

хозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 1. С. 23–37. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567812>.

6. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 4. С. 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>. EDN YFRZDV.

7. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации Системы технологий и машин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3(36). С. 40–45. EDN RLCДНО.

8. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 1. С. 16–21. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21>. EDN НУҢҢАN.

УДК 631.3:621.865.8

В.А. Борисов, канд. техн. наук

*Некоммерческое партнерство «Международный центр
инжиниринга и инноваций», г. Москва
e-mail: v.a.borisov@yandex.ru*

Е.И. Битус, д-р техн. наук, профессор

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский биотехнологический университет»,
г. Москва*

ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ПО ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ С ТРОСОВЫМИ ПРИВОДАМИ (CABLE-DRIVEN PARALLEL ROBOTS)

Ключевые слова: декарбонизация, сельское хозяйство, погрузо-разгрузочные работы, манипулятор с тросовым приводом, кабельный робот, механизм параллельной структуры, энергоэффективность.

Key words: decarbonization, agriculture, loading and unloading operations, cable-driven manipulator, cable robot, parallel structure mechanism, energy efficiency.

Аннотация: В статье представлен обзор современных инжиниринговых решений, направленных на снижение углеродного следа при выполнении погрузо-разгрузочных операций в сельском хозяйстве. Применение манипуляторов параллельной структуры с тросовыми приводами (CDPR) является перспективным направлением декарбонизации. Проанализированы ключевые преимущества таких систем: снижение материалоемкости,

повышение энергоэффективности и возможность использования альтернативных источников энергии. На основе сравнительной оценки выявлен потенциал снижения расхода топлива на 20–30%.

Summary: The article provides an overview of modern engineering solutions aimed at reducing the carbon footprint of loading and unloading operations in agriculture. The use of parallel structure manipulators with cable drives (CDPR) is a promising direction for decarbonization. The key advantages of such systems are analyzed, including reduced material consumption, improved energy efficiency, and the possibility of using alternative energy sources. A comparative assessment reveals the potential for reducing fuel consumption by 20–30%.

В структуре себестоимости сельскохозяйственной продукции значительную долю составляют затраты на транспортировку и погрузо-разгрузочные работы. По различным оценкам, они могут достигать 35% от общих трудозатрат в растениеводстве и до 17% – в животноводстве, а в конечной стоимости продукции эта доля может достигать до 40%. Более половины этих затрат приходится на транспортную составляющую, остальное – непосредственно на погрузку и разгрузку [1]. В условиях глобального тренда на декарбонизацию экономики, оптимизация этих процессов становится критически важной задачей. Традиционное погрузочное оборудование (фронтальные погрузчики, краны-манипуляторы на базе тракторов) обладает рядом недостатков, напрямую влияющих на выбросы парниковых газов. К ним относятся: высокая собственная масса металлоконструкций, ограниченное количество степеней свободы, приводящее к необходимости перемещения всей машины для позиционирования груза, и использование двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Целью данной работы является обзор инновационных решений, позволяющих снизить углеродный след погрузо-разгрузочных операций в сельском хозяйстве за счет применения роботизированных манипуляторов с тросовыми приводами.

1. Основные направления декарбонизации погрузочной техники.

Анализ современных тенденций [2, 3] позволяет выделить четыре ключевых направления декарбонизации погрузочной техники, применимых в сельском хозяйстве: увеличение кинематических возможностей (применение механизмов с 4-я и более степенями свободы позволяет позиционировать рабочий орган без перемещения всего транспортного средства, что существенно снижает энергозатраты); снижение массы конструкций (использование высокопрочных сталей и композитных материалов (на основе арамидов, базальта) для изготовления узлов и металлоконструкций); применение маломассных приводов и гибких звеньев (внедрение тросовых приводов, которые значительно легче традиционных гидравлических или жестких рычажных систем); использование альтернативных видов топлива (переход на природный газ, биогаз или электрическую энергию для привода базового шасси).

2. Манипуляторы параллельной структуры с тросовыми приводами (CDPR).

Класс механизмов, наиболее полно отвечающих первым трем направлениям – это манипуляторы параллельной структуры с тросовыми приводами (Cable-Driven Parallel Robots). Интерес к ним возник в конце 80-х годов XX века, когда появились термины «кран с контролируруемыми тросами» и «кран-робот», трансформировавшиеся в понятие «кабельный робот» [2]. Отличие CDPR от традиционных кранов заключается в возможности полноценного управления положением и ориентацией грузозахватного органа (грейфера) за счет согласованного изменения длины нескольких тросов (рис. 1 (справа)).

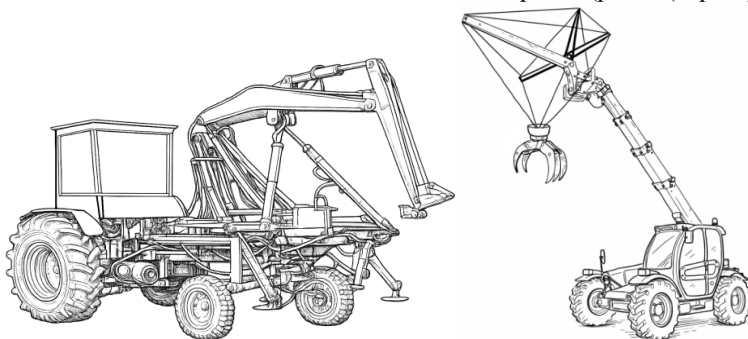


Рисунок 1. Примеры манипуляторов параллельной структуры: жесткие звенья (слева) и тросовые приводы (справа)

В сельском хозяйстве такие системы могут монтироваться на мобильные платформы (тракторы) или использоваться как стационарные решения для складских терминалов. Например, известен манипулятор-трипод параллельно-последовательной структуры [1], устанавливаемый на транспортное средство. Он содержит три основных гидроцилиндра, соединенных с грузозахватным органом, и дополнительный цилиндр для поворота основания. Для точного позиционирования захват может быть выполнен в виде трехступенного управляемого механизма с шаговыми двигателями. Дальнейшим развитием этой концепции является использование тросовых приводов вместо жестких гидроцилиндров.

3. Энергоэффективность и декарбонизация.

Ключевое преимущество CDPR с точки зрения декарбонизации – их низкая материалоемкость. Традиционные погрузчики и манипуляторы изготавливаются из мягких марок стали, что делает конструкцию тяжелой и инерционной. Перемещение этой массы требует значительных затрат топлива. Замена жестких металлоконструкций на систему тросов и легких ферм, выполненных из высокопрочных материалов, позволяет радикально снизить вес подвижных частей. В работе [1] проведена сравнительная оценка традиционно-

го подхода и инновационного решения на базе манипулятора с четырьмя степенями свободы. Базовый вариант (обычный погрузчик, агрегатированный с трактором МТЗ) имеет массу около 4,89 т. Инновационный вариант (трактор с 4-координатным манипулятором) весит около 4,59 т. Снижение массы, в совокупности с возможностью точного позиционирования без лишних перемещений всей машины, позволяет сократить расход топлива на 20-30%. Использование арамидных тросов [4] и композитных материалов в узлах подвеса и захвата также вносит вклад в снижение энергопотребления.

4. Классификация и синтез тросовых приводов.

Для системного проектирования таких манипуляторов важна классификация применяемых приводов. Анализ мирового опыта [2] показывает, что тросовые и ременные приводы для пространственных движений можно классифицировать по нескольким признакам: по схеме намотки (на один барабан, на два барабана, без намотки); по наличию сателлитных звеньев (стержни, шарнирные параллелограммы); по возможности изменения межосевого расстояния (телескопические, выносные); по материалу привода (стальные канаты, текстильные стропы, арамидные нити). Для численной оценки и сравнения различных кинематических схем предложен безразмерный классификатор [5], учитывающий массу выходного звена, ускорение свободного падения, модули упругости и площади сечения всех звеньев привода. Это позволяет на этапе проектирования выбирать оптимальную структуру привода для конкретной сельскохозяйственной задачи.

Выводы

Применение манипуляторов с тросовыми приводами (Cable-Driven Parallel Robots) является одним из наиболее перспективных путей декарбонизации погрузо-разгрузочных операций в сельском хозяйстве за счет: увеличения степеней свободы оборудования; радикальное снижение массы подвижных частей; возможность интеграции с электрическими приводами и альтернативными источниками энергии. Применение тросовых приводов позволяет прогнозировать снижение расхода топлива на 20–30%, что напрямую коррелирует с уменьшением выбросов CO₂. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку специализированных конструкций CDPR для различных типов сельхозработ и создание систем адаптивного управления, учитывающих динамику движения груза на гибкой подвеске.

Список использованной литературы

1. Вьюгина Т.П. Обзор инжиниринговых решений по декарбонизации погрузо-разгрузочных операций в сельском хозяйстве. В материалах конференции «Совершенствование механизмов научного обеспечения хозяйствующих субъектов АПК», М.: РИАМА, 2022. С. 432–438.
2. Борисов В.А. Глава 10. Разработка и исследование механизмов параллельной структуры с гибкими звеньями. В монографии «Механизмы перспективных робототехнических систем». М.: Техносфера, 2020. С. 265–295.

3. Бай Гэн, Юйфэн Ге и др. Крупномасштабная интегрированная сенсорная и роботизированная система с кабельным приводом для расширенного фенотипирования, дистанционного зондирования и агрономических исследований. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 160, May 2019, Pages 71–81.

4. Борисов В.А. Проектирование параметров гибкого звена из арамида. *Естественные и технические науки*. 2020. № 7(145). С. 107–110.

5. Борисов В.А. Разработка классификации ременных и тросовых приводов механизмов для пространственных движений. *Естественные и технические науки*. 2023. № 11(186). С. 321–326.

УДК 631.362:631.171

Э.Г. Нуруллин, *д-р техн. наук, профессор*,

Р.А. Файзуллин, *канд. техн. наук*,

Д.М. Бережной, *аспирант*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань

nureg@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПО ПЕРЕПАДУ ДАВЛЕНИЯ МЕЖДУ ВХОДНЫМ ПАТРУБКОМ И ЗОНОЙ ВОЗДУХОЗАБОРА ПНЕВМОСЕМЯПРОВОДА ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

Ключевые слова: протравливатель семян, пневмосемяпровод, скорость воздушного потока, перепад давления, пневмотранспорт.

Keywords: seed treater, pneumatic seed line, air flow velocity, pressure drop, pneumatic transport.

Аннотация: В статье представлены экспериментальные исследования по определению скорости воздушного потока. В ходе исследования на экспериментальной установке измерили статическое давление в двух контрольных сечениях. Было установлено, что перепад давления ΔP составил 150 Па. По уравнению Бернулли и условию неразрывности потока с учётом коэффициента сопротивления участка средняя скорость воздушного потока составила 15,78 м/с. Полученный результат позволяет оценить соответствие аэродинамических характеристик системы технологическим требованиям.

Summary: The article presents experimental studies on determining the air flow velocity. During the study, static pressure was measured in two control sections on an experimental installation. It was found that the pressure drop ΔP was 150 Pa. According to the Bernoulli equation and the flow continuity condition, taking into account the section resistance coefficient, the average air flow velocity