

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОСРЕДСТВАХ И РАБОЧИХ ОРГАНАХ СЕЛЬХОЗМАШИН

д.т.н. **Годжаев З.А.**¹, академик РАН **Измайлов А.Ю.**¹,

академик РАН **Лачуга Ю.Ф.**², д.т.н. **Шогенов Ю.Х.**²

¹ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия

²РАН, Москва, Россия

fic51@mail.ru

Вопросы применения на мобильных энергетических и транспортно-технологических средствах сельскохозяйственного назначения электроприводов (ЭП) активно обсуждаются последние 10–15 лет в агроинженерном сообществе. Считается, что это очень актуальное и энергоэффективное мероприятие для дальнейшего совершенствования сельскохозяйственных машин. Актуальность и важность данной работы связана еще с тем, что также предлагается перевести на ЭП активные рабочие органы сельхозмашин. В данной работе рассматриваются различные аспекты, связанные с применением автоматизированных и роботизированных ЭП на сельскохозяйственной технике. Выявлены различные преимущества применения ЭП: экономические, экологические, технические, функциональные и т.д. Проанализированы конструктивные особенности отдельных имеющих мобильных машин сельхозназначения на автоматизированном ЭП, рассмотрены различные компоновочные электрические схемы: применение системы «Дизель-Генератор», автономных источников энергии и гибридных энергоустановок. Приведена динамика развития технико-экономических показателей компонентной базы, применяемых в автоматизированных ЭП: электрических машин, преобразовательной техники, аккумуляторных батарей и др. Обоснованы концептуальные схемы создания базовых мобильных платформ на автоматизированном ЭП для которых характерными компоновками являются две схемы: применение системы «Дизель-Генератор» и системы «Автономных аккумуляторных батарей» с учетом функциональных и эксплуатационных требований к этим мобильным платформам. Выявлены основные аспекты проектирования, исследования и производства современных отечественных автоматизированных ЭП, в том числе и проблемные аспекты. В данной статье также рассматриваются перспективы применения конструктивно-технологически совершенствованных электрохимических источников энергии – топливных элементов – в качестве энергоустановки для ЭП. Выявлены основные стратегические направления создания и внедрения наукоемких компонентов для электро- и гибридноприводной мобильной техники.

Ключевые слова: автоматизированный электропривод, мобильные энергоустановки, аккумуляторные батареи, электрические машины, динамика развития, энергоустановка.

Введение

Первая попытка создать электротрактор в СССР была осуществлена в 1928 г. На колесном тракторном шасси был установлен электродвигатель переменного тока напряжением 220В, мощностью 14,5 кВт с подачей напряжения от сети к электродвигателю через гибкий кабель длиной 200 – 250 м, наматываемый на барабан. Эта конструкция электротрактора оказалась неработоспособной вследствие своего технического несовершенства.

Анализ мирового тренда развития машинных технологий сельскохозяйственного производства показывает, что в них имеет место интенсивное применение электрического привода (на асинхронных и синхронных двигателях, двигателях постоянного тока и т.д.). На сегодняшний день это направление характеризуется применением десятков миллионов электрических машин. Между тем сельхозпроизводство еще не исчерпало всех возможностей использования электропривода в мобильных энергос-

редствах (МЭС) и технологических процессах. В связи с этим работы по исследованию и применению автоматизированных электроприводов на сельскохозяйственных мобильных машинах и на их активных рабочих органах, выполняющих тяжелые технологические операции, являются актуальным и перспективным [9, 10, 11, 12].

Описание исследования

Система машин и технологий сельскохозяйственного производства имеет широкий спектр объектов разработки. Это, прежде всего, МЭС, их активные рабочие органы, технологическое оборудование и другие технические средства в растениеводстве, садоводстве, животноводстве и т.д. Современное развитие электронно-преобразовательной техники позволяет применять на них различные типы электроприводов исполнительных органов сельхозмашин, в том числе и переменного тока, питать их от системы «Дизель-Генератор», аккумуляторов или бортовой сети постоянного тока. Необходимость создания тягового электропривода на сельскохозяйственных МЭС очень активно и повсеместно обсуждается в мировой научной литературе. Вместе с этим внедрение его сдерживается многими барьерами: отсутствием четких технологических и конструктивных требований, отсутствием отвечающей условиям эксплуатации сельхозмашин высокоэффективной элементной базы и другими. Концепция создания тракторов и сельхозмашин с электрическим силовым приводом должна быть определена на ранних этапах их проектирования, при этом в качестве преимуществ применения автоматизирования ЭП должны рассматриваться следующие:

- улучшение технико-экономических показателей МЭС;
- снижение динамических нагрузок на узлы трактора и дизеля;
- уменьшение буксования колес, снижение расхода топлива до 30%;
- обеспечение бесступенчатого регулирования скорости агрегата;
- снижение эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт;
- повышение надежности работы трактора в целом;
- большой диапазон мощностей двигателей;
- возможность дистанционного управления;
- удобство регулирования скорости;

- широкие возможности автоматизации и интеллектуализации;
- постоянная готовность к работе;
- экономичность и возможность реверсирования;
- упрощение трансмиссий;
- возможность применения индивидуального привода для каждого механизма.

Применение электропривода находится в начальной стадии развития и требует фундаментального подхода к изучению и исследованию различных аспектов этой проблемы: разработка силовых электрических машин, систем их управления, источников питания, функционирование системы «Дизель-Генератор», создание бортовой информационной техники, их адаптация в составе сельхозмашины и т.д. Применение системы «Дизель-Генератор» подразумевает, что мощность двигателя реализуется постоянной по величине во всем тягово-скоростном рабочем диапазоне, а полностью автономный электропривод обеспечивается питанием от аккумуляторных батарей.

Электропривод, применяемый в производственных процессах, делят на следующие основные типы: групповой, одиночный, многодвигательный и агрегатированный (действует система рабочих машин, объединенных в общую технологическую линию).

Электрические приводы могут быть классифицированы по ряду признаков: по условиям применения (стационарные и передвижные), по способу управления (автоматизированные, частично автоматизированные и неавтоматизированные), по числу скоростей (односкоростные и многоскоростные), по роду используемой электрической энергии (постоянный ток, однофазный и трехфазный) и др.

В сельскохозяйственном производстве применяется 14,3 млн. электродвигателей и 2,7 млн. различных производственных электроустановок.

Среди всех типов электроприводов асинхронные электроприводы нашли самое широкое применение в сельскохозяйственном производстве. На сегодняшний день их количество в нем исчисляется сотнями миллионов штук. Это объясняется тем, что такой привод имеет простую конструкцию, что обуславливает легкость в эксплуатации и обслуживании, кроме того, такой привод экономичнее из-за высокого КПД машины. Однако такие приводы имеют ограниченное применение в виду стаци-

онарных условий их эксплуатации: они могут работать только там, где подведена трехфазная электрическая сеть. Вместе с тем развитие преобразовательной техники позволяет применять на МЭС асинхронные приводы, питая их от аккумуляторов или бортовой сети постоянного тока тракторов и комбайнов.

Из всех известных в настоящее время тракторных тяговых приводов наиболее близок к идеальному современный полнопоточный асинхронный ТЭП переменного тока с частотным регулированием. Минимальная структурная схема такого привода содержит асинхронный моторгенератор (АМГ), тяговый асинхронный двигатель (ТАД), блок силовой электроники (БСЭ) с векторным управлением ТАД, контроллер верхнего уровня (КВУ) и автономную станцию электроснабжения (АСЭ).

По указанным причинам у трактора «Беларус-3023» из 220 кВт номинальной мощности двигателя на ТАД приходит 183 кВт или 83,1%, а до ведущих колес доходит только $N_k = 162,8$ кВт или 74%. По сравнению с характеристикой идеального тягового привода на ведущих колесах трактора не добирается 41 кВт мощности.

Для обеспечения активного поворота трактора необходимо использовать отдельный электропривод движителей правого и левого бортов. Это уже сейчас может обеспечиваться моторно-колесной и моторно-осевой схемами, а также моторно-бортвой схемой на гусеничных тракторах. Последнее можно реализовать и на колесных тракторах. При этом из механической части трансмиссии дополнительно исключаются межколесные и межосевые дифференциалы, а их функции выполняют «электронные дифференциалы» в системе управления тяговыми двигателями бортов, которые при повороте тяговой машины управляют электроприводами колес (гусениц) по заложенным в управление поворотом алгоритмам, в том числе и движением бортов в разных направлениях.

Для достижения максимального эффекта от электропривода на тракторе целесообразно отказаться от локальной модернизации трактора и перейти к разработке основ теории и конструкции базовых моделей электроприводных тракторов, изначально закладывая в них прогрессивные эксплуатационные свойства как с учетом новых земледельческих технологий, так и с учетом экономической, экологической и

социальной эффективности. В этом случае на долгосрочную перспективу (10–20 лет и выше) необходимо учитывать возможность применения доводки электрохимических генераторов и резонансных бесконтактных методов передачи электроэнергии.

Разрабатываемые автоматизированные и роботизированные электроприводы должны быть приспособлены к сложным природно-климатическим условиям их эксплуатации.

Кроме вышеупомянутой компонентной базы для функционирования автоматизированного и роботизированного электропривода необходимо наличие следующих датчиков по функциональному назначению: датчики положения, акселерометры, датчики давления, датчики изгиба, гироскопы, датчики газоанализаторы (водород, углекислый газ, горючие и угарные газы и др.), датчик кислотности жидкостей, датчики освещенности, датчики потока (жидкостей), датчики тока, датчики Холла, датчики-дальномеры, датчики ультразвуковые (обнаружение препятствий), датчики магнетометры/компасы, датчики вибраций, тензометрические датчики и др.

Западные фирмы, обладая высоким уровнем технологии производства в электротехнической и машиностроительной отраслях, часто используют высокоскоростные двигатели, снабженные точными подшипниковыми узлами, сложными многоступенчатыми редукторами и механическими передачами. На рис. 1 приведены прогнозная динамика развития удельных мощностей электрических машин в период 2017–2050 гг.

Довольно большое число приводов для малых и средних мобильных средств выполнено на основе синхронного привода с возбуждением от высокоэффективных редкоземельных постоянных магнитов (на базе сплава неодим-железо-бор).

Многие фирмы применяют интегрированные узлы, объединяющие двигатели, преобразователи, механические передачи, системы охлаждения, силовые и электронные управляющие устройства – мехатронные модули движения. Специалисты видят в них перспективу и основное средство удешевления приводных систем, улучшения их показателей.

Российские организации в состоянии самостоятельно создать и организовать производство электроприводов, не уступающих мировому уровню [1–8].

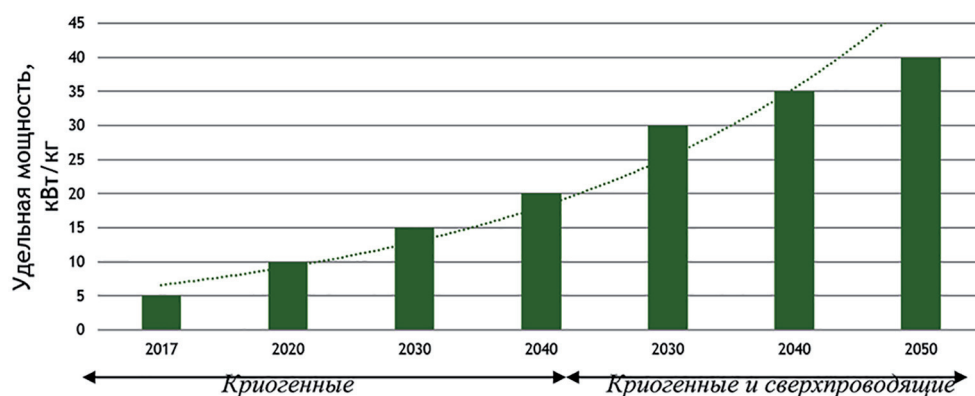


Рис. 1. Прогнозы развития электрических машин

Разработки современных отечественных приводов должны базироваться на использовании:

- отечественных методик проектирования электрических двигателей для регулируемого привода, позволяющих выявлять их предельные возможности, проектировать активную часть приводов с существенно улучшенными массо-габаритными показателями;
- современной электронной силовой и управляющей элементной базы разработки отечественной, позволяющей заниматься проектированием на высоком техническом уровне;
- методики идентификации параметров асинхронных двигателей и определения оптимальных режимов работы;
- технологий и производственных мощностей для производства электромеханических и механических элементов привода, т.е. электродвигателей, тормозных, рулевых, охлаждающих и т.д. систем.

Для базовых мобильных платформ на автоматизированном электроприводе характерными компоновками являются нижеприведенные две схемы – применение системы «Дизель-Ге-

нератор» и системы «Автономных аккумуляторных батарей» (рис. 2).

Однако для применения более перспективных компоновочных схем, использующих автономные аккумуляторные батареи, требуется разработка накопителей энергии с высокой удельной емкостью. В дальнейшем предполагается, что с совершенствованием технологии создания электрохимических источников энергии – топливных элементов – появятся технико-экономическая целесообразность их применения на МЭС, в том числе с активными рабочими органами на электроприводе. На рис. 3 приведена динамика развития накопителей энергии и топливных элементов.

Основными стратегическими направлениями при создании и внедрении наукоемких компонентов для электро- и гибридноприводной мобильной техники являются:

- выделение наиболее перспективных направлений работ с учетом мирового опыта;
- сотрудничество с ведущими иными фирмами по организации совместных разработок компонентов, эксплуатации и совместного производства компонентов и транспортной техники;

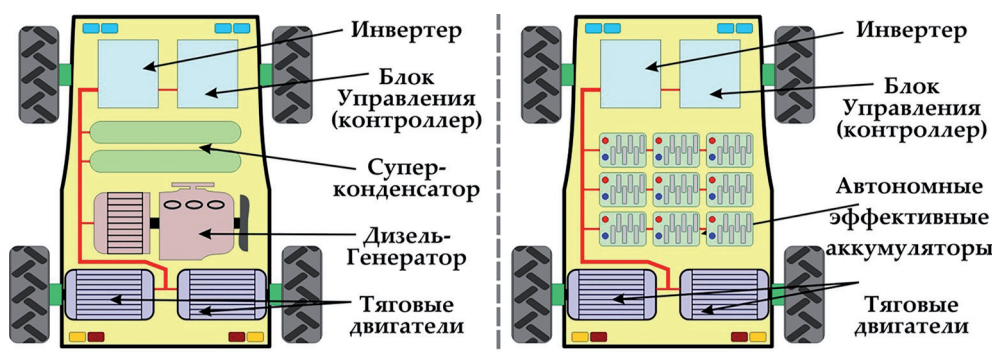


Рис. 2. Концепция мобильной платформы на частотно управляемом электроприводе

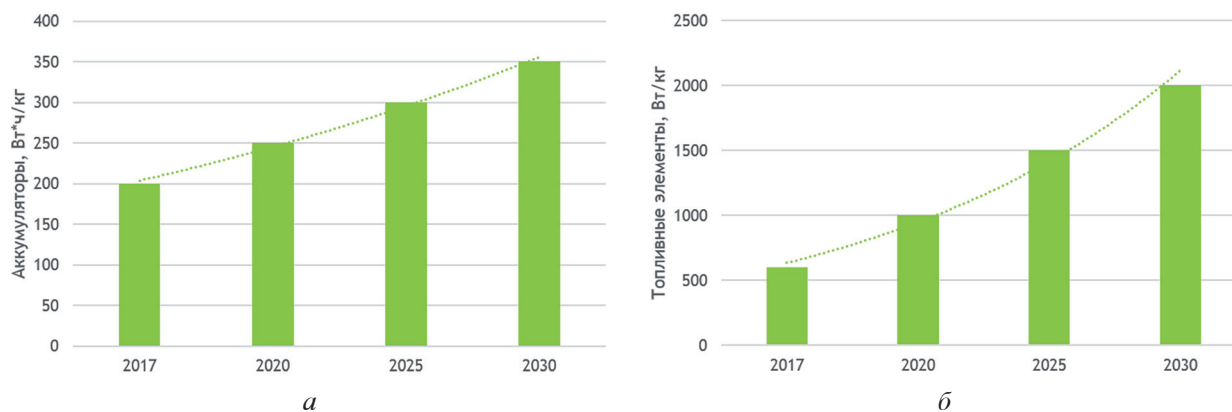


Рис. 3. Мировые тренды развития автономных источников энергии:

а – рост удельной емкости аккумуляторов; б – рост удельной мощности топливных элементов

– комплексный подход, подразумевающий привлечение специалистов по системному проектированию, управлению, силовой и управляющей электронике, электроприводу, электрохимии, материаловедению и т.д.;

– унификация разрабатываемых компонентов, интегрированных систем для техники различного типажа и размерности.

Улучшение качества компонентов и мобильных средств требует разработки четкой программы стандартизации. Необходимо разрабатывать новые стандарты по новой мобильной сельхозтехнике. В дальнейшем эти стандарты будут применяться для эффективного внедрения новых технологий на рынок наиболее эффективным путем.

Заключение

Анализ мировых тенденций развития инновационных машин и оборудования для аграрно-промышленного комплекса показывает, что в ближайшие 5–10 лет будет наблюдаться интенсивное применение автоматизированных электро- и гибридных приводов на сельскохозяйственных машинах, в том числе и в роботизированных сельскохозяйственных комплексах. Данное направление имеет большие перспективы, связанные с технико-экономической эффективностью, экологической безопасностью, управляемостью, улучшением условий труда, а также повышением технического уровня и качества создаваемых машинных технологий сельскохозяйственного производства.

Для успешного применения автоматизированных электроприводов в сельскохозяйственном производстве в ближайшей перспективе должны решаться проблемы по созданию и организации промышленного производства

высокоэффективных электрических машин, автономных энергоисточников – созданию энергоемких аккумуляторных батарей, супер конденсаторов, электрохимических источников энергии (топливных элементов), внедрению концептуально нового резонансного способа передачи электроэнергии, высокоэффективной и высокоточной силовой электроники и преобразовательной техники, высокозащищенной виброустойчивой бортовой вычислительной и навигационной техники.

Литература

1. Флоренцев С.Н. Трактор с электромеханической трансмиссией // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 7.
2. Амельченко П.А., Поддубко С.Н., Жуковский И.Н. О концепции тягового электропривода сельскохозяйственного трактора // Механика машин, механизмов и материалов. 2016. № 1(34).
3. Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Тенденции развития сельскохозяйственной роботехники // Автомобильная промышленность. 2016. № 6. С. 35–38.
4. Годжаев З.А., Гришин А.П., Пехальский И.А., Гришин А.А., Гришин В.А. Развитие работ по созданию роботехники сельхозназначения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 119. С. 488–502.
5. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А. Робототехника и агрохимическое обеспечение растениеводства // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 9. С. 40–43.
6. Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Ключевые технологии и прогноз развития сельскохозяйственной робототехники // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 6(21). С. 35–41.

7. Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Программное обеспечение асинхронного привода гусеничной платформы // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 6(21). С. 98–104.
 8. Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Годжаев З.А. Программа контроллера дистанционного управления гусеничного электроприводного шасси «Флориан» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 201614448, 2017.
 9. Лачуга Ю.Ф. Научно-методическое обеспечение развития фундаментальных и поисковых исследований // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 1. С. 5–6.
 10. Шогенов А.Х., Стребков Д.С., Шогенов Ю.Х. Аналоговая, цифровая и силовая электроника / Учебное пособие под ред. академика РАН Стребкова Д. С. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 416 с. ISBN 978-5-9221-1784-5.
 11. Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2017. № 7(241). С. 2–6. ISSN 2072-9642.
 12. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017 – 2025 годы. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996. Режим доступа: <http://mcx.ru/activity/state-support/programs/technical-program/>.
- References**
1. Florencev S.N. i dr. Tractor with electromechanical transmission. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2010. No 7 (in Russ.).
 2. Amel'chenko P.A., Poddubko S.N., ZHukovskij I.N. i dr. The concept of the traction electric drive of an agricultural tractor. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2016. No 1(34) (in Russ.).
 3. Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Trends in the development of agricultural robotics. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2016. No 6, pp. 35–38 (in Russ.).
 4. Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Pekhal'skij I.A., Grishin A.A., Grishin V.A. Development of works on the creation of agricultural robotics. *Politematicheskij setevoy ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University]. 2016. No 119, pp. 488–502 (in Russ.).
 5. Sychev V.G., Afanas'ev R.A., Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A. Robotics and agrochemical support of plant growing. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2016. No 9, pp. 40–43 (in Russ.).
 6. Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Key technologies and the forecast of development of agricultural robotics. *Innovacii v sel'skom hozyajstve*. 2016. No 6(21), pp. 35–41 (in Russ.).
 7. Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Asynchronous crawler drive software. *Innovacii v sel'skom hozyajstve*. 2016. No 6(21), pp. 98–104 (in Russ.).
 8. Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Godzhaev Z.A. *Programma kontrollera distancionnogo upravleniya gusenichnogo ehlektroprivodnogo shassi «Florian»* [The program of the remote control controller of the caterpillar electric drive chassis “Florian”]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EHVМ No 201614448, 2017.
 9. Lachuga YU.F. Scientific and methodological support of the development of fundamental and exploratory research. *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk*. 2015. No 1, pp. 5–6 (in Russ.).
 10. SHogenov A.H., Strebkov D.S., SHogenov YU.H. *Analogovaya, cifrovaya i silovaya ehlektronika* [Analog, digital and power electronics]. Uchebnoe posobie pod red. akademika RAN Strebkova D.S. Moscow: FIZMATLIT Publ., 2017. 416 p. ISBN 978-5-9221-1784-5.
 11. Izmajlov A.YU., SHogenov YU.H. Intensive machine technology and new generation equipment for the production of major agricultural product groups. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2017. No 7(241), pp. 2–6 (in Russ.). ISSN 2072-9642.
 12. *Federal'naya nauchno-tekhnicheskaya programma razvitiya sel'skogo hozyajstva na 2017–2025 gody* [Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2025]. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25 avgusta 2017 g. No 996. URL: <http://mcx.ru/activity/state-support/programs/technical-program/>.

PROSPECTS FOR THE USE OF AUTOMATED AND ROBOTIZED ELECTRIC DRIVES ON MOBILE ENERGY EQUIPMENT AND AGRICULTURAL MACHINERY WORKING BODIES

Dr.Eng. **Z.A. Godzhaev**¹, Academician of the Russian Academy of Sciences **A.YU. Izmajlov**¹,
Academician of the Russian Academy of Sciences **YU.F. Lachuga**², Dr.Eng. **YU.H. SHogenov**²

¹Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow, Russia

²Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
fic51@mail.ru

The issues of application of electric drives (ED) on mobile energy and transport and technological agricultural means are actively discussed for the last 10-15 years in the agroengineering community. This is a very urgent and energy-efficient event for the further improvement of agricultural machinery. The urgency and importance of this work is related to the fact that it is also proposed to transfer active working bodies of agricultural machinery to ED. The various aspects related to the use of automated and robotic ED on agricultural machinery are considered in this paper. Various advantages of ED use have been identified – economic, ecological, technical, functional, etc. The design features of some ex-isting mobile agricultural machines on automated ED have been analyzed, various layout electrical schemes such as the application of the Diesel-Generator system, autonomous power sources and hy-brid power plants have been considered. Dynamics of development of technical and economic indicators of the component base used in automated ED such as electric machines, converter equipment, storage batteries and etc. is given. Conceptual schemes of creation of basic mobile platforms based on automated ED have been substantiated which have two schemes of typical layouts: the application of the Diesel Generator system and the Autonomous Battery System, taking into account the functional and operational requirements for these mobile platforms. The main aspects of design, research and production of modern domestic automated ED's, including problem aspects are revealed. In this article authors considered the prospects for using constructively and technologically advanced electrochemical energy sources such as fuel cells, as an energy installation for ED. The main strategic directions of creation and introduction of high-tech components for electric and hybrid-drive mobile equipment are revealed.

Keywords: automated electric drive, mobile power plants, batteries, electric vehicles, dynamics of development, power unit.