

Научная статья
УДК 621.313.13

Перспективы применения высокомоментных электродвигателей с осевым потоком для привода гидравлических систем аэродромной и дорожной техники

Александра Михайловна Погонина¹, Никита Дмитриевич Быханов²,
Александр Владимирович Сарычев³

^{1, 2, 3} Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹ shur-shu@mail.ru

² bykhanov.nikita@yandex.ru

³ sarychevalexander0@gmail.com

Аннотация. Представлены материалы исследования возможности замены традиционных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), применяемых для привода гидравлических насосов спецтехники, на современные высокомоментные аксиальные электродвигатели. Проведен сравнительный анализ мощностных характеристик и габаритных показателей двух типов приводов. На конкретных примерах коммунальной и дорожной техники (щеточное оборудование, отвалы) показано, что при сохранении необходимой рабочей мощности (18–50 кВт) аксиальные электродвигатели позволяют в разы сократить занимаемое пространство, упростить компоновку машины и обеспечить возможность питания от тяговых батарей. В работе решаются задачи сравнительной оценки мощностных параметров и габаритных характеристик двух типов приводов, а также иллюстрируются преимущества новой компоновки на типовых узлах спецтехники. Авторы приходят к выводу о возможности использования электромоторов для привода гидравлических систем аэродромной, коммунальной и дорожно-строительной техники с учетом выведенных критериев сравнения.

Ключевые слова: гидравлический насос, двигатель внутреннего сгорания, аксиальный электродвигатель, оптимизация габаритов, удельная мощность, коммунальная техника, отвал, щетка, тяговая батарея

Для цитирования: Погонина А.М., Быханов Н.Д., Сарычев А.В. Перспективы применения высокомоментных электродвигателей с осевым потоком для привода гидравлических систем аэродромной и дорожной техники // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2026. № 2 (48).

Original article

Prospects for the application of high-torque axial-flux electric motors for driving hydraulic systems of machinery

Alexandra M. Pogonina ¹, Nikita D. Bykhanov ², Alexander V. Sarychev ³

^{1,2,3}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

¹ shur-shu@mail.ru

² bykhanov.nikita@yandex.ru

³ sarychevalexander0@gmail.com

Abstract. The paper presents a feasibility study on replacing conventional internal combustion engines (ICE) used to drive hydraulic pumps in special-purpose vehicles with modern high-torque axial-flux electric motors featuring YASA topology. A comparative analysis of power characteristics and dimensional parameters of the two drive types is conducted. Using specific examples of municipal and road construction equipment (brush gear, dozer blades), it is shown that while maintaining the required operating power (18–50 kW), axial electric motors allow for a manifold reduction of occupied space, simplify machine layout, and enable power supply from traction batteries. The paper addresses the issues of comparative assessment of power parameters and overall dimensions of two types of drives, as well as illustrating the advantages of the new layout on typical components of special equipment. The authors conclude that it is possible to use electric motors to drive hydraulic systems of airfield, municipal, and road construction equipment, taking into account the derived comparison criteria.

Keywords: hydraulic pump, internal combustion engine, axial-flux electric motor, dimensional optimization, power density, municipal machinery, dozer blade, brush, traction battery

For citation: Pogonina A.M., Bykhanov N.D., Sarychev A.V. Prospects for the application of high-torque axial-flux electric motors for driving hydraulic systems of machinery. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2026. № 2 (48).

Введение

Основной тенденцией развития современного машиностроения является миниатюризация силовых установок при одновременном повышении их энергоэффективности и экологичности [1, 2]. Особенно острый характер данная проблема имеет в сегменте самоходной коммунальной, аэродромной и дорожно-строительной техники, где исторически сложилась компоновка с разделением функций: шасси отвечает за движение, а отдельный двигатель

внутреннего сгорания (ДВС) малой или средней мощности приводит в действие гидравлический насос для рабочего оборудования (щеток, отвалов, подметальных механизмов) [3, 4].

Целью настоящей работы является анализ возможности замены классических ДВС-приводов гидронасосов на компактные высокомоментные аксиальные электродвигатели с питанием от тяговых батарей. В работе решаются **задачи** сравнительной оценки мощностных параметров и габаритных характеристик двух типов приводов, а также иллюстрации преимуществ новой компоновки на типовых узлах спецтехники.

Эволюция приводов гидравлических систем

Традиционная схема привода гидравлического оборудования спецмашин (подметально-уборочные машины, мини-погрузчики, снегоочистители) подразумевает наличие отдельного ДВС либо отбор мощности (ВОМ) от базового шасси. В первом случае в машине появляется дополнительный моторный отсек. Классический ДВС, даже малой мощности (18–50 кВт), представляет собой агрегат значительной массы и габаритов. К нему в обязательном порядке прилагаются система охлаждения (радиатор, вентилятор), система выпуска (глушитель, катализатор), система топливоподачи (бак, фильтры) и электрооборудование (генератор, стартер, АКБ). Всё это размещается в специальном отсеке, занимая полезный объем и усложняя доступ при обслуживании. Недостатки такой схемы общеизвестны: низкий КПД при работе на частичных нагрузках (характерных для гидросистем), шумность, вибрация, токсичность выхлопа и сложность точного регулирования частоты вращения насоса [5].

Электрификация как новый вектор привода рабочего оборудования машин

Переход к концепции электрического привода рабочего оборудования позволяет радикально изменить ситуацию. В этой схеме гидравлический насос приводится во вращение напрямую электродвигателем, питающимся от тяговой батареи (общей с ходовой частью или дополнительной). Управление

осуществляется частотным инвертором, что позволяет плавно регулировать производительность насоса без потерь на дросселирование. Более того, исчезает необходимость держать ДВС включенным постоянно: насос работает только тогда, когда это действительно нужно, экономя энергию [6].

Наибольший интерес для решения поставленной нами задачи представляют аксиальные электродвигатели. Их особенность – отсутствие ярма в статоре, сегментированные зубцы и кольцевая форма. Это обеспечивает беспрецедентно высокую удельную мощность и крутящий момент при предельно малой осевой длине (так называемые «блин-моторы») [7, 8].

Анализ мощностных характеристик и габаритов гидравлических приводов щеточного и снегоуборочного оборудования

В работе рассмотрено два типовых узла спецтехники, традиционно оснащаемых отдельным гидравлическим приводом: 1) щеточное оборудование (подметальные машины); 2) отвалы (снегоочистители). В щеточном оборудовании для привода гидронасоса, обеспечивающего вращение главной щетки и вентилятора всасывания, используются ДВС мощностью 18-25 кВт. Типичные представители: дизельные двигатели Lombardini, Kubota, Yanmar серий с рабочим объемом 0,5–1,0 л. Их масса составляет 50-80 кг, а занимаемый объем (с навесным оборудованием) не менее 0,3–0,4 м³. В отвалах и снегоочистителях для питания гидроцилиндров подъема, поворота и перекоса отвала (особенно на тяжелых коммунальных машинах) требуются насосы производительностью до 60–80 л/мин при давлении до 20 МПа, что требует мощности привода 35-50 кВт. Это ДВС с рабочим объемом 1,2-1,8 л, массой за 100 кг и крупными габаритами, диктующими компоновку всей передней части машины.

Характеристики современных двигателей внутреннего сгорания

В качестве примера рассмотрим двигатель 4TNV98T (рисунок 1), который используется в качестве вспомогательного двигателя в ТУМСО Model 435. Он вращает насос аксиально-поршневого типа, который через гидромагистрали питает: гидросистемы щеток и бункера, а также

гидроцилиндры подъёма и наклона щеток и мотор конвейера бункера. Его габаритные размеры: 719 x 575 x 804 мм, а сухой вес – 45 кг. Мощность – до 63,9 кВт при 2500 об/мин. Крутящий момент составляет 250 Нм при 2500 об/мин. Важная особенность установки такого двигателя – наличие контуров системы охлаждения и маслобака. Двигатель подключен к топливному баку, к которому в свою очередь подключен и основной ДВС машины. Для передачи крутящего момента к гидронасосу используется фланцевая муфта.



Рис. 1. Двигатель 4TNV98T

Характеристики современных электродвигателей аксиального типа

В качестве примера рассмотрим электродвигатель YASA-400 (рисунок 2). Его габаритные размеры: диаметр – 305 x 80 мм, а сухой вес – 24 кг. Мощность – до 160 кВт при 5000 об/мин.



Рис. 2. Двигатель YASA-400

Крутящий момент составляет 390Нм при 2500 об/мин. Важная особенность установки такого двигателя – наличие тяговой аккумуляторной батареи в машине, а также контуров системы охлаждения и контроллера управления двигателем.

Двигатель вращает гидронасос, передавая крутящий момент через фланцевое соединение, то есть не использует трансмиссию и подключается напрямую.

Анализ габаритов и удельной мощности аксиальных электромоторов

При равной или большей рабочей мощности (см. таблицу 1) аксиальный электромотор имеет на порядок меньший объем. Если ДВС требует отдельного моторного отсека с системами охлаждения и выпуска, то аксиальный двигатель не требует такого набора дополнительного оборудования, однако может устанавливаться только там, где есть тяговая аккумуляторная батарея.

Таблица 1

Сравнение характеристик приводов для типового оборудования

Параметр	4TNV98T	YASA-400
Сухой вес	260 кг	24 кг
Пиковая мощность	64 кВт	160 кВт
Номинальная мощность	64 кВт	100 кВт
Удельная мощность	0,25 кВт/кг	6,67 кВт/кг
Крутящий момент	250 Нм	390 Нм
Охлаждение	Жидкостное	Масляное
КПД	35-40%	96%

Таким образом, применение аксиального электродвигателя позволяет высвободить значительное пространство, которое можно использовать для увеличения объема бункера, размещения дополнительного оборудования или улучшения обзорности с места оператора. Немаловажным фактором также является отсутствие вибрации, резкого шума и выхлопа.

Привод вибромеханизма дорожного катка

Как пример рассмотрим дорожный виброкаток марки XCMG XS143, предназначенный для уплотнения асфальтобетонных слоев дорожного покрытия. Вибромеханизм катка требует для своей работы мощность 30-35 кВт, развивая частоту колебаний от 28 до 40 Гц. Традиционно для этих целей используется турбодизель Shanghai SC5D125G. Его габаритные размеры: в длину – 3600 мм, в ширину – 2150 мм, в высоту – 2100 мм, сухой вес – 8500 кг. При этом мощность двигателя составляет 86 кВт при 2000 об/мин. Крутящий момент – 420 Нм при 1400 об/мин. Объём дизельного топливного бака – 90 л. Важная особенность подобной установки – большой объём гидравлической жидкости для охлаждения и смазки компонентов вибросистемы (порядка 45 л), а также необходимость постоянного контроля температуры посредством радиатора с вентилятором.

В альтернативной схеме с использованием аксиального электродвигателя YASA P400R мощность 35 кВт может быть получена более компактно. Вибромеханизм питается напрямую от батареи машины (в случае гибридного катка). Частота колебаний регулируется электронным контроллером, что позволяет адаптировать вибрацию под различные типы асфальтобетона без потерь на гидравлическом дросселировании. Экономия гидравлической жидкости – до 70% (вместо 45 л требуется не более 15 л для охлаждения статора).

Таблица 2

Сравнение характеристик приводов для вибромеханизма дорожного катка

Параметр	Shanghai SC5D125G	YASA P400R
Сухой вес	110 кг	24 кг
Пиковая мощность	86 кВт	160 кВт
Номинальная мощность	70 кВт	100 кВт
Удельная мощность	0,64 кВт/кг	6,67 кВт/кг
Крутящий момент	420 Нм	390 Нм
Охлаждение	Жидкостное (радиатор)	Масляное
КПД	38-42%	96%

Гидравлический привод снегового отвала на экскаваторе-погрузчике

Снеговые отвалы, установленные на экскаваторы-погрузчики (например, Hidromek НМК 102), требуют для работы вспомогательный гидравлический насос мощностью 15-20 кВт, питаемый отдельным ДВС. Этот насос обеспечивает гидроцилиндры, которые отвечают за поворот отвала влево-вправо (до $\pm 35^\circ$) и его подъём-опускание. На тяжёлых снегоуборочных машинах используются ДВС мощностью 18-22 кВт, такие как Kubota D1703 или их аналоги.

Габаритные размеры типовой установки отвала на базе Hidromek НМК 102: длина рабочего органа – 2800 мм, масса ковша вместе с отвалом – около 800 кг. Масса вспомогательного ДВС (Kubota D1703) – 180 кг, занимаемый объём – 0,25 м³ (с учётом топливного бака, систем охлаждения и выпуска). Расход топлива при работе в режиме поворота отвала составляет 8-10 л/ч.

Применение компактного аксиального электромотора YASA P400R мощностью 20 кВт позволяет исключить отдельный ДВС целиком. Питание осуществляется от дополнительной батареи LiFePO₄ ёмкостью 30-50 кВт·ч, установленной на панели машины (масса ~150 кг). Суммарная экономия: минус 180 кг (ДВС), плюс 150 кг (батарея), что равняется 30 кг чистого выигрыша при обеспечении той же мощности. Кроме того, исчезает необходимость в дорогостоящем обслуживании ДВС, замене масла и фильтров.

Таблица 3

Сравнение характеристик приводов для гидравлики снегового отвала

Параметр	Kubota D1703	YASA P400R
Сухой вес	180 кг	24 кг
Пиковая мощность	37 кВт	160 кВт
Номинальная мощность	30 кВт	100 кВт
Удельная мощность	0,17 кВт/кг	6,67 кВт/кг
Крутящий момент	120 Нм	390 Нм
Охлаждение	Жидкостное (радиатор)	Масляное
КПД	35-40%	96%
Расход топлива / энергии	8-10 л/ч	54 кВт·ч при 20 кВт

Практическая реализация и примеры компоновки аксиального электродвигателя

Питание аксиального электродвигателя осуществляется от тяговой батареи (например, Li-ion напряжением 400–800 В) через инвертор. В случае гибридной схемы или электромобиля используется общая батарея. Управление осуществляется по CAN-шине от контроллера рабочего оборудования. Такая схема позволяет реализовать энергоэффективные алгоритмы: отключение насоса в простое, рекуперация энергии при торможении отвала и т.д.

Для наглядности рассмотрим два характерных узла. На рисунке 3 представлена типовая компоновка подметальной машины с отдельным ДВС. Двигатель с радиатором и глушителем расположен в отдельном отсеке, сбоку от бункера, занимая «мертвую зону» и увеличивая колесную базу или ширину машины. На рисунке 3 также показан альтернативный вариант: аксиальный электродвигатель установлен компактно на кронштейне, непосредственно над гидронасосом системы щеток. Все элементы (инвертор, контакторы) размещены в защищенном, но легкодоступном месте. Бункер может быть расширен, либо уменьшен общий габарит машины [9–11].



Рис. 3. Компоновка привода щеток

Выводы

Проведенный анализ подтверждает техническую и компоновочную целесообразность замены традиционных двигателей внутреннего сгорания мощностью 18-50 кВт на высокомоментные аксиальные электродвигатели в гидравлических системах спецтехники. Замена ДВС приводит к увеличению удельной мощности в 6 раз, снижению веса в 3 раза, а также увеличению крутящего момента в 3 раза. Питание от тяговых батарей обеспечивает полную экологичность в месте проведения работ (нулевые выбросы), снижает уровень шума и вибрации, а также упрощает обслуживание (отсутствие топливной системы, масла ДВС, ремней и т.д.). Интеграция аксиальных электродвигателей в гидравлические контуры открывает путь к созданию нового поколения интеллектуальной коммунальной техники с возможностью дистанционного управления и полностью автоматизированными рабочими циклами.

Список источников

1. Чуйков, С. С. Новые материалы и цифровые технологии: будущее машиностроения / С. С. Чуйков // Образование и наука в развитии технологий, экономики, общества : Материалы докладов 58-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 60-летию УО "ВГТУ". В 2-х томах, Витебск, 16–17 апреля 2025 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2025. – С. 461-462. – EDN GKUNGK.
2. Саушкин, Б. П. Физико-химические методы и технологии обработки / Б. П. Саушкин, Ю. А. Моргунов, Н. В. Хомякова. – Москва : Московский Политех, 2018. – 108 с. – ISBN 978-5-276-02457-8. – EDN YMMONW.
3. Исследование параметров и конструкции современных и перспективных газотурбинных двигателей и энергоустановок сложных циклов / В. Г. Нестеренко, А. А. Шеметовец, Б. Х. Юсипов, К. В. Ардатов // Авиация и космонавтика : Тезисы 22-ой Международной конференции, Москва, 20–24 ноября 2023 года. – Москва: Издательство "Перо", 2023. – С. 96-97. – EDN FOFJQH.
4. Бойко, А. Ф. Исследование механизма естественной эвакуации продуктов обработки при электроэрозионной прошивке микроотверстий / А. Ф. Бойко // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2011. – № 4. – С. 49-51. – EDN NTDGJT.

5. Суслов, Н. М. Элементная база объемного гидропривода : Учебное пособие / Н. М. Суслов, С. А. Чернухин. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 157 с. – ISBN 978-5-4497-1731-3. – EDN WSAZQU.
6. Виноградов, К. М. Электроприводы и генераторы специальной гусеничной техники / К. М. Виноградов, О. С. Микерина, М. И. Сазонов // Наука XXI века : Сборник материалов 1-й Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Челябинск, 01 июня 2022 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Южно-Уральский государственный университет Институт открытого и дистанционного образования. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – С. 178-182. – EDN ULDSPJ.
7. Колобов, А. Б. Основы вибромониторинга машин / А. Б. Колобов. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2019. – 248 с. – ISBN 978-5-00062-409-8. – EDN TUCBEP.
8. Уваров, С. С. Технические средства автоматизации управления. Электродвигатели : Учебное пособие для студентов специальности «Управление в технических системах» / С. С. Уваров. – Москва : Российский университет транспорта, 2021. – 143 с. – EDN GBCGRA.
9. Расчет электромеханического привода : учебно-методическое пособие / В. И. Митряйкин, О. Ю. Павлов, А. Д. Лустин [и др.]. – Казань : КНИТУ-КАИ, 2024. – 232 с. – ISBN 978-5-7579-2697-1.
10. Сильвашко, С. А. Электромеханические устройства электронных систем : учебное пособие для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника / С. А. Сильвашко. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2024. – 208 с. – ISBN 978-5-7410-3297-8. – EDN FOMAIW.
11. Проектирование электромеханических систем / В. Ю. Страхов, С. Ф. Вольвак, А. Н. Малахов [и др.]. – Белгород : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2025. – 194 с. – EDN JSDBNH.

References

1. Chuykov S.S. *Obrazovaniye i nauka v razvitii tekhnologiy, ekonomiki, obshchestva*, Materialy dokladov, Vitebsk, Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet, 2025, vol. 2, pp. 461-462.
2. Saushkin B.P., Morgunov Yu.A., Khomyakova N.V. *Fiziko-khimicheskiye metody i tekhnologii obrabotki (Physicochemical methods and technologies of processing)*, Moscow, Moskovskiy Politekh, 2018, 108 p., ISBN 978-5-276-02457-8.
3. Nesterenko V.G., Shemetovets A.A., Yusipov B.Kh., Ardatov K.V. *Aviatsiya i kosmonavtika, Tezisy dokladov*, Moscow, Izdatel'stvo "Pero", 2023, pp. 96-97.
4. Boyko A.F. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2011, no. 4, pp. 49-51.
5. Suslov N.M., Chernukhin S.A. *Elementnaya baza ob'yemnogo gidroprivoda (Element base of a volumetric hydraulic drive)*, Moscow, Ay Pi Ar Media, 2022, 157 p., ISBN 978-5-4497-1731-3.

6. Vinogradov K.M., Mikerina O.S., Sazonov M.I. *Nauka XXI veka*, Sbornik materialov, Chelyabinsk, Izdatel'skiy tsentr YUUrGU, 2022, pp. 178-182.
7. Kolobov A.B. *Osnovy vibromonitoringa mashin* (Basics of Vibration Monitoring of Machines), Ivanovo, Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet im. V.I. Lenina, 2019, 248 p., ISBN 978-5-00062-409-8.
8. Uvarov S.S. *Tekhnicheskiye sredstva avtomatizatsii upravleniya. Elektrodivigateli* (Technical Means of Control Automation. Electric Motors), Moscow, Rossiyskiy universitet transporta, 2021, 143 p.
9. Mitryaykin V. I., Pavlov O.Yu., Lustin A.D., Zaitseva T.A., Egorov S.V. *Raschet elektromekhanicheskogo privoda* (Calculation of an electromechanical drive), Kazan', KNITU-KAI, 2024, 232 p., ISBN 978-5-7579-2697-1.
10. Sil'vashko S.A. *Elektromekhanicheskiye ustroystva elektronnykh system* (Electromechanical devices of electronic systems), Orenburg, Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2024, 208 p., ISBN 978-5-7410-3297-8.
12. Strakhov V.Yu., Volvak S.F., Malakhov A.N., Kuzmina O.S., Azarenko E.V. *Proyektirovaniye elektromekhanicheskikh system* (Design of Electromechanical Systems), Belgorod, FGBOU VO Belgorodskiy GAU, 2025, 194 p.

Рецензент: А.В. Ушков, канд. техн. наук, доцент, директор Института заочного и дополнительного профессионального образования, МАДИ

Информация об авторах

- Погонина А. М.** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожно-строительных машин», МАДИ, Москва;
- Быханов Н. Д.** – аспирант 1-го курса кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожно-строительных машин», МАДИ, Москва;
- Сарычев А. В.** – аспирант 1-го курса кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожно-строительных машин», МАДИ, Москва.

Information about the authors

- Pogonina A. M.** – Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor of the Department of “Production and Repair of Automobiles and Road Construction Machinery”, MADI, Moscow;
- Bykhanov N. D.** – 1st-year postgraduate student of the Department of “Production and Repair of Automobiles and Road Construction Machinery”, MADI, Moscow;
- Sarychev A. V.** – 1st-year postgraduate student of the Department of “Production and Repair of Automobiles and Road Construction Machinery”, MADI, Moscow.

Статья поступила в редакцию 02.03.2026; одобрена после рецензирования 11.03.2026; принята к публикации 22.06.2026.

The article was submitted 02.03.2026; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 22.06.2026.