

Жданович Ч.И., кандидат технических наук, доцент;
Разганов А.Ю., аспирант
*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ВАЛ ОТБОРА МОЩНОСТИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация. В статье представлен обзор современных подходов к реализации электромеханических валов отбора мощности в сельскохозяйственной технике. Рассмотрены конструктивные особенности электромеханического вала отбора мощности. Проведен сравнительный анализ по ключевым эксплуатационным и энергетическим показателям. Выявлены основные преимущества и недостатки, а также определены тенденции развития.

Abstract. This article presents an overview of modern approaches to implementing electromechanical power take-off shafts in agricultural machinery. The design features of electromechanical power take-off shafts are examined. A comparative analysis of key performance and energy indicators is conducted. The main advantages and disadvantages are identified, and development trends are outlined.

Ключевые слова: вал отбора мощности, электромеханическая трансмиссия, трактор, электрический привод.

Keywords: power take-off shaft, electromechanical transmission, tractor, electric drive.

Введение. Современное развитие сельскохозяйственной техники характеризуется активным внедрением электрических и гибридных силовых установок, направленных на повышение энергетической эффективности, управляемости и экологичности тракторов. Одним из ключевых элементов, обеспечивающих передачу мощности от силовой установки к рабочим органам навесных и прицепных машин, является вал отбора мощности (ВОМ).

Традиционные механические системы ВОМ, несмотря на их широкое распространение и достаточную конструктивную проработанность, характеризуются рядом ограничений. К их числу относятся жесткая кинематическая связь с двигателем внутреннего сгорания, ограниченные возможности регулирования частоты вращения, а также наличие механических потерь, возрастающих при работе в переменных режимах.

В качестве альтернативного направления рассматривается применение электромеханических валов отбора мощности, в которых передача энергии осуществляется по электрическому каналу с использованием дизель-генераторной установки либо аккумуляторной батареи. Реализация такой схемы позволяет обеспечить раздельное управление частотой вращения и крутящим моментом ВОМ, повысить точность поддержания заданных

режимов и упростить интеграцию с системами автоматизированного управления трактором.

Цель работы заключается в анализе современного состояния и практического опыта применения электромеханических ВОМ, сравнительной оценке их эффективности по отношению к механическим системам, а также в выявлении основных направлений дальнейшего развития.

Конструктивные и функциональные особенности электромеханического ВОМ. Электромеханический вал отбора мощности представляет собой систему, в которой передача энергии на технологическое оборудование осуществляется электродвигателем через механический редуктор. В типовом случае структура включает: электрический генератор (или аккумуляторную батарею), преобразователь, электродвигатель, редуктор, выходной вал отбора мощности.

Ключевой особенностью электромеханического ВОМ является возможность независимого регулирования частоты вращения и крутящего момента на выходе, что достигается за счет применения современных преобразователей и систем управления. Это обеспечивает: широкий диапазон регулирования частоты вращения, поддержание заданных режимов независимо от оборотов двигателя, реализацию адаптивных алгоритмов управления.

На рисунке 1 приведена структурная схема одного из вариантов реализации электромеханического ВОМ. Привод осуществляется от электродвигателя, через редуктор на ВОМ. Для полностью электрической трансмиссии схема упрощается и в нее входят источник питания (аккумуляторная батарея), инвертор, блок управления и электродвигатель.

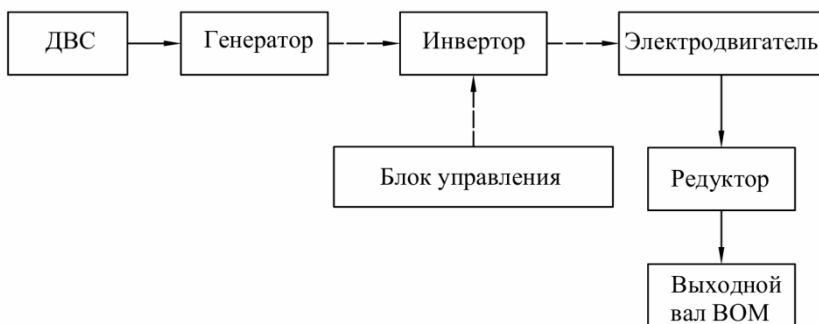


Рисунок 1 – Структурная схема электромеханического ВОМ

Опыт применения электромеханических ВОМ в тракторостроении. В последние годы отмечается увеличение числа разработок электромеханических трансмиссий со стороны ведущих мировых производителей

сельскохозяйственной техники. В частности, концепции тракторов с электрическим приводом вспомогательных механизмов реализуются на тракторах John Deere, Fendt, New Holland.

Характерным примером реализации является концепция трактора с электрическим интерфейсом для агрегируемых машин, в которой механический BOM заменяется силовым электрическим интерфейсом. Это позволяет подключать сельскохозяйственные орудия с индивидуальными электроприводами.

Fendt e100 Vario. Производителем заявлена номинальная мощность электродвигателя 55 кВт (75 л.с.) в непрерывном режиме и пиковая мощность 66 кВт (90 л.с.), в энергосберегающем режиме (ECO) доступно 50 кВт (68 л.с.). Производителем заявлено 5 часов непрерывной работы при емкости аккумуляторной батареи 100 кВтч. Электродвигатель имеет режим рекуперации энергии. Передний BOM приводится основным электродвигателем [1].

New Holland T4 Electric Power. Электрический трактор мощностью 120 л.с., максимальный крутящий момент 440 Нм, режим быстрой зарядки постоянным током позволяет зарядить аккумуляторную батарею за 1 час и 4 часа непрерывной работы. Привод BOM реализован от основного электродвигателя, включение и отключение реализовано через электрогидравлическую муфту [2].

John Deere реализует два направления. Первое – трансмиссия eAutoPowr с электромеханическим распределением мощности для тракторов серии 8R: два электродвигателя, мощность на BOM 100 кВт (134 л.с.), передача до 100 кВт на внешнее оборудование через трехфазный интерфейс 480/700В. В этом варианте BOM приводится через трансмиссию от обычного дизельного двигателя, но также выведен интерфейс для подключения электрического привода орудий. Питание реализовано от двух мотор-генераторов. На выходе 480 вольт и мощность до 100 кВт. Второе – полностью электрические прототипы платформы E-Power: мощность около 130 л.с., мощность на BOM 87 кВт (116 л.с.), до пяти батарей Kreisel Electric общей емкостью 195 кВтч, жидкостное охлаждение погружного типа, автономность до 8 часов в зависимости от нагрузки. Отличительной особенностью E-Power является наличие отдельного электродвигателя для BOM, который управляется собственным инвертором [3].

В странах СНГ, включая Республику Беларусь и Российскую Федерацию, разработки в области электромеханических трансмиссий ведутся на базе научно-исследовательских организаций и машиностроительных предприятий. В частности, работы по созданию тракторов с электрической трансмиссией [4 - 6]. В настоящее время такие решения преимущественно находятся на стадии опытных образцов.

Сравнительный анализ электромеханического и механического ВОМ. Сравнение традиционных и электромеханических систем ВОМ целесообразно проводить по ряду ключевых критериев.

Энергетическая эффективность.

Механические ВОМ характеризуются высокими КПД при установившихся режимах, однако потери возрастают при изменении нагрузки и частоты вращения. Электромеханические системы имеют дополнительные потери на преобразование энергии, но обеспечивают более оптимальное распределение мощности.

Сравнительный анализ показывает, что при установившихся номинальных режимах механический ВОМ, как правило, обладает более высоким КПД за счет отсутствия многократных преобразований энергии.

Электромеханический ВОМ обеспечивает возможность работы технологического оборудования в оптимальных режимах за счет независимого задания его параметров. Это особенно проявляется при эксплуатации в условиях переменных нагрузок, где достигается снижение суммарных энергетических потерь и повышение интегральной эффективности машинно-тракторного агрегата.

Для полностью электрических тракторов дополнительным фактором является отсутствие механической передачи от двигателя внутреннего сгорания, что исключает соответствующие потери и частично компенсирует потери в силовой электронике и электроприводе.

С точки зрения надежности механические системы ВОМ отличаются простотой конструкции и высокой ремонтопригодностью. Электромеханические системы, в свою очередь, характеризуются более сложной структурой и требуют применения средств диагностики силовой электроники.

Преимущества использования электромеханических ВОМ: независимость параметров ВОМ от режима работы двигателя, высокая точность регулирования, возможность автоматизации технологических процессов, снижение динамических нагрузок, интеграция с цифровыми системами управления.

Недостатки: усложнение конструкции, увеличение стоимости системы (высокая начальная стоимость электромеханических систем может быть частично компенсирована за счет снижения эксплуатационных), дополнительные энергетические потери, требования к надежности силовой электроники.

Перспективы применения электромеханических валов отбора мощности. Анализ современных разработок показывает, что развитие электромеханических ВОМ тесно связано с общей тенденцией электрификации сельскохозяйственной техники. К основным направлениям развития относятся: переход к гибридным и полностью электрическим тракторам, использование высоковольтных бортовых сетей, внедрение интеллектуальных систем управления, развитие модульных энергетических платформ.

В перспективе электромеханические ВОМ могут стать основой для создания унифицированных энергетических интерфейсов сельскохозяйственных машин, обеспечивающих гибкость агрегатирования и повышение эффективности использования техники.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что электромеханические ВОМ могут рассматриваться как перспективное направление развития тракторных трансмиссий. При наличии определенных технических и экономических ограничений они обеспечивают расширенные возможности управления и автоматизации рабочих процессов.

Сопоставление с традиционными механическими системами показывает, что на современном этапе целесообразно их параллельное использование, тогда как в более отдаленной перспективе возможно увеличение доли электромеханических решений.

Для электрических тракторов существенным фактором является организация системы быстрой замены аккумуляторных батарей с обеспечением безопасной коммутации высоковольтных цепей. В системах с дизель-генераторной установкой данное ограничение выражено в меньшей степени.

Наиболее эффективным является применение электромеханических ВОМ при работе в условиях переменной нагрузки и при необходимости точного регулирования режимов технологического оборудования.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на повышение энергетической эффективности, снижение стоимости и увеличение надежности элементов силовой электроники, что позволит расширить сферу практического применения рассматриваемых систем.

Заключение. Электромеханические валы отбора мощности и электрический отбор мощности на привод рабочих органов сельскохозяйственных орудий являются перспективным направлением. Они обеспечивают расширенные возможности управления и автоматизации рабочих процессов, что особенно важно в системах точного земледелия. Их внедрение целесообразно в рамках общей электрификации сельхозтехники, создания тракторов с электромеханическими трансмиссиями и интеллектуальными системами управления.

Список использованной литературы

1. Fendt e100 Vario [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fendt.com/int/agricultural-machinery/e-tractors/fendt-e100vario__ – Дата доступа: 10.04.2026.
2. New Holland T4 Electric Power [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agriculture.newholland.com/fr-fr/europe/produits/tracteurs> – Дата доступа: 10.04.2026.
3. John Deere unveils new electric tractor and eAutoPowr transmission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriland.co.uk/farming-news/new-stepless-electro-mechanical-transmission-is-a-world-first/> – Дата доступа: 10.04.2026

4. Виноградов, А. Б. Особенности реализации тягового электрооборудования гусеничного промышленного трактора мощностью 160 л.с. / Виноградов А.Б., Гнездов Н.Е., Чистосердов В.Л. // Электротехника. – 2017. – № 5. – С. 14–18.

5. Зезетко, Н. И. Техника холдинга «МТЗ-Холдинг» для сельскохозяйственно-го производства / Н. И. Зезетко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 24–25 ноября 2022 г. – Минск : БГАТУ, 2022. – С. 38–45.

6. Гедроить, Г. И. Перспективы развития тракторов с электромеханической и электрической трансмиссией / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Межведомственный тематический сборник. – Минск : РУП "Издательский дом "Белорусская наука", 2024. – С. 326-332. – EDN EFMMCB.

Summary. Electromechanical power take-off (PTO) systems and electric power take-off for driving the working parts of agricultural implements represent a promising development direction. They provide advanced capabilities for control and workflow automation, which is particularly critical in precision farming systems. Their implementation is highly practical within the framework of the general electrification of agricultural machinery, as well as the creation of tractors featuring electromechanical transmissions and intelligent control systems.

УДК 621.869.4

Жданович Ч.И., кандидат технических наук, доцент;

Муратов А.А., аспирант

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ КОЛЕСНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ ДЛЯ НУЖД АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ современных тяговых приводов лёгких и средних (1 – 5 т) колесных погрузчиков, эксплуатируемых в условиях агропромышленного комплекса. Рассмотрены конструктивные особенности и эксплуатационные показатели трансмиссий.

Abstract. This paper presents a comparative analysis of modern traction drives for light and medium-duty (1 – 5 t) wheel loaders operated within the agro-industrial complex. The design features and performance indicators of various transmissions are examined.

Ключевые слова. Колесный погрузчик, агропромышленный комплекс, классификация, гидромеханическая передача, гидростатическая передача, энергоэффективность, тяговое усилие, рабочий цикл.

Keywords. Wheel loader, agro-industrial complex, classification, hydromechanical transmission, hydrostatic transmission, energy efficiency, tractive effort, duty cycle.