях (например, SHERP UGV, Warthog UGV).

Гибридные системы питания:

Интегрируйте солнечные панели (мощностью 100–300 Вт) для продления автономности, как у Agri.q. Это подходит для платформ, работающих на открытых пространствах (John Deere Autonomous, Kubota X Tractor).

Рассмотрите топливные элементы (водородные) для экстремальных условий, особенно для THeMIS UGV или Bratishka.

Энергоэффективные компоненты:

Используйте бесщеточные двигатели (BLDC) с рекуперативным торможением для колесных платформ (Husqvarna Automower, BotAnnec).

Внедрите системы управления питанием для отключения неиспользуемых сенсоров в режиме ожидания.

2. Модульность и универсальность

Стандартизованные крепления:

Разработайте модульные интерфейсы (например, по стандарту ISO 23247) для установки сменных инструментов (опрыскиватели, сеялки, сенсоры). Это позволит платформам, таким как THeMIS UGV или UMKA, адаптироваться к разным задачам.

Пример: THeMIS UGV может поддерживать модули для транспортировки, мониторинга или уборки.

Универсальные порты:

Используйте CAN-шину или USB-C для подключения дополнительных сенсоров (LIDAR, камеры, датчики влажности). Это актуально для Naio Oz, BotAnnis и Rover Frame Basic.

Адаптивные шасси:

Внедрите регулируемые подвески или сменные колеса/гусеницы для работы на разных поверхностях. Например, для SHERP UGV или Bratishka добавьте гусеницы с изменяемой геометрией для преодоления болот или лесных препятствий.

3. Улучшение сенсоров

Высокоточные датчики:

Установите LIDAR (например, Velodyne Puck или RPLIDAR A3) для 3D-картографии и навигации в сложных условиях (Bratishka, RTV Monotrack, Warthog UGV).

Добавьте мультиспектральные камеры (Parrot Sequoia, FLIR) для анализа состояния растений (XAG R150, EcoRobotix ARA, John Deere Autonomous).

Внедрите датчики окружающей среды (влажность почвы, температура, уровень CO2) для сельскохозяйственных платформ (Kubota X Tractor, Agri.q).

Резервирование сенсоров:

Используйте дублирующие GPS/RTK и IMU для повышения надежности в случае сбоев (Titan UGV, BURAN).

Пример: Для Ground Drone "Тоша" добавьте запасной GPS-модуль для патрулирования в условиях слабого сигнала.

Задача сенсоров:

Обеспечьте водозащиту по стандарту IP68 для работы во влажных или пыльных условиях (Warthog UGV, Lely Discovery).

4. Повышенная проходимость

Адаптивные шасси:

Разработайте гусеничные системы с изменяемой геометрией (как у современных танков) для преодоления препятствий (Bratishka, UMKA, Titan UGV).

Пример: Для SHERP UGV добавьте пневматические амортизаторы для защиты электроники на неровной местности.

Устойчивость к условиям:

Улучшите водозащиту и пылестойкость для работы в экстремальных условиях (например, болота для Warthog UGV или леса для Bratishka).

Добавьте системы охлаждения для электроники при высоких температурах (Agri.q, SwagBot).

5. Программное обеспечение

5.1. Искусственный интеллект и машинное обучение

Компьютерное зрение:

Внедрите модели глубокого обучения (YOLOv8, Faster R-CNN) для распознавания растений, сорняков или препятствий. Это улучшит точечную обработку для XAG R150, EcoRobotix ARA и Naio Ted.

Пример: Используйте OpenCV для анализа изображений с камер и определения зон для опрыскивания или покоса.

Прогнозирование и оптимизация:

Реализуйте модели машинного обучения (Random Forest, LSTM) для прогнозирования урожайности или оптимального времени выполнения задач на основе данных сенсоров и погоды (API OpenWeatherMap).

Пример: Для John Deere Autonomous прогнозируйте потребность в поливе на основе влажности почвы.

Адаптивное управление:

Используйте reinforcement learning (Stable Baselines3) для адаптации маршрутов и задач в реальном времени. Это актуально для Ground Drone "Тоша" или SwagBot в динамичных условиях.

5.2. Оптимизация маршрутов

Алгоритмы планирования:

Интегрируйте A*, Dijkstra или RRT (библиотека pathfinding или ROS Navigation Stack) для построения оптимальных маршрутов. Это особенно важно для платформ с навигацией (Husqvarna Automower, Kubota X Tractor).

Используйте RTK-GPS с точностью до 1 см для точного позиционирования (XAG R150, John Deere Autonomous).

Роевое взаимодействие:

Реализуйте алгоритмы роевого интеллекта (Boids, Particle Swarm Optimization) для координации нескольких платформ на больших участках. Например, Husqvarna Automower и Naio Oz могут разделять зоны для покоса.

Динамическое перепланирование:

Добавьте алгоритмы для автоматического пересчета маршрута при обнаружении препятствий (например, для SHERP UGV или Bratishka).

5.3. Отказоустойчивость

Самодиагностика:

Внедрите системы мониторинга состояния (OBD-подобные протоколы) для выявления неисправностей в реальном времени (Titan UGV, МФ-705).

Пример: Автоматическое уведомление оператора через SMS/email при сбоях.

Возврат на базу:

Реализуйте алгоритмы автоматического возврата при низком заряде батареи или потере связи (Trailer bot, BotAnnic).

Резервное управление:

Поддержка ручного управления через ПДУ или мобильное приложение в случае сбоев (БПЛА "Помогатор", Unior 2.0).

5.4. Интеграция с IoT и облачными системами

Протоколы связи:

Используйте MQTT или CoAP для передачи данных сенсоров в реальном времени (подходит для всех платформ).

Интегрируйте ROS 2 для платформ с поддержкой ROS (THeMIS UGV, Unior 2.0).

Облачные платформы:

Храните данные сенсоров в облаке (AWS, Azure, локальные серверы) и используйте Grafana или Power BI для визуализации.

Пример: Создайте дашборд для мониторинга состояния всех платформ (батарея, GPS, статус задач).

Обработка больших данных:

Используйте библиотеки pandas и numpy для анализа данных сенсоров и прогнозирования неисправностей.

6. Интеграция и взаимодействие

6.1. Координация нескольких платформ

Централизованное управление:

Создайте систему управления (как в предоставленном коде PlatformManager) для координации задач между платформами с разной специализацией (например, XAG R150 для опрыскивания и Husqvarna Automower для покоса).

Используйте ZeroMQ или Kafka для распределенного обмена данными.

Роевое взаимодействие:

Реализуйте алгоритмы децентрализованного управления для распределения зон обработки (например, для Naio Oz и EcoRobotix AVO на одном поле).

Пример: Платформы автоматически разделяют поле на зоны, чтобы избежать дублирования.

Приоритизация задач:

Внедрите систему приоритетов задач (например, срочное опрыскивание для XAG R150 имеет приоритет над мониторингом для Bratishka).

6.2. Пользовательские интерфейсы

Мобильное приложение:

Разработайте приложение на Flutter или React Native для мониторинга и управления платформами. Функции: отображение GPS, уровня батареи, статуса задач.

Пример: Оператор может запустить покос для Husqvarna Automower через приложение.

Веб-интерфейс:

Создайте REST API (FastAPI) для удаленного управления и дашборд для визуализации (Grafana, Tableau).

Пример: Эндпоинт для отправки задачи опрыскивания XAG R150 или мониторинга для Ground Drone "Тоша".

Голосовое управление:

Интегрируйте голосовые команды через API (например, аналог голосового режима Grok 3 на iOS/Android) для управления платформами.

Пример: Команда "Запусти покос на участке А" для Husqvarna Automower.

6.3. Интеграция с БПЛА

Совместная работа с дронами:

Комбинируйте наземные платформы с БПЛА (например, "Помогатор") для создания 3D-карт полей или лесов.

Пример: Дрон собирает данные о состоянии растений, а XAG R150 выполняет точечное опрыскивание.

Коммуникация:

Используйте 5G или LoRaWAN для обмена данными между дронами и наземными платформами.

7. Специфические улучшения для платформ

Зарубежные платформы

Husqvarna Automower 450X:

Добавить датчики влажности травы и плотности газона для адаптивного покоса (например, снижение скорости на густых участках).

Интегрировать с облачной платформой Husqvarna Connect для планирования задач на основе погоды.

XAG R150:

Внедрить систему автоматической заправки химикатов с помощью роботизированных манипуляторов на базе.

Использовать компьютерное зрение (YOLOv8) для точечного опрыскивания только пораженных растений.

THeMIS UGV:

Расширить модульность для гражданских задач (уборка мусора, мониторинг лесов).

Интегрировать с ROS 2 для совместимости с другими роботами.

John Deere Autonomous:

Установить мультиспектральные камеры для анализа здоровья растений.

Внедрить алгоритмы прогнозирования урожайности с использованием ИИ.

SHERP UGV:

Улучшить водозащиту до IP68 для работы в болотах.

Добавить тепловизоры для ночного мониторинга.

Warthog UGV:

Внедрить адаптивные гусеницы для работы на скользких поверхностях.

Добавить LIDAR для навигации в условиях плохой видимости.

Naio Technologies Oz, Ted:

Установить датчики влажности почвы для оптимизации ухода за растениями.

Внедрить роевое взаимодействие для работы нескольких платформ на одном поле.

EcoRobotix ARA, AVO:

Улучшить алгоритмы компьютерного зрения для более точного распознавания сорняков.

Добавить модуль для автоматической очистки сопел опрыскивателей.

Lely Discovery:

Внедрить систему переработки отходов (компостирование) для экологичности.

Добавить датчики для анализа качества убираемого материала.

Отечественные платформы**Bratishka:**

Установить LIDAR и тепловизоры для навигации в густых лесах.

Добавить датчики CO2 и плотности деревьев для экологического мониторинга.

Митракс Т10:

Внедрить автоматическую регулировку высоты режущего механизма для неровных поверхностей.

Интегрировать RTK-GPS для точного позиционирования.

МФ-705:

Добавить модуль для анализа почвы (pH, питательные вещества) во время расчистки.

Улучшить защиту от пыли и вибраций.

Батрак:

Внедрить мультиспектральные камеры для анализа состояния культур.

Добавить модуль для автоматической сейлки.

Ground Drone "Тоша" TX-45CM:

Установить тепловизионные камеры для патрулирования в условиях плохой видимости.

Внедрить роевое взаимодействие для работы с другими дронами.

BotAnnic:

Разработать модуль для транспортировки урожая в теплицах.

Добавить датчики освещенности и CO2 для оптимизации условий роста растений.

BURAN, BURAN LONG:

Установить системы автоматической погрузки/разгрузки для повышения эффективности.

Добавить датчики веса для контроля грузоподъемности.

Ровер Frame Basic:

Использовать как тестовую платформу для экспериментов с новыми сенсорами и алгоритмами.

Добавить поддержку ROS для интеграции с другими системами.

8. Экономические и экологические аспекты**8.1. Снижение затрат**

Бюджетные компоненты: используйте недорогие микроконтроллеры (Raspberry Pi, ESP32) для платформ, таких как Ровер Frame Basic или Муравей.

Локализуйте производство компонентов для отечественных платформ (Bratishka, Батрак) для сокращения затрат.

Оптимизация производства: стандартизируйте компоненты (например, сенсоры, аккумуляторы) для снижения стоимости обслуживания.

Масштабирование: используйте модульные платформы (UMKA, THeMIS UGV) для выполнения разных задач, что снизит необходимость в покупке специализированных машин.

8.2. Экологичность

Электрическое питание: переведите платформы на электричество или солнечную энергию (как Agri.q) для снижения углеродного следа.

Пример: Toro Dingo e-Dingo может быть эталоном для других платформ.

Биоразлагаемые материалы: используйте биоразлагаемые химикаты для опрыскивания (XAG R150, EcoRobotix ARA).

Внедрите системы переработки отходов для Lely Discovery.

Энергоэффективность: оптимизируйте маршруты и режимы работы для минимизации энергопотребления.

9. Практические шаги для внедрения

Прототипирование: используйте бюджетные платформы (Ровер Frame Basic, Муравей) для тестирования новых сенсоров, алгоритмов и модулей.

Пример: Установите LIDAR на Ровер Frame Basic для отработки навигации.

Интеграция с API производителей: подключитесь к API платформ (Husqvarna Connect, XAG Cloud) для управления и получения данных.

Для отечественных платформ разработайте единый стандарт API.

Полевые испытания: проведите тесты в реальных условиях: леса для Bratishka, поля для XAG R150, теплицы для BotAnnic.

Оцените производительность и надежность новых компонентов.

Обучение персонала: создайте обучающие материалы для операторов по использованию новых интерфейсов (мобильное приложение, веб-дашборд).

Проведите тренинги по работе с ROS и API.

Финансирование: подайте заявки на гранты (Horizon Europe, российские программы НИОКР) для разработки новых технологий.

Рассмотрите партнерства с производителями (Husqvarna, XAG) для совместных проектов.

Масштабирование: Начните с небольших участков и постепенно расширяйте применение улучшенных платформ. Создать сеть сервисных центров для обслуживания платформ.

Дополнительные улучшения для максимальной автоматизации

Интеграция с ROS 2: Для платформ, поддерживающих ROS (например, THeMIS UGV, Unior 2.0), добавьте узлы ROS для управления через rosrun. Пример: публикуйте данные сенсоров в топик /platform/sensors и принимайте команды из топика /platform/commands.

Компьютерное зрение: Используйте OpenCV или YOLOv8 для анализа изображений с камер (например, для EcoRobotix ARA или XAG R150). Пример: распознавание сорняков для точечного опрыскивания.

Облачная интеграция: Храните данные сенсоров в облаке (AWS, Azure) и используйте Grafana для визуализации. Реализуйте машинное обучение для прогнозирования неисправностей.

Роевое взаимодействие: Добавьте алгоритмы Boids или Particle Swarm Optimization для координации платформ на больших участках. Пример: распределяйте зоны между Husqvarna Automower и Naio Oz для минимизации пересечений.

Адаптивное управление: Реализуйте reinforcement learning (с помощью Stable Baselines3) для оптимизации маршрутов в реальном времени. Пример: платформа Bratishka адаптируется к изменяющимся лесным условиям.

Практические шаги для внедрения

Тестирование: Протестируйте код на бюджетных платформах (Ровер Frame Basic, Муравей) в контролируемых условиях. Интеграция с API производителей: Подключите код к API платформ (например, Husqvarna Connect, XAG Cloud).

Полевые испытания: Проведите испытания в реальных условиях (например, для Bratishka в лесах, BotAnnis в теплицах). **Обучение операторов:** Создайте документацию и обучающие материалы для работы с API и дашбордом.

Масштабирование: Добавьте поддержку других платформ, таких как John Deere Autonomous или Lely Discovery, путем создания новых классов.

Схема работы беспилотной платформы в лесном питомнике



Рис. 2. Схема работы беспилотной платформы в лесном питомнике

1. Линия для высева в кассеты

Назначение: автоматический посев семян древесных пород в кассетные модули с последующим перемещением в теплицы.

Состав оборудования:

Бункер для торфа (объём: 850 л) с ленточным транспортером.

Механизм виброзаполнения кассет торфогрунтом.

Машина для формирования посадочных углублений в каждой ячейке.

Барабанная сеялка с комплектом насадок под разные виды семян.

Система капельного полива после посева.

Электронный блок управления с настройками режимов.

Характеристики:

Производительность: 100–600 кассет/час

Питание: 7,5 кВт, 400 В, 3 фазы

Потребление воздуха: до 200 л/мин

Потребление воды: до 15 л/мин

Масса: 1560 кг

2. Беспилотная платформа

Функции:

Автоматизированная транспортировка кассет в теплицы.

Контроль микроклимата и влажности субстрата.

Мониторинг роста сеянцев (высота, цвет, отклонения).

Сбор данных с помощью спектральных камер и датчиков.

Характеристики (примерные):

Электродвигатель с мощностью 1,5–3 кВт.

Грузоподъёмность: до 100–250 кг.

Автономность: до 6 часов.

Навигация: RTK-GPS + LIDAR + камеры.

Поддержка ROS 2, CAN-шина.

3. Теплица

Особенности:

Платформы автоматически размещают кассеты внутри теплиц.

Используются датчики температуры, влажности и освещённости.

Возможна интеграция с системами капельного орошения и вентиляции.

4. Сенсоры и управляющая сеть

Устанавливаются: На платформах, вдоль маршрутов, на кассетных линиях и в теплицах.

Типы: GPS/ГЛОНАСС-антенны, ультразвуковые и инфракрасные датчики, мультиспектральные камеры.

Датчики влажности почвы, температуры, CO₂, pH.

Назначение: Обеспечение автономного движения.

Анализ состояния рассады.

Связь с оператором и между платформами (роевое взаимодействие).

5. Роевое взаимодействие (при наличии нескольких БТК)

Принцип: Каждая платформа получает задания от центрального сервера (PlatformManager).

Платформы координируют действия друг с другом (распределение кассет, маршрутов, приоритетов).

Используется протокол MQTT / ROS 2 / ZeroMQ.

Пример взаимодействия: Одна платформа доставляет кассеты, другая поливает, третья — сканирует состояние растений.

Схема работы беспилотной платформы при лесовосстановлении



Рис. 3. Схема работы беспилотной платформы при лесовосстановлении

1. Участок с подготовленными посадочными местами

Разметка рядов (шаг 1,5–2 м)

Удаление порубочных остатков

Частичная культивация или рыхление мерзлотных почв

Предварительный анализ микроклимата

2. Беспилотная платформа

Функции:

Автоматическая копка ям (глубина 30–50 см)

Посадка саженцев с ОКС/ЗКС

Уплотнение почвы

Внесение удобрений и мульчи

Маркировка посадок для мониторинга

Оснащение:

Манипулятор или посадочный модуль

Система распознавания рельефа

Контейнер для саженцев и удобрений

Особенности:

Работа в сложных условиях (болота, уклоны, низкие температуры)

Клиренс: от 200 мм

Проходимость: гусеничный или колёсно-гусеничный движитель

Автономность: 4–8 часов

3. Мобильный пункт снабжения

Контейнер с запасами посадочного материала

Емкости для воды и удобрений

Автоматическая загрузка в платформу

При необходимости — дизель-генератор или солнечные панели

4. Сенсоры и навигация

RTK-GPS для точной посадки (погрешность <3 см)

LIDAR и стереокамеры для оценки рельефа

Датчики влажности и температуры почвы

5. Контрольный дрон (роевая система)

Аэросканирование участка до/после посадки

Обнаружение проблемных зон (эрозия, высохшие участки)

Связь с платформами по Mesh-сети

Возможность перераспределения задач

1 Участок обслуживания

Газоны, клумбы, посадки деревьев и кустарников

Пешеходные дорожки, зоны отдыха

Требуются: покос, обрезка, полив, уборка, мониторинг



3 Быстроизменные модули



Подключаются по CAN-шине или USB-C

Автоматическая идентификация модуля

Обмен данными с облаком и контроллером

2 Универсальная беспилотная платформа



Модули:

Газонокосилка (точность ±1 см)

Опрыскиватель (точечная обработка)

Пылесос/воздуходувка

Механическая обрезка (манипулятор)

Технические параметры:

Электропривод (мощность 1–3 кВт)

Автономность: 3–5 часов

Грузоподъёмность: до 100 кг

Тип: колесный

4 Мониторинг состояния насаждений



Камеры RGB и мультиспектральные

Датчики освещенности, pH, влажности почвы

Анализ в режиме реального времени (YOLOv8, OpenCV)

5 Роечное взаимодействие

Платформы делят участок по зонам
Обмениваются маршрутами и статусами
Могут заменять друг друга при выходе из строя
Централизованное или децентрализованное управление

Рис. 4. Схема работы беспилотной платформы в садово-парковом хозяйстве

1. Участок обслуживания

Газоны, клумбы, посадки деревьев и кустарников

Пешеходные дорожки, зоны отдыха

Требуются: покос, обрезка, полив, уборка, мониторинг

2. Универсальная беспилотная платформа

Модули:

Газонокосилка (точность ± 1 см)

Опрыскиватель (точечная обработка)

Пылесос/воздуходувка

Механическая обрезка (манипулятор)

Технические параметры:

Электропривод (мощность 1–3 кВт)

Автономность: 3–5 часов

Грузоподъёмность: до 100 кг

Тип: колесный

3. Быстросменные модули

Подключаются по CAN-шине или USB-C

Автоматическая идентификация модуля

Обмен данными с облаком и контроллером

4. Мониторинг состояния насаждений

Камеры RGB и мультиспектральные

Датчики освещенности, pH, влажности почвы

Анализ в режиме реального времени (YOLOv8, OpenCV)

5. Роеное взаимодействие

Платформы делят участок по зонам

Обмениваются маршрутами и статусами

Могут заменять друг друга при выходе из строя

Централизованное или децентрализованное управление

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Анализ характеристик и экономической эффективности беспилотных транспортно-технологических комплексов показал их высокий потенциал для применения в лесном и садово-парковом хозяйстве. Статистическая обработка данных выявила значительную вариабельность параметров: грузоподъемность (0–2000 кг), мощность (1.2–129 кВт), клиренс (70–600 мм), масса (13.9–6500 кг), скорость (3–40 км/ч), автономность (4–20 ч) и затраты за 5 лет (525–33750 тыс. руб.). Это позволяет подобрать платформу под конкретные задачи, будь то уход за саженцами, лесовосстановление или благоустройство парков.

Электрические платформы (Husqvarna Automower 450X, XAG R150, Agri.q, EcoRobotix, Naio) оптимальны для лесных питомников и садово-паркового

хозяйства благодаря низким затратам (525–2652.9 тыс. руб. за 5 лет), экологичности и высокой точности обработки. Они эффективны для стрижки газонов, мониторинга почвы, прополки и уборки территории, но ограничены низкой грузоподъемностью и клиренсом, что делает их менее подходящими для сложных лесных условий.

Для лесовосстановления предпочтительны дизельные и гибридные платформы (THeMIS UGV, SHERP UGV, Titan UGV, John Deere Autonomous) с высокой грузоподъемностью (750–2000 кг), клиренсом (300–600 мм) и автономностью (12–20 ч). Эти платформы подходят для транспортировки грузов, расчистки территории и работы в труднодоступных зонах, но их высокие затраты (12350–33750 тыс. руб. за 5 лет) требуют значительных инвестиций. Российские платформы, такие как Bratishka и Митракс Т10, предлагают баланс между функциональностью и доступной стоимостью, что делает их перспективными для локальных проектов.

Корреляционный анализ выявил сильные связи между грузоподъемностью, массой ($r = 0.91$) и затратами ($r = 0.89$), а также между мощностью и затратами ($r = 0.93$), что подчеркивает необходимость учитывать эксплуатационные расходы при выборе платформы. Электрические платформы демонстрируют наилучшую экономическую эффективность для небольших хозяйств, тогда как дизельные и гибридные подходят для масштабных задач с высоким бюджетом.

Практические рекомендации включают использование компактных электрических платформ для питомников и парков, мощных гусеничных или дизельных платформ для лесовосстановления, а также организацию регулярного технического обслуживания (ТО) с учетом типа двигателя (10% от стоимости для электрических, 20% для дизельных/гибридных). Для российских пользователей локальные платформы (Bratishka, Митракс Т10) упрощают доступ к запчастям и снижают расходы на ТО.

Внедрение беспилотных комплексов повышает эффективность, снижает трудозатраты и минимизирует экологический ущерб. Однако выбор платформы должен учитывать специфику задач, бюджет и условия эксплуатации. Дальнейшее развитие технологий, включая улучшение ИИ и навигации, а также снижение стоимости, сделает беспилотники еще более доступными для лесного и садово-паркового хозяйства.

Литература

- Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Основы лесного хозяйства. М.: Изд-во журнала Деревообрабатывающая промышленность, 2015. 170 с.

2. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. Учебное пособие. М.: Деревообрабатывающая промышленность, 2015. - 230 с.
3. Григорьева О.И., Нгуен Ф.З. Лесные плантации для сырьевого обеспечения деревоперерабатывающих предприятий // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 59-61.
4. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. 2018. С. 79-83.
5. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Повышение экологической эффективности лесохозяйственного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-4 (8-4). С. 51-55.
6. Иванов В.А., Петров М.Е. Автоматизация процессов в лесном хозяйстве // Вестник АГАТУ. 2023. № 2. С. 65–72.
7. Кузнецов А.В. Беспилотные технологии в сельском хозяйстве. М.: Агропром, 2022. – 210 с.
8. Сидоров Н.П. Современные подходы к лесовосстановлению. СПб.: ЛТА, 2020. – 150 с.
9. БПЛА в лесном хозяйстве // Лесной комплекс. 2023. URL: <https://forestcomplex.ru> (дата обращения: 04.06.2025).
10. Husqvarna Automower 450X Product Specifications. Husqvarna Official Website. URL: <https://www.husqvarna.com> (дата обращения 07.06.2025).
11. XAG R150 Technical Data Sheet. XAG Official Website. URL: <https://www.xa.com> (дата обращения 07.06.2025).
12. THeMIS UGV Brochure. Milrem Robotics. URL: <https://milremrobotics.com> (дата обращения 07.06.2025).
13. John Deere Autonomous Tractor Overview. John Deere Official Website. URL: <https://www.deere.com> (дата обращения 07.06.2025).
14. Bratishka UGV Technical Specifications. RosTechnologies. URL: <https://www.rostechnologies.ru> (дата обращения 07.06.2025).
15. Kubota X Tractor Product Information. Kubota Official Website. URL o: <https://www.kubota.com> (дата обращения 07.06.2025).
16. Titan UGV Capabilities. QinetiQ. URL: <https://www.qinetiq.com> (дата обращения 07.06.2025).
17. SHERP UGV Specifications. SHERP Global. URL: <https://sherpglobal.com> (дата обращения 07.06.2025).

18. Митракс Т10 Технические характеристики. Mitrax Official Website. URL: <https://mitrax.ru> (дата обращения 07.06.2025).
19. МФ-705 Мульчер: Техническое описание. Forest Machine. URL: <https://www.forest-machine.ru> (дата обращения 07.06.2025).
20. Warthog UGV Technical Overview. Clearpath Robotics. URL: <https://clearpathrobotics.com> (дата обращения 07.06.2025).
21. TR600 Product Details. Trident Robotics. URL: <https://www.tridentrobotics.com> (дата обращения 07.06.2025).
22. Husky A300 Specifications. Clearpath Robotics. URL: <https://clearpathrobotics.com> (дата обращения 07.06.2025).
23. A012 Plus Technical Data. Unitree Robotics. URL: <https://www.unitree.com> (дата обращения 07.06.2025).
24. Land Tamer 6x6 Overview. Land Tamer Official Website. URL: <https://www.landtamer.com> (дата обращения 07.06.2025).
25. Agri.q Product Information. Agri.q Official Website. URL: <https://www.agriq.in> (дата обращения 07.06.2025).
26. EcoRobotix ARA and AVO Specifications. EcoRobotix Official Website. URL: <https://www.ecorobotix.com> (дата обращения 07.06.2025).
27. SwagBot Research and Specifications. University of Sydney. URL: <https://www.sydney.edu.au> (дата обращения 07.06.2025).
28. Toro Dingo e-Dingo Product Data. Toro Official Website. URL: <https://www.toro.com> (дата обращения 07.06.2025).
29. Lely Discovery Technical Overview. Lely Official Website. URL: <https://www.lely.com> (дата обращения 07.06.2025).
30. Naio Technologies Ted and Oz Specifications. Naio Technologies Official Website. URL: <https://www.naio-technologies.com> (дата обращения 07.06.2025).
31. Статистический анализ данных: методы и инструменты. В. С. Половинко, Москва: Издательство «Статистика», 2023.