

необходимы для дальнейшей доработки опытного образца, а также для представления технической характеристики в паспорте минитрактора, в рекламных буклетах и др.

#### **Список использованной литературы**

1. Минитракторы // В.В. Бурков, Е.П. Зикунов, М.Е. Иовлев, Н.Н. Ткешелашвили; под общ. Ред. В.В. Буркова. – Л.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
2. Картошкин А.П. Тракторы. // А.П. Картошкин, И.Н. Усс, А.И. Бобровник, В.Г. Левков, Т.А. Варфоломеева, А.И. Фомичев: Учебное пособие. – СПб.: Проспект науки, 2018 – 736 с.
3. Картошкин А.П., Фомичёв А.И., Долгушин В.А. Результаты лабораторных тягово-динамических и топливно-экономических испытаний трактора Скаут Т-25 // Известия Международной академии аграрного образования. – 2021. – № 55. – С. 20–28.
4. Фомичёв А.И., Долгушин В.А., Картошкин А.П. Результаты тягово-динамических и топливно-экономических испытаний трактора Митракс Т-10 // Известия Санкт-петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2(59). – С. 115–123.
5. Хабардин С.В. Определение мощностных показателей тракторов тяговым методом при трогании с места под нагрузкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. – Иркутск, 2014. – 205 с.
6. Kartoshkin A.P., Filimonov V.F., Fomithev A.I. Investigation of Traction Properties of Small-Sized Agricultural Machinery // International Conference on Advances in Science and Technology (coast. Herceg Novi, Vontenegro, 26-29.05.2022) – P. 49-52. ISBN 978-9940-611-03-3.

УДК 631.372

### **МОБИЛЬНЫЙ АГРО-РОБОТ С КОЛЁСАМИ МЕКАНУМ КАК АЛЬТЕРНАТИВНА ГУСЕНИЧНОМУ РОБОТУ**

**С.А. Павлюковец, канд. техн. наук, доцент,**

**А.А. Радкевич, магистрант**

*Белорусский национальный технический университет,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*s.pauliukavets@gmail.com, artyomradkevichbntu@gmail.com*

*Аннотация:* Проанализированы аспекты применения гусеничных и колёсных мобильных агро-роботов в земледелии и растениеводстве, указаны преимущества и недостатки колёсного и гусенич-

ного хода. На основании анализа сельскохозяйственных работ предложена концепция мобильного агро-робота на колёсах типа меканум как альтернатива гусеничному роботу для выполнения ряда операций.

*Abstract:* Aspects of the use of tracked and wheeled mobile agro-robots in agriculture and crop production were analyzed, the advantages and disadvantages of wheeled and tracked vehicles were indicated. Based on an analysis of agricultural work, the concept of a mobile agro-robot on mecanum wheels has been proposed as an alternative to a tracked robot for performing a number of operations, primarily in precision agriculture.

*Ключевые слова:* мобильный робот, агро-робот, гусеничный ход, меканум колесо, точное земледелие, роботизация.

*Keywords:* mobile robot, agro-robot, caterpillar drive, mecanum wheel, precision farming, robotization.

## **Введение**

С развитием и интеллектуальных технологий всё более активно происходит внедрение робототехнических комплексов в сельское хозяйство, где они успешно занимают нишу, в том числе, мобильной агротехники. Перспективной является концепция беспилотного мобильного робота с различным сельскохозяйственным навесным оборудованием, способного автономно передвигаться по сигналам от GPS-приёмника. Вместе с тем, возникает проблема выбора типа движителя, которая может иметь различные пути решения в зависимости от типа выполняемых роботом операции. Наибольшее распространение получили мобильные автономные агро-роботы с колёсным и гусеничным ходом [1]. Необходимо отметить, что основное применение гусеничные движители нашли в тяжёлых тракторах, задействованных на полевых работах с вязкими почвами. Такие роботы целесообразны при выполнении операций культивации, уничтожения сорняков, прореживания и т.п., где необходимо произвести большой объем однотипных работ, а точность позиционирования не существенна. При всех преимуществах гусеничных движителей, связанных с улучшенной проходимостью на почвах с низкой несущей способностью, они оказывают высокое давление на поверхность.

## **Основная часть**

Как альтернатива гусеничным роботам применение находят четырёхколёсные агро-роботы с колёсами типа меканум. Подобные роботы уже используются в точном земледелии для автоматизации операций полива растений, пропалывания и сборки плодов, а также для дифференцированного внесения удобрений в почву, не допуская их разбрызгивания по большой площади. За счёт способности осуществления всенаправленного движения при управлении мобильным агро-роботом с колёсами меканум, возможно применение более оптимальных вариантов траекторного движения, основывающихся на кинематике колесных движителей.

Несмотря на то, что колёса меканум обладают высокой маневренностью, позволяющей роботу работать в ограниченном пространстве, существует множество непригодных для его передвижения сред. Поскольку устойчивость меканум роботов зависит от скорости каждого колеса [2], считается, что агро-роботы на меканум колёсах не подходят для передвижения по неровным поверхностям, например, на пахоте. Однако исследований о потенциале роботов с колёсами меканум в полевых условиях крайне мало. В работе [3] спроектирован мобильный агро-робот на колесах меканум и проведены испытания его работы в условиях пересеченной местности. За счёт широкой колесной базы, позволяющей создавать меньшее давление на грунт, удалось добиться стабильного движения без пробуксовки на полях с подзолистыми почвами.

Еще одно направление применения мобильных агро-роботов на колесах меканум связано с выполнением полевых работ на площадях со значительным уклоном, где возможно опрокидывание робота под действием смещения центра его масс. Для гусеничных роботов движение на крутых склонах сильно ограничено из-за изменения центра масс-робота под действием скатывающей силы и возникновения пробуксовки гусеничных лент при повороте. По этой причине для выполнения разнообразных операций на местности с крутым уклоном, например, сенокосения, целесообразно задействовать агро-роботы с колёсами меканум, способного совершать голономное движение на склоне [3].

## **Заключение**

Агро-робот с колёсами типа меканум является перспективной альтернативой гусеничному роботу в ряде отраслей сельского хозяйства: в точном земледелии, при дифференцированном внесении удобрений в почву, при выполнении операций на местности с

большим уклоном. Однако, область его использования желательнее ограничить твёрдыми почвами, поскольку на почвах с низкой несущей способностью и на пересечённой местности может возникнуть пробуксовывание и проскальзывание колёс, и робот может потерять управляемость.

#### **Список использованной литературы**

1. А. В. Шевченко, Р. В. Мещеряков, А. Н. Мигачев, Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника. // Пробл. управл., 2019, вып. 5. – С. 3–18.

2. К вопросу управления мобильным роботом с колесами все-направленного типа / С.А. Павлюковец [и др.] // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей IX Международной научно-практической конференции, Минск, 17–18 мая 2023 г. : в 2 ч. Ч. 2 / БГУИР; редкол.: В.А. Богуш [и др.]. Минск, 2023. С. 94–102.

3. Nishimura, Y., Yamaguchi, T. Grass Cutting Robot for Inclined Surfaces in Hilly and Mountainous Areas. Sensors (Basel). 2023, 528.

УДК 629.01

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ПОЕЗДОВ**

**С.Ю. Радин, канд. техн. наук, доцент,  
С.Ю. Шубкин, канд. техн. наук, доцент,  
С.А. Добрин, аспирант,  
А.О. Епанчин, аспирант**

*ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»,  
г. Елец, Российская Федерация  
shubkin.92@mail.ru*

*Аннотация:* В статье приводится описание конструкции поворотного круга автотракторного прицепа, которое позволяет повысить надежность крепления замкового кольца и его срок службы.

*Abstract:* The article describes the design of the rotary wheel of the tractor trailer, which allows to increase the reliability of the fastening of the lock ring and its service life.

*Ключевые слова:* автотракторный прицеп, поворотный круг, эффективность

*Keywords:* tractor trailer, turntable, efficiency