

БЕСПИЛОТНОЕ МОБИЛЬНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЛЕСНЫХ УГОДИЙ

Порубов Д.М., Беляев А.М., Береснев П.О., Филатов В.И.,
к.т.н. Зезюлин Д.В., к.т.н. Макаров В.С., д.т.н. Беляков В.В., д.ф.-м.н. Куркин А.А.
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, Россия
dporubov@gmail.com

Ухудшение плодородного состояния биоактивных почв, сельскохозяйственных и лесных угодий, а также береговых зон водоемов от интенсивной сельскохозяйственной, промышленной, транспортной и ресурсодобывающей деятельности человечества с каждым годом экспоненциально возрастает. Свыше 30 % мелиорируемых земель находятся в неудовлетворительном состоянии. Более 18 млн. га территории вокруг промышленных предприятий имеют большую степень загрязнения, в том числе тяжелыми металлами и токсичными веществами. Общеземная площадь экономической зоны, интенсивно осваиваемая человеком, составляет 36 % площади акватории Мирового океана. В последнее десятилетие наблюдается интенсивный выброс на поверхность Мирового океана экологически опасных продуктов захоронений на дне водоемов обычных боеприпасов, химического и бактериологического оружия, а также ядерных отходов. Для контроля уровня загрязнений и принятия мер по их устранению необходим непрерывный мониторинг. Существует как дистанционный, так и наземный (стационарный и передвижной) способы контроля окружающей среды. Для автоматизации процесса наземного мониторинга предлагается использовать беспилотные транспортные средства, оборудованные специальным комплексом приборов. В статье рассмотрен как зарубежный опыт использования робототехнических комплексов в сфере сельского и лесного хозяйств, так и отечественная разработка мобильного робототехнического комплекса, шасси которого может быть использовано для мониторинга состояния почв, лесных угодий и водоемов. Описаны место и типы проводимых испытаний шасси, даны основные технические характеристики. Представлено оборудование, используемое для автономного движения комплекса. Приведены результаты исследований рельефа и физико-механических свойств полотно пути, которые позволяют повысить подвижность робототехнического комплекса. По результатам испытаний сделаны соответствующие выводы о возможности применения разработанного робототехнического комплекса для экологического мониторинга, работ в сфере сельского и лесного хозяйств, поставлены дальнейшие цели по его доработке и усовершенствованию.

Ключевые слова: экологический мониторинг, сельскохозяйственные роботы, беспилотные транспортные средства, сменные движители.

Введение

На территории страны сосредоточено 55 % агроактивных поверхностей мира, 50% пресной воды и 60% запасов древесины, из всего земельного фонда Российской Федерации земли сельскохозяйственного назначения занимают 23 %. На сегодняшний день состояние земель, используемых в сельском хозяйстве продолжает ухудшаться. Ежегодный вынос питательных веществ из почвы вследствие сельскохозяйственной деятельности в 3 раза превышает их возврат с вносимыми минеральными и органическими удобрениями. В России свыше 10 % территорий, на которых ведется сельское хозяйство, находятся в зонах избыточного ув-

лажнения. Мелиорированные земли являются значимой категорией преобразованных земель и занимают 8 % от площади пахотных угодий и позволяют производить около 15 % валового производства растениеводческой продукции. На них производится до 70 % овощей, весь рис, более 20% грубых и сочных кормов и другой продукции. Однако в неудовлетворительном мелиоративном состоянии находятся свыше 30 % осушенных земель, тенденция к ухудшению состояния сохраняется.

Также в неудовлетворительном состоянии находятся земли, воздействие на которые оказывают предприятия промышленной отрасли. В ряде регионов Российской Федерации за-

грязнение почв сельскохозяйственных угодий тяжелыми металлами, пестицидами, радионуклидами, токсичными органическими соединениями достигает уровней, при которых производимая продукция не отвечает требованиям санитарно-гигиенических нормативов. Ареалы распространения техногенных выбросов вокруг промышленных комплексов охватывают 18 млн га. Площадь загрязнения тяжелыми металлами почв сельскохозяйственных угодий составляет 3,6 млн га. Из них более 1 млн га почв сельскохозяйственного пользования загрязнено особо токсичными элементами (I класс опасности) и около 2,3 млн га – токсичными (II класс опасности).

Цель исследования

Для динамического определения состояния проблемных участков сельскохозяйственных угодий, предотвращения их выбытия, вовлечения в сельскохозяйственное производство, а также принятия мер по устранению проблем, разработке программ сохранения и восстановления плодородия почв требуется экологический мониторинг. Согласно распоряжению Правительства РФ от 30 июля 2010 г. № 1292-р в перечень основных задач государственного мониторинга сельскохозяйственных земель входят следующие:

- своевременное выявление изменений состояния сельскохозяйственных земель, оценка этих изменений, прогноз и выработка рекомендаций по повышению их плодородия, предупреждению и устранению последствий негативных процессов;
- получение данных на основе систематического обследования плодородия почв и наблюдений за качественным состоянием и эффективным использованием сельскохозяйственных земель с использованием географической привязки сельскохозяйственных полигонов и контуров;
- мониторинг состояния растительности сельскохозяйственных угодий.

В настоящее время существует как дистанционный (спутниковый), так и наземный (с помощью федеральных государственных учреждений – центров, станций агрохимической службы, центров химизации и сельскохозяйственной радиологии) способы мониторинга сельскохозяйственных зон, использующих активно человеческий фактор и передвижные контрольно-измерительные лаборатории. Для

обеспечения полного наземного мониторинга в любой точке сельскохозяйственных угодий и исключения человека из мониторинга необходим специальный роботизированный комплекс, который должен обладать повышенной подвижностью (проходимостью) и быть экологически безопасным для плодородного поверхностного слоя, а также обладать способностью «нести» на борту специальное оборудование.

Материалы и методы исследования

На сегодняшний день робототехнические комплексы применяются во многих сферах человеческой деятельности. В основном, их применение направлено на выполнение задач, опасных для жизни и здоровья человека, а также для решения циклических, рутинных для человека задач. В нашей стране большое распространение роботов наблюдается в специальных государственных подразделениях, таких как вооруженные силы (ВС), специальные подразделения МВД, ФСБ и МЧС.

Применение роботов в гражданской сфере активно распространено за рубежом. В частности, в сельском хозяйстве роботы выполняют задачи такие, как распашка, культивация земель, посев, удобрение и сбор урожая, покос травы и т.д.

Наиболее популярными и применимыми являются роботы [1–3]: тракторы-беспилотники «*McConnel Robopower*» и «*Spirit*», автономный харвестер «*Besten*» (рис. 1).

В данный момент в России активно ведутся работы по внедрению роботов в гражданскую сферу деятельности. Одной из таких работ в рамках ФЦП № 14.574.21.0089 является создание автономного мобильного робототехнического комплекса (АМРК) для мониторинга прибрежных зон. Данный комплекс разработан и изготовлен в НГТУ им. Р.Е. Алексеева и позволяет посредством мониторинга прибрежной зоны прогнозировать возникновение морских природных и техногенных катастроф. Этот робототехнический комплекс при определенной доработке может быть применен и системе мониторинга сельскохозяйственных угодий.

Общие виды и кинематическая схема АМРК [4, 5] представлены на рис. 2. Благодаря сменным движителям (колесный, гусеничный, роторно-винтовой) возможно применение комплекса на любых типах поверхностей, исходя



а



б



в

Рис. 1. Зарубежные аналоги: а – «McConnel Robopower» [1]; б – «Spirit» [2]; в – «Besten» [3]

из заданных условий эксплуатации по критериям подвижности [6–8] и эффективности [8, 9]. Телекоммуникационное управление комплексом позволяет оператору вести работу из безопасной зоны.

Колесный движитель применим для мониторинга параметров сельскохозяйственных полигонов и контуров, для определения таких показателей, как плодородие почв, развитие процессов деградации почв, содержанием элементов питания и органических веществ, разрушением почвенной структуры и т.д. Такой

тип движителя экологически безопасен для плодородных слабонесущих слоев почв. Гусеничный движитель может быть использован при проведении мониторинга ресурсов земель лесного фонда; лесов, находящихся в зонах промышленных выбросов и др. В сравнении с колесным, гусеничный тип движителя позволяет повысить подвижность рассматриваемого транспортного средства в тяжелых условиях лесных угодий. Роторно-винтовой движитель может быть использован для мониторинга болотных экосистем, наблюдений за затопленной торфяной залежью, проведения мелиоративных работ и прочее, так как другие типы движителей не способны успешно выполнять поставленные задачи на затопленных участках и болотистой местности. Это позволяет применять АМРК на территориях рисовых чеков.

Результаты исследования и их обсуждение

Опытный образец данного комплекса был испытан в полевых условиях на острове Сахалин в мае–июне 2016 г. при участии специального конструкторского бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук (СКБ САМИ ДВО РАН) (рис. 3).

Испытания показали, что подход применения сменных движителей позволяет существенно повысить подвижность комплекса и значительно расширить область его территориального использования.

Были проведены ходовые испытания шасси (технические характеристики которого представлены в табл. 1) с целью отработки конструкции и исследования подвижности.

Таблица 1

Технические характеристики шасси АМРК

Характеристика	Значение
Масса, кг	1000
Мощность двигателя, кВт	60
Максимальный угол подъема, град.	43
Максимальная скорость, км/ч	45 – колесный движитель 34 – гусеничный движитель
Расход топлива л/100км	18

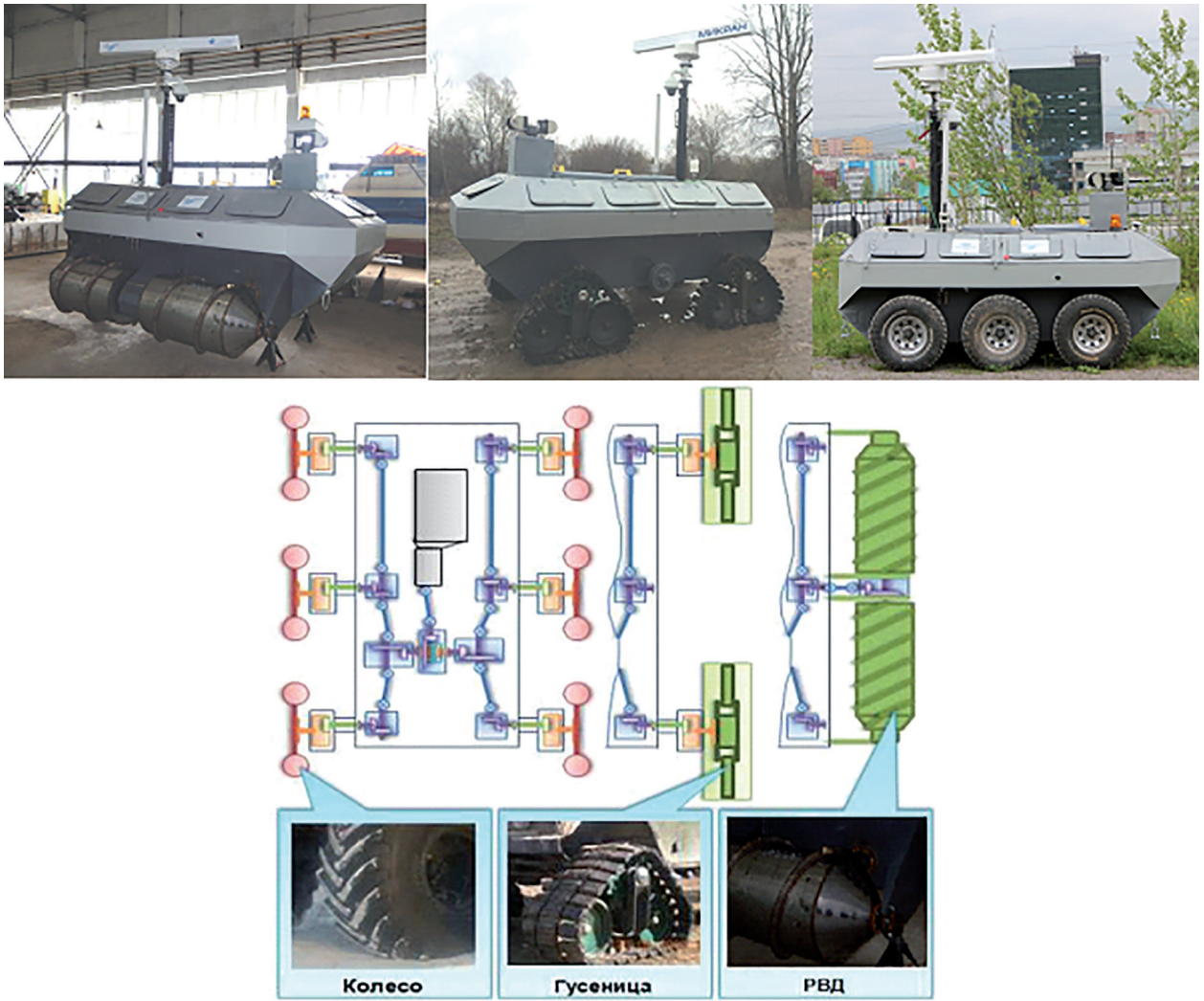


Рис. 2. Общие виды и кинематическая схема АМРК

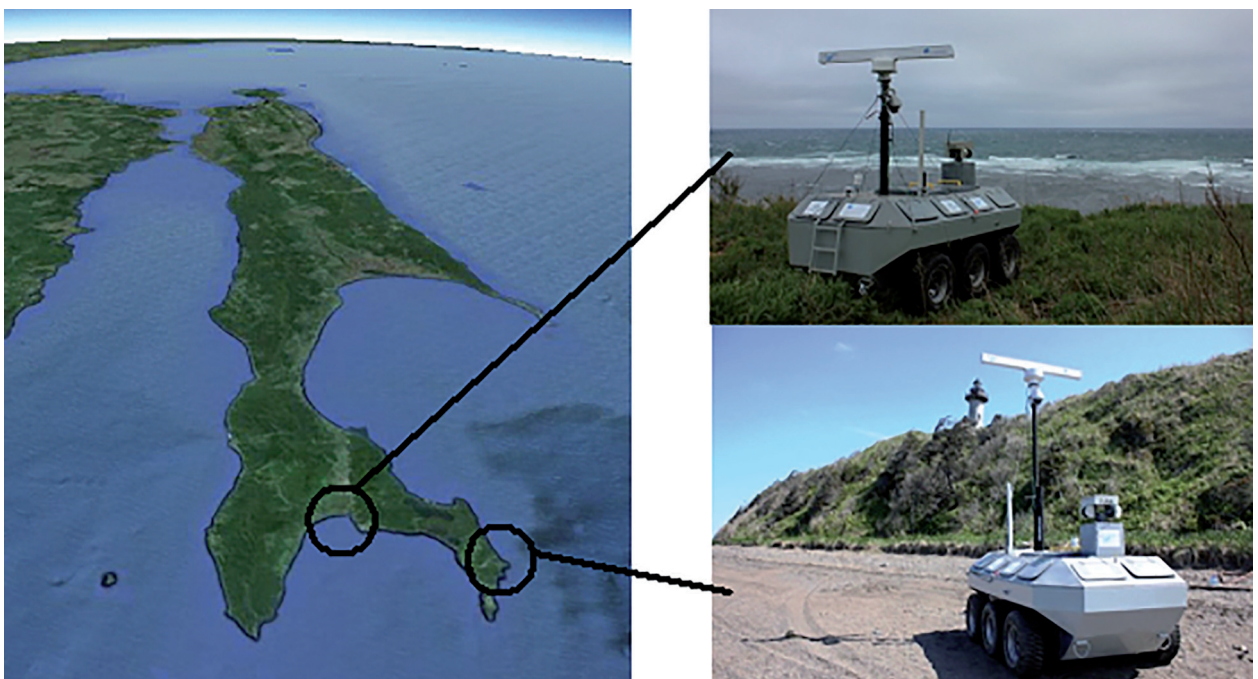


Рис. 3. Автономный мобильный роботизированный комплекс и карта места проведения испытаний

В ходе полевых испытаний были отработаны типовые маневры в беспилотном режиме АМРК: движение по заданному коридору на короткой дистанции и на длинной дистанции, криволинейное движение по заданному коридору (разворот, «змейка»), движение до контрольной точки и обратно, движение через контрольные точки. Работу в беспилотном режиме обеспечивало навигационное оборудование фирмы *Orient Systems*. Передаваемые данные содержат информацию о количестве обнаруженных спутников и мощности сигнала каждого из них, географических координатах, скорости передвижения, высоте над уровнем моря.

Была произведена оценка весовых параметров АМРК, сила сопротивления движению, сила тяги по сцеплению, усилие бокового сдвига, максимальный угол подъема машины, динамические качества машины, плавность хода машины, топливная экономичность, угол поперечной статической устойчивости.

Для обнаружения препятствий на передней части корпуса шасси установлена непрерывно вращающаяся платформа с двумя лидарами *Sick LMS291Pro*. При установке лидаров на

вращающуюся платформу система обеспечивает получения трехмерного облака точек измерения расстояния вокруг платформы. В случае возникновения препятствия в 10 метрах от робота система их обнаружения генерирует соответствующие сообщения в систему управления. Пример работы оборудования представлен на рис. 4.

Для верификации данных, получаемых с радиолокационной станции кругового обзора *MRS-1000*, робототехнический комплекс оснащен видео камерой *AXIS Q6045-E*, которая создает синхронизированный видеопоток, показанный на рис. 5. Эта камера также может быть использована для системы дистанционного управления АМРК.

Для получения метеорологических данных, таких как атмосферное давление, относительная влажность, осадки, температура, скорость и направление ветра, использовалась метеостанция *Vaisala WXT520*, которая устанавливается на боковую часть шасси и имеет возможность фиксирования на разной высоте.

В ходе проведения полевых экспериментальных исследований оценивались рельеф [10–12] и физико-механические свойства по-

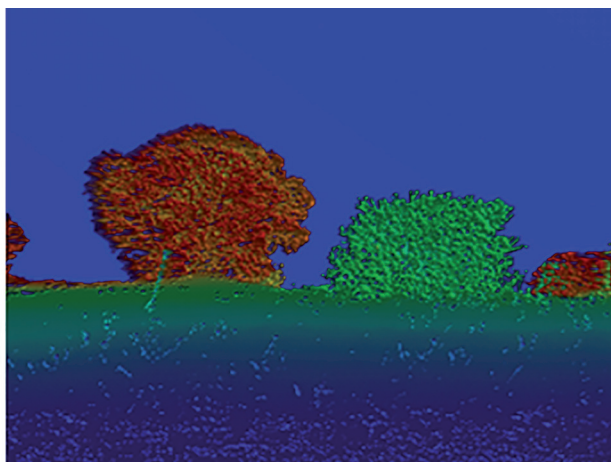


Рис. 4. Демонстрация работы лидарной системы обнаружения препятствий



Рис. 5. Видео с камеры в процессе измерений

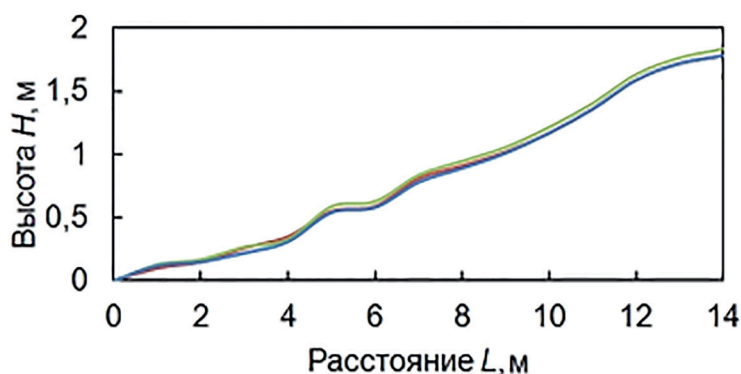
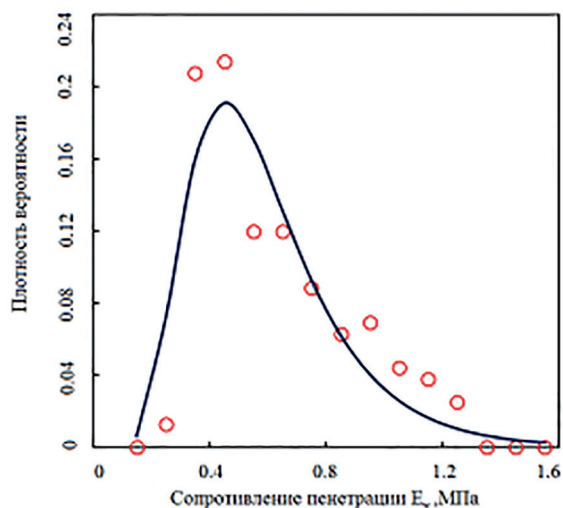


Рис. 6. Фрагменты и результаты изменения сопротивления пенетрации и профиля участка местности

лотна пути. Примеры измеренного профиля участка и изменение сопротивления пенетрации на участке движения АМРК представлены на рис. 6.

Полученные данные используются для разработки новых статистических моделей поверхностей береговых зон, позволяющих прогнозировать пути повышения подвижности и эффективности функционирования мобильных робототехнических комплексов. Каждый вариант шасси (колесный, гусеничный, роторно-винтовой) имеет свою область эффективного использования, и именно статистические модели опорных поверхностей позволят правильно выбирать движитель и конструкцию мобильных робототехнических комплексов мониторинга прибрежных районов. В НГТУ им. Р.Е. Алексеева аналогичные исследования проводятся для территорий сельскохозяйственных и лесных угодий Нижегородской об-

ласти [13, 14]. Помимо данных работ в НГТУ им. Р.Е. Алексеева был проведен большой комплекс исследований по различным типам поверхностей движения [15, 16], включая заснеженные поверхности движения [17–21], составляющих дорожно-грунтовое основание для транспортно-технологических машин (ТТМ). Исходя из полученных результатов и накопленного опыта можно подобрать тип и конструкцию движителя, а также самой машины таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную подвижность ТТМ на любой местности [4–21].

В общем виде методику выбора параметров шасси и типов движителя можно представить в виде схемы (рис. 7).

На первом этапе базовое шасси настраивается исходя из функционального назначения. Второй этап включает в себя выбор условий эксплуатации транспортного средства. На тре-

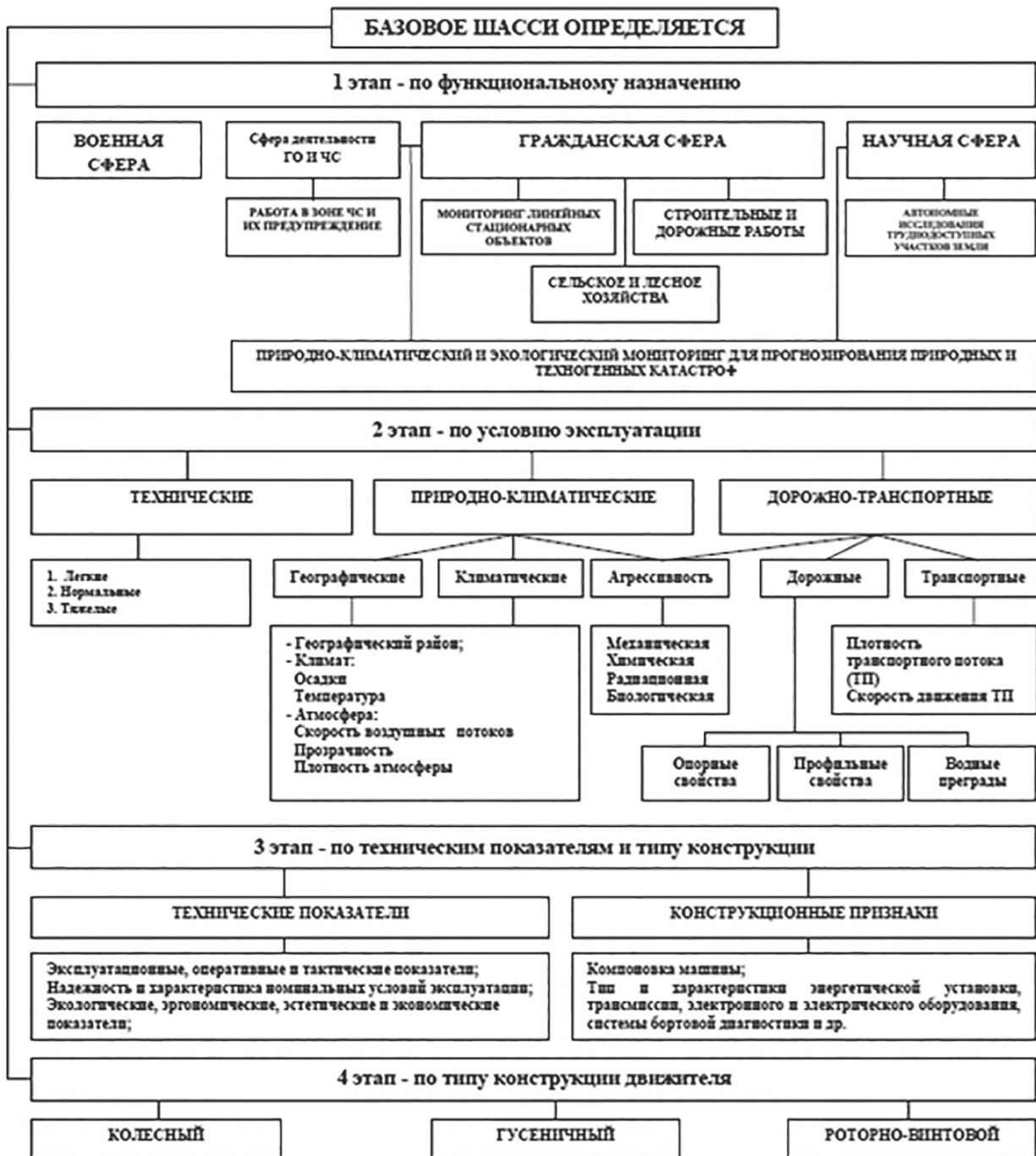


Рис. 7. Схема выбора конструктивных параметров шасси

твом этапе удовлетворяются требования к техническим и конструктивным показателям. Все три этапа дают вывод о типе двигателя, соответствующего выбранным условиям эксплуатации и назначения транспортного средства, который выбирается на четвертом этапе.

В дальнейшем планируется установка на шасси гидрообъемной трансмиссии, которая имеет ряд преимуществ перед механической: бесступенчатое изменение крутящего момента

от двигателя к движителю, возможность автоматического регулирования крутящих моментов по закону, который бы учитывал текущие характеристики контакта движитель-опорное основание. Все это позволит повысить подвижность АМРК на любых опорных поверхностях, расширит возможности шасси по установке специального оборудования, а также улучшит как дистанционную работу комплекса, так и работу в автономном режиме.

Выводы

В статье представлены научно-технические решения в области создания автономных мобильных платформ для комплексов мониторинга, осуществляющих информационное обеспечение управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью, а также заблаговременные меры по смягчению возможных последствий чрезвычайных ситуаций и проведение аварийно-спасательных работ.

Несомненно, положительной стороной работы является практическая реализация ее результатов при создании экспериментального образца АМРК, используемого для мониторинга прибрежной зоны в беспилотном режиме.

Результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждают эффективность функционирования робототехнического комплекса.

Представлены особенности конструкции разработанного АМРК для специфических условий эксплуатации, а также описание сенсоров.

При проектировании использовался подход прогнозирования мобильности и определения оптимальных режимов функционирования транспортного средства на предварительно исследованных заданных маршрутах местности. Определяющий вклад в обеспечение необходимого уровня подвижности АМРК в зависимости от характеристик местности вносит выбор типа двигателя.

Таким образом, работа содержит законченное решение проблемы, связанное с разработкой нового вида мобильных платформ с возможностью переоснащения различными типами двигателей для обеспечения эффективности их использования в различных условиях движения (эксплуатации). Полученные результаты вносят существенный вклад в инструментарий создания образцов беспилотной сельскохозяйственной техники, техники для мониторинга природных объектов, чрезвычайных ситуаций и выполнения специальных операций.

Литература

1. Fadsdirectory: <http://www.fadsdirectory.com/media/dContent/uploads/Mcconnell/Robocut/ROBOCUT1.jpg>
2. Агроправда: <http://agroppravda.com/assets/uploads/news/60/5d/25606-Spirit-Autonomous-Tractor.jpg>
3. Интернет журнал «Лесопромышленник»: http://www.lesopromyshlennik.ru/magazine_5_2009_files/Gremo_1.jpg
4. Makarov V., Kurkin A., Zeziulin D., Belyakov V. Development of chassis of robotic system for coastal monitoring // Proceedings of 13th European conference of the international society for terrain vehicle systems. 21–23 October, 2015, Rome, Italy. 2015. P. 524–529.
5. Tyugin D., Giniyatullin A., Kurkina O., Belyakov V., Makarov V., Zeziulin D., Kuznetsov K. Autonomous robotic system for coastal monitoring // Proceedings of 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 2015. 2015. V. 2. P. 933–943
6. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М. Беляев, М.Е. Бушуева, У.Ш. Вахидов, К.О. Гончаров, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, К.Я. Левиовский, В.С. Макаров, А.В. Папунин, А.В. Тумасов, А.В. Федоренко // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 3(100). С. 145–175.
7. Автоматические и интеллектуальные системы транспортных средств. Автомобили и тракторы, многоцелевые колесные и гусеничные машины, наземные транспортно-технологические комплексы, мобильные роботы и планетоходы / Под общ. ред. В. Белякова и Л. Палковича. Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. 2013. 475 с.
8. Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Е.М. Кудряшов, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 1. С. 143–51.
9. Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Д.В. Зезюлин, Е.М. Кудряшов, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
10. Вахидов У.Ш., Беляков В.В., Макаров В.С. Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 7. С. 24–26.
11. Вахидов У.Ш., Макаров В.С., Беляков В.В. Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. № 1. С. 82–87.
12. Исследования прибрежных районов Охотского моря с использованием наземного мобильного робота / А.А. Куркин, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, А.И. Зайцев, А.М. Беляев, П.О. Береснев, В.В. Беляков, Е.Н. Пелиновский, Д.Ю. Тюгин // Экологические системы и приборы. Изд-во «Научтехлитиздат», Москва. 2016. № 8. С. 11–17

13. Редкозубов, А.В. Математическая модель поверхности движения лесных дорог / А.В. Редкозубов, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 4(106). С. 348–352.
14. Редкозубов А.В., Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Беляков В.В. Результаты замеров микропрофиля дорожно-грунтовых оснований, предназначенных для движения транспортно-технологических машин // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 10-2. С. 409–412.
15. Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 3. С. 162–170.
16. Экспериментальные исследования поворота многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 4. С. 175–181.
17. Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Беляков В.В. Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1–2. № 42–43. С. 41–42.
18. К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров, А.В. Федоренко // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 1(102). С. 136–141.
19. Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В. Снег как полотно пути для транспортных средств // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 21–24.
20. Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... д-ра техн. наук. Нижний Новгород. 1999. 485 с.
21. Makarov V., Zeziulin D., Belyakov V. Prediction of all-terrain vehicles mobility in snowscape scenes // Proceedings 18th International Conference of the ISTVS 18. 2014.
2. Agroppravda: <http://agroppravda.com/assets/uploads/news/60/5d/25606-Spirit-Autonomous-Tractor.jpg>
3. Internet zhurnal «Lesopromyshlennik»: http://www.lesopromyshlennik.ru/magazine_5_2009.files/Gremo_1.jpg
4. Makarov V., Kurkin A., Zeziulin D., Belyakov V. Development of chassis of robotic system for coastal monitoring. Proceedings of 13th European conference of the international society for terrain vehicle systems. 21-23 October, 2015, Rome, Italy. 2015. P. 524–529.
5. Tyugin D., Giniyatullin A., Kurkina O., Belyakov V., Makarov V., Zeziulin D., Kuznetsov K. Autonomous robotic system for coastal monitoring. Proceedings of 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 2015. 2015. V. 2. P. 933–943.
6. The concept of mobility of land transport-technological machines. V.V. Belyakov, A.M. Belyaev, M.E. Bushueva, U.Sh. Vakhidov, K.O. Goncharov, D.V. Zezyulin, V.E. Kolotilin, K.Ya. Leliovskiy, V.S. Makarov, A.V. Papunin, A.V. Tumasov, A.V. Fedorenko. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2013. № 3(100). pp. 145–175 (in Russ.).
7. *Avtomaticheskie i intellektual'nye sistemy transportnykh sredstv. Avtomobili i traktory, mnogotselevye kolесnye i gusenichnye mashiny, nazemnye transportno-tekhnologicheskie komplekсы, mobil'nye roboty i planetokhody* [Automatic and intelligent vehicle systems. Automobiles and tractors, multi-purpose wheeled and caterpillar vehicles, ground transport-technological complexes, mobile robots and planet-carriers]. Pod obshch. red. V. Belyakova i L. Palkovicha. Nizhniy Novgorod: Nizhegorod. gos. tekhn. un-t im. R.E. Alekseeva Publ. 2013. 475 p.
8. Mobility of special vehicles on roads of “stone-road” type. V.V. Belyakov, U.Sh. Vakhidov, D.A. Galkin, A.S. Zaytsev, E.M. Kudryashov, V.S. Makarov. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2012. No 1, pp. 143–151 (in Russ.).
9. Evaluation of the efficiency of special vehicles when driving on snow. V.V. Belyakov, D.A. Galkin, A.S. Zaytsev, D.V. Zezyulin, E.M. Kudryashov, V.S. Makarov. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2012. No 2(95), pp. 156–166 (in Russ.).
10. Vakhidov U.Sh., Belyakov V.V., Makarov V.S. Simulation of the motion paths of vehicles, specific to the territory of the North Caucasus. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*. 2011. No 7, pp. 24–26 (in Russ.).
11. Vakhidov U.Sh., Makarov V.S., Belyakov V.V. Determination of characteristics of the micro profile

References

1. Fadsdirectory: <http://www.fadsdirectory.com/media/dContent/uploads/Mcconnell/Robocut/ROBOCUT1.jpg>

- in the floodplains of the rivers of the North Caucasus. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2011. No 1, pp. 82–87 (in Russ.).
12. Studies of the coastal areas of the Sea of Okhotsk using a ground mobile robot. A.A. Kurkin, D.V. Zezyulin, V.S. Makarov, A.I. Zaytsev, A.M. Belyaev, P.O. Beresnev, V.V. Belyakov, E.N. Pelinovskiy, D.Yu. Tyugin. *Ekologicheskie sistemy i pribory. Izd-vo «Nauchtekhlitizdat»*, Moscow. 2016. No 8. pp. 11–17 (in Russ.).
 13. Redkozubov A.V., Zezyulin D.V., Makarov V.S., Belyakov V.V. Mathematical model of the surface of forest roads. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2014. No 4(106), pp. 348–352 (in Russ.).
 14. Redkozubov A.V., Zezyulin D.V., Makarov V.S., Belyakov V.V. Results of measurements of the micro-profile of road and soil bases intended for the movement of transport-technological machines. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2013. No 10–2, pp. 409–412 (in Russ.).
 1. Experimental-theoretical studies of the reference patency of multi-axle wheeled machines. L.V. Barakhtanov, V.V. Belyakov, D.A. Galkin, A.S. Zaytsev, D.V. Zezyulin, V.S. Makarov. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2012. No 3, pp. 162–170 (in Russ.).
 2. Experimental studies of the rotation of multi-axle wheeled vehicles. L.V. Barakhtanov, V.V. Belyakov, D.A. Galkin, A.S. Zaytsev, D.V. Zezyulin, V.S. Makarov. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2012. No 4, pp. 175–181 (in Russ.).
 3. Zezyulin D.V., Makarov V.S., Belyakov V.V. Estimated analysis of the effect of the propulsion parameters on the performance of wheeled vehicles when driving along the snow canvas of the track. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*. 2012. T. 1-2. No 42-43, pp. 41–42 (in Russ.).
 4. The choice of experimental data for the compilation of statistical models of the snow cover as pathways for transport-technological machines. V.V. Belyakov, D.V. Zezyulin, V.E. Kolotilin, V.S. Makarov, A.V. Fedorenko. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2014. No 1(102), pp. 136–141 (in Russ.).
 5. Makarov V.S., Zezyulin D.V., Belyakov V.V. Snow as a roadway for vehicles. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014. No 4, pp. 21–24 (in Russ.).
 6. Belyakov, V.V. *Vzaimodeystvie so snezhnym pokrovom elastichnykh dvizhiteley spetsial'nykh transportnykh sredstv*. Diss. ... d-ra tekhn. nauk [Interaction with the snow cover of elastic propellers of special vehicles. Dissertation for Candidate of technical sciences degree]. Nizhniy Novgorod, 1999. 485 p.
 7. Makarov V., Zezyulin D., Belyakov V. Prediction of all-terrain vehicles mobility in snowscape scenes. Proceedings 18th International Conference of the ISTVS 18. 2014.

UNMANNED MOBILE VEHICLE FOR MONITORING AGRICULTURAL AND FOREST LAND

D.M. Porubov, A.M. Belyaev, P.O. Beresnev, V.I. Filatov, Ph.D. **D.V. Zezyulin**,
Ph.D. **V.S. Makarov**, Dr. Eng. **V.V. Belyakov**, Dr. Sc. **A.A. Kurkin**
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia
dporubov@gmail.com

Deterioration of the fertile condition of bioactive soils, agricultural and forest lands, as well as coastal zones of reservoirs from the intensive agricultural, industrial, transport and resource-producing activities of mankind increases exponentially with each passing year. More than 30 % of the reclaimed lands are in unsatisfactory condition. More than 18 million hectares of territory around industrial enterprises have a high degree of pollution, including heavy metals and toxic substances. The global area of the economic zone, intensively mastered by man, is 36 % of the area of the water area of the World Ocean. Continuous monitoring is required to control the level of pollution and take measures to eliminate them. There is both a remote and a land (stationary and mobile) way of monitoring the environment. To automate the ground monitoring process, it is proposed to use unmanned vehicles equipped with a special instrument cluster. The article considers both foreign experience in the use of robotic complexes in the field of agriculture and forestry, as well as the domestic development of a mobile robotic complex, whose chassis can be used to monitor the condition of soils, forest lands and water bodies. The place and types of conducted chassis tests are described, the main technical characteristics are given. Presented equipment used for autonomous movement of the complex. The results of studies of the relief and physico-mechanical properties of the track are given, which make it possible to increase the mobility of the robotic complex. Based on the results of the tests, relevant conclusions were drawn on the possibility of using the developed robotic complex for environmental monitoring, works in the field of agriculture and forestry, further goals for its improvement and improvement were set.

Keywords: ecological monitoring, agricultural robots, unmanned vehicles, removable propellers.