

РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА: КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ,
ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ / RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS,
GLIMPSE INTO THE FUTURE

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>
УДК 631.371/.372



Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра

© 2020. О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин ✉, Е. П. Парлюк

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Развитие конструкции трактора тесно переплетается с его технологическим совершенством, улучшением экологических характеристик, повышением потребительских качеств. Рассмотрение этого вопроса в историческом развитии показывает единство подходов различных разработчиков тракторов сельскохозяйственного назначения к конструкции трактора, обеспечивающей повышение производительности и снижение себестоимости работ в соответствии с выполнением требований по агрономии и улучшению экологических характеристик. Для тракторов первого поколения основными задачами были создание тягового усилия для выполнения сельскохозяйственных работ с максимальной производительностью и экономичностью их выполнения. Решение этих задач развивало теорию трактора, представление о качестве протекания процессов, позволяло оптимизировать конструкцию и выполнение работ. В результате конструкции тракторов разных производителей развивались по одинаковому направлению. На современных тракторах устанавливаются дизельные двигатели с турбонаддувом и электронным управлением, имеются системы снижения токсичности отработавших газов. Трансмиссия тракторов либо с роботизированной коробкой передач без разрыва потока мощности, либо бесступенчатая, что лучше позволяет оптимизировать режим работы. Если для тракторов малого тягового класса бесступенчатость обеспечивается механическим вариатором, то для остальных – гидромеханическими трансмиссиями с электронным управлением. По мере роста мощности электростанций и развития разветвленной энергосети из возобновляемых энергоресурсов станут востребованы электрические тракторы. На переходном этапе развития будут создаваться тракторы с гибридными энергетическими установками, имеющими преимущества по управляемости процессами в машине и орудии, способные обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные орудия как для их рабочих процессов, так и с целью обеспечения их активного привода для создания тягового усилия.

Ключевые слова: совершенствование трактора, тенденции развития, применение электроэнергии, автоматизация управления

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н., Парлюк Е. П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):74-85. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>

Поступила: 27.12.2019

Принята к публикации: 10.02.2020

Опубликована онлайн: 28.02.2020

Past, present, future of agricultural tractors

© 2020. Otar N. Didmanidze, Sergey N. Devyanin ✉, Yekaterina P. Parlyuk

Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russian Federation

The development of tractor design is closely related to its technological updating, improving environmental performance and increasing usability. Study of this problem in a historical context shows the unity in approaches of various agricultural tractor manufacturers to tractor design aimed at increased productivity and reduced operation costs in accordance with the requirements for agronomic and environmental performance. The main task of the first-generation tractors was to develop traction for agricultural work with maximum productivity and cost-effectiveness. Solution of these problems required further development of the tractor theory and the idea of the processes quality, and ensured the optimization of design and performance. As a result, the designs of tractors from different manufacturers developed in the same direction. Modern tractors are equipped with electronically controlled turbocharged diesel engines and have systems reducing toxicity of the exhaust gases. Power transmission of the tractors is implemented either with a robotic gearbox without interrupting the power flow, or in a continuously variable format, which ensures a more optimized operating mode. While for small-traction-class tractors stepless power transmission is provided with a mechanical variable speed gear, the rest of the tractors require electronically-controlled hydromechanical transmissions. As the capacity of power stations grows and an extensive power grid based on renewable energy resources is developed, the demand for electric tractors is to be increased. Tractors with hybrid power plants are likely to be produced at the transitional stage of development. They have the advantages of controlling processes in the machine and tools, the ability to provide agricultural implements with electric power for carrying out their work processes and ensuring their active drive to develop traction as well.

Key words: tractor improvement, development trends, use of electric power, control automation

Acknowledgements: the work was done without financial support within the framework of the initiative topics.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

For citation: Didmanidze O. N., Devyanin S. N., Parlyuk Ye. P. Past, present, future of agricultural tractors *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):74-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>

Received: 27.12.2019

Accepted for publication: 10.02.2020

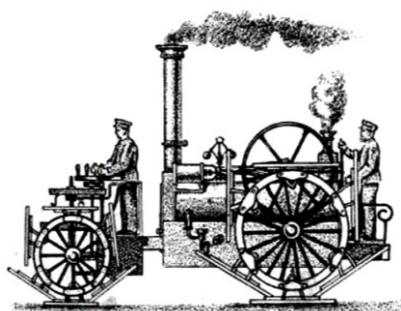
Published online: 28.02.2020

Производство сельскохозяйственной продукции без хороших машин не позволит эффективно решать продовольственные задачи. Основным источником получения продовольствия остается земледелие и основной машиной здесь является трактор. Чтобы понять каким он будет, нужно посмотреть по какому пути шло его развитие и почему. Какие задачи он решал, и будет решать, с какими современными технологиями и энергоресурсами ему работать в ближайшем будущем.

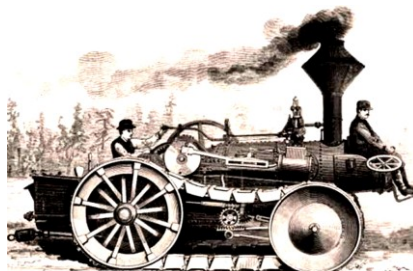
Цель работы – рассмотреть историю развития тракторов сельскохозяйственного назначения и современные направления их совершенствования.

Появление трактора было не случайным событием. Тяжелый труд земледельца требовал привлечения продуктов промышленной

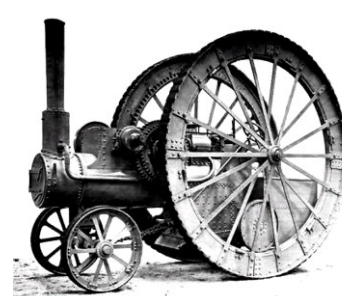
технологии, позволяющей повысить производительность труда, продуктивность производства сельскохозяйственной продукции. Появление теплового двигателя, сначала парового, а затем двигателя внутреннего сгорания было использовано на самоходной технике, в том числе и сельскохозяйственной. Преимущество тракторов перед гужевой тяговой силой сразу же было оценено в сельскохозяйственном производстве, и численность тракторов стремительно росла, вытесняя применение живого труда. Машины создавались для решения тяговых задач в рамках тех знаний, которые имелись на то время. Некоторые из этих машин представлены на рисунке 1¹, 2. Различия внешнего облика таких машин подтверждает отсутствие единства теоретического подхода к их созданию.



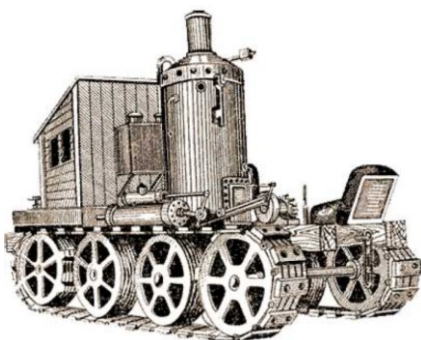
Трактор Бойделя, 1858 г. /
Boydell tractor, 1858



Трактор Пейджа, 1884 г. /
Page tractor, 1884



Трактор фирмы "Фаулер", 1887 г. /
Fowler Company tractor, 1887



Трактор Блинова, 1888 г. /
Blinov tractor, 1888



Трактор Мамина, 1910 г. /
Mamin tractor, 1910



Трактор СХТЗ 15/30, 1930 г. /
Tractor SKHTZ 15/30, 1930

Рис. 1. Первые тракторы /
Fig. 1. The pioneer tractors

¹Добровольский В. А. Современные паровые автомобили и тракторы. Харьков: ДНТБУ, 1936 г. С. 11-16.

²Коробов В. А. Тракторы, автомобили и сельскохозяйственные двигатели: Учебник. М.: ГИ Сельскохозяйственной литературы, 1950. С. 3-16.

Появление во второй половине 19-го века двигателя внутреннего сгорания, имеющего почти в 2 раза лучшую экономичность работы и меньшую удельную массу, дало существенный толчок в развитии транспортных и тяговых машин, производстве для них топлива из нефти. Эти двигатели быстро вытеснили паровые из машин автотракторного назначения и позволили создавать компактную мобильную технику, в том числе и для сельского хозяйства.

Производство тракторов в России началось после революции 1917 года. Это были колесные тракторы Я. В. Мамина небольшой мощности «Гном», «Запорожец» и «Карлик» и гусеничный – «Коммунар», выпускавшийся Харьковским паровозостроительным заводом. Трактор «Карлик» имел одноцилиндровый двигатель мощностью 12 л. с., работающий на сырой нефти, массу 1200 кг, скорость до 3,8 км/ч и тяговую мощность – 6 л. с. Колесных тракторов Я. В. Мамина было выпущено немногим более 500 шт.³

Гусеничный трактор «Коммунар» имел массу 8500 кг и мощность двигателя 50 л. с., работающего на керосине. Скорость движения трактора составляла 1,8-7,0 км/ч. Было произведено около 2000 шт. Выпускались модификации трактора большей мощности и со скоростью движения до 15 км/ч для решения трелевочных задач на лесоразработках.

Первый трактор массового производства в СССР – СХТЗ 15/30 начал выпускаться с 1930 г. Это был колесный трактор с задним ведущим мостом и жесткими колесами, который имел четырехтактный 4-цилиндровый двигатель мощностью 30 л. с., работающий на керосине. Имел трехступенчатую коробку передач и развивал скорость в диапазоне от 3,5 до 7,4 км/ч, создавал максимальную тяговую мощность до 15 л. с. при массе трактора 3011 кг. Этих тракторов было выпущено почти 400 тыс. штук.

В 1937 г. заводы перешли на выпуск тракторов с гусеничным движителем СХТЗ-НАТИ (СТЗ-3), которые выпускались до 1952 г. Трактор имел примерно такие же рабочие скорости, а мощность двигателя была увеличена до 52 л. с. и масса – до 5100 кг. Крюковая мощность возросла до 31 л. с. Трактор создавался на основе уже созданной теории работы и конструирования трактора. В сравнении с предыдущей моделью СХТЗ 15/30 у этого

трактора более чем в 2 раза большая производительность и на 5% меньше погектарный расход топлива. Трактор имел полуоткрытую кабину, что улучшало условия работы тракториста. СТЗ-3 явился прототипом широко известного трактора ДТ-54, которых было выпущено почти 1 млн штук.

Основную задачу, которую решали эти тракторы – это создание тягового усилия для выполнения сельскохозяйственных работ с максимальной производительностью и экономичностью их выполнения. Создание таких машин требовало понимания происходящих в машине процессов, ее взаимодействия с агрегируемыми машинами, опорной поверхностью, окружающей средой. Решение этих задач развивало теорию трактора, представление о качестве протекания процессов, позволяло оптимизировать конструкцию и выполнение работ.

Разработка конструкции сельскохозяйственного трактора велась в направлении повышения производительности и снижения себестоимости работ в соответствии с выполнением требований по агрономии, которые также менялись по мере ее развития. К настоящему времени эти требования определяются показателями, которые можно свести к четырем основным группам:

- производительности;
- агротехнические;
- экономические;
- экологические.

Разделение на группы позволяет оценить, с одной стороны, эффективность работы трактора в эксплуатации, и с другой – создавать машину, отвечающую уровню существующих требований. Некоторые показатели, которые выражают комплексную оценку или оказывают влияние на показатели разных групп, могут быть отнесены как к одной, так и к другой группе. Например, показатели, характеризующие надежность работы трактора, оказывают влияние на его производительность в процессе эксплуатации, экономические затраты, экологическую безопасность и др.

Показатели производительности трактора, в первую очередь, определяются мощностью двигателя, реализуемой в выполняемой работе. Для трактора, выполняющего тяговые задачи, в качестве такого показателя принято рассматривать крюковую мощность.

³Там же. С. 3-16.

Поэтому трактор, имеющий большую крюковую мощность, при прочих равных условиях будет иметь больше и производительность. Стремление повысить производительность машинотракторного агрегата (МТА) требовало увеличения мощности двигателя трактора, которое ограничивалось сцепными качествами машины с опорной поверхностью.

Увеличение сцепных качеств движителя для повышения тягового усилия остается актуальным и в настоящее время. Лучшими сцепными характеристиками обладает гусеничный движитель, однако сложность конструкции и обслуживания, высокая стоимость и материалоемкость по сравнению с колесным движителем ограничивают его широкое использование на сельскохозяйственных тракторах, особенно в последнее время. Невысокая покупательная способность сельхозпроизводителя, и, как результат, подавляющее большинство колесных тракторов на рынке, привело к тому, что на полях России уже редко встречается трактор с гусеничным движителем, несмотря на преимущества такого трактора для сельскохозяйственного производства, связанные с возможностью расширения сроков полевых работ и меньшим уплотнением почвы.

В тракторах с колесным движителем привод на передний и задний мосты позволил лучше использовать вес трактора и поднять его производительность при увеличении мощности двигателя. Другой прием повышения сцепных свойств трактора – увеличение его веса за счет балластирования навешиваемыми грузами, вес которых у современных энергонасыщенных тракторов может достигать более половины веса трактора. Для обеспечения требований по уплотнению почвы увеличивается площадь контакта движителя спариванием (до трех в блоке) ведущих колес.

Кроме того в 80-х годах прошлого века был разработан способ увеличения тяговых свойств применением дополнительного транспортно-технологического модуля для модульного энергетического средства. Этот вопрос подробно рассмотрен в работе Г. М. Кутькова [1]. Возможность распределения тягового усилия созданием активных движителей по агрегатам МТА и сейчас рассматривается конструкторами машин как возможное решение повышения эффективности работы.

Агротехнические показатели трактора определяются с целью снижения потерь при производстве сельскохозяйственной продукции

и связаны как с производимой культурой, так и существующими технологиями их возделывания. Вряд ли следует ожидать значительного изменения этих показателей для универсально-пропашных тракторов. Однако повышение маневренности и управляемости трактора остается актуальной задачей, также как и обеспечение максимальных рабочих скоростей до 15 км/ч и транспортных до 40 км/ч с характеристиками трактора, близкими к оптимальным [2].

Появление новой техники и ее конкурентоспособность с существующей во многом определяются ее экономическими показателями. Поэтому перспективная техника должна иметь преимущества по эксплуатационному расходу топлива, снижению затрат на ее эксплуатацию, уменьшению времени на восстановление работоспособного состояния и вероятности выхода из строя. Повышение ее стоимости по мере роста технического уровня должно окупаться появляющимися новыми конструкторско-технологическими решениями и возможностями трактора или МТА.

Вопрос обеспечения экологических показателей сельскохозяйственной техники более сложный, и обоснование этих требований нуждается в отдельном рассмотрении вне данной статьи. Обеспечение экологических требований к технике, в том числе и к сельскохозяйственной, должны быть научно обоснованы, так как это увеличивает стоимость техники и не всегда может приводить к повышению эффективности ее использования. Если касаться вопросов уплотнения почвы при работе трактора, то обоснованию граничного уровня посвящено достаточно много исследований [3, 4, 5 и др.], и требования по этому показателю регламентируются ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву». Требованиям по шуму и вибрациям на рабочем месте тракториста также уделялось много внимания и посвящено много научных работ [6, 7 и др.], основные результаты этих исследований легли в основу комплекса государственных стандартов, устанавливающих предельные нормы и методы их контроля.

Экологическое загрязнение окружающей среды сельскохозяйственной техникой с двигателем внутреннего сгорания ограничивается стандартами: в США – нормы Tier, в странах ЕС – нормы Stage, в России – нормы по ГОСТ Р 41.96-2011 (Правила ЕЭК ООН N 96), которые эквивалентны нормам Stage III. Принятие

государством очередных норм запрещает на законодательном уровне производство и закупку новой техники, не соответствующей этим нормам. Например, в Приказе № 1810 министра промышленности и торговли РФ от 22.12.2011 г. по стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России с 2020 г. запланирован переход на оснащение самоходной техники двигателями, соответствующих нормам Tier IV, т. е. импортного производства с системами нейтрализации отработавших газов (ОГ), что значительно повышает цены на эту технику. Существенно больший вред окружающей среде и производимой продукции наносит необоснованное применение минеральных удобрений и пестицидов.

В процессе развития тракторостроения внешний облик тракторов сельскохозяйственного назначения имеет вид, представленный

на рисунке 2. Сходство внешнего вида тракторов разной мощности, кроме трактора малого тягового класса, подтверждается оптимизацией конструктивного решения машины для выполнения сельскохозяйственных работ. На тракторах устанавливаются дизельные двигатели с турбонаддувом и электронным управлением, имеются системы снижения токсичности отработавших газов. Мощность установленного двигателя обеспечивает энергонасыщенность более 2 кВт/кН. Трансмиссия тракторов либо с роботизированной коробкой передач без разрыва потока мощности, либо бесступенчатая, что лучше позволяет оптимизировать режим работы. Если для тракторов малого тягового класса бесступенчатость обеспечивается механическим вариатором, то для остальных – гидромеханические трансмиссии с электронным управлением⁴.



Рис. 2. Современные образцы колесных тракторов разного тягового класса некоторых ведущих производителей разной мощности: а – 50 л. с, б – 75 л. с, в – 150 л. с., г – 250 л. с, д – 350 л. с., е – 450 л. с. /

Fig. 2. Modern models of wheeled tractors of different traction and power class from some leading manufacturers: а - 50 hp, б - 75 hp, в - 150 hp, д - 250 hp, е - 350 hp, ф - 450 hp

⁴Тракторы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.deere.ca/en/agriculture/>; <https://www.fendt.com/us/tractors>; <https://www.claas.de/produkte/traktoren>; <https://agriculture.newholland.com/apac/ru-ru>; <http://www.challenger-ag.com/ EMEA/RU/products/tractors/22.htm>; <https://www.caseih.com/apac/ru-ru/products/tractors>; <https://www.kubota.com/products/tractor/index.html>; <https://www.deutz-fahr.com/ru-ru/products/tractors>; <http://int.masseyferguson.com/>; <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>

Все тракторы имеют возможность балластирования. Ходовая часть тракторов имеет упругую подвеску, малую базу, оба ведущих моста, кабины имеют хорошую обзорность, комфортабельное рабочее место, систему кондиционирования и вентиляции, шумо- и термоизоляции. Рабочее место оснащено универсальным терминалом, контролирующим состояние трактора и режимы его работы, выводящего рекомендации водителю по улучшению режима работы машины и ее управления.

Тракторы могут оснащаться системами от управления курсовым движением до беспилотного автоматического управления. Имеется возможность работы в системе информационного согласования трактора с сельскохозяйственной машиной (орудием). Работа тракторов с навигационным оборудованием позволяет использовать технологии точного земледелия и участвовать в системе «Интеллектуальное сельское хозяйство».

Развитие технического решения резиноармированной гусеницы дало новый толчок в разработке тракторов с гусеничным движителем, имеющим важные для сельского хозяйства преимущества перед колесными тракторами⁵:

– хорошие сцепные качества для создания тягового усилия без существенного повреждения почвы;

– невысокое давление на почву, что позволяет в ранние сроки весной начинать полевые работы при большей влажности почвы и позже их заканчивать осенью.

Исключение жесткого звена из рабочей части гусеницы позволило гусеничной технике свободнее перемещаться по территории с разветвленной сетью дорог с твердым покрытием, что по мере развития транспортных дорог существенно усложняет процесс доставки на поля техники с металлическими гусеницами. Применение резиноармированной гусеницы упрощает процесс переезда гусеничной техники с одного поля на другое, что сокращает время выполнения вспомогательных операций, увеличивая производительность полевых работ. Скорость движения в транспортном режиме может быть повышена до 40...50 км/ч. Снижаются шум и вибрация при движении машины.

Производители сельскохозяйственной техники быстро оценили эти преимущества, и на рынке стали предлагаться тракторы, некоторые образцы которых показаны на рисунке 3. Эти тракторы так же, как и колесные, оснащаются современными дизельными двигателями с электронным управлением, системами снижения токсичности отработавших газов, имеют бесступенчатые трансмиссии, системы управления и контроля состояния трактора, режима его работы, комфортабельное рабочее место и т. д.

Конец 19-го и начало 20-го века были временем освоения электроэнергии для решения энергетических задач в промышленных процессах, в том числе и для получения механической энергии. Преимущества электрических двигателей позволили им вытеснить тепловые из разных отраслей. В первую очередь это касалось производств со стационарными двигателями. Применение на транспорте происходило по мере развития линий электропередач и по мере развития разветвленных сетей и мощностей по производству электроэнергии.

Несмотря на то, что мобильный транспорт с электродвигателем появился раньше, чем с двигателем внутреннего сгорания, конкурировать ему было сложно и, в первую очередь, из-за отсутствия энергоемкого накопителя электроэнергии. Поэтому первые транспортные машины с электроприводом нашли свое применение в городе и на железной дороге. Сельское хозяйство не оставалось в стороне, и электродвигатели здесь также находили широкое применение, в первую очередь, на стационарных установках, вытесняя тепловые машины по мере развития сети электростанций и электрообеспечения территорий.

Если применение электроэнергии в большинстве процессов сельскохозяйственного производства активно внедрялось, то использование ее в таком энергоемком процессе, как обработка почвы оказалось не таким простым. Первые попытки использования электропривода на тракторе в СССР относятся к 30-ым годам прошлого века, которые явились результатом успешного испытания электроплуга в 1921 году. В конце 30-х годов проходили опытную эксплуатацию тракторы ВИМЭ-2 и ВИМЭ-4, разработанные во ВИСХ.

⁵Тракторы. Конструкция: учебник для студентов вузов. И.П. Ксиневиц [и др.]. М.: МГТУ «МАМИ», 2001. С. 676-677.

Эти работы были продолжены после войны в конце 40-х годов созданием и испытанием тракторов серии ЭТ⁶, образцы которых показаны на рисунке 4⁷. Несмотря на то, что работы по электротрактору были прекращены, был получен хороший опыт применения электроэнергии в качестве движущей силы на тракторах. Основным недостатком при испытании этих тракторов была необходимость

подвода электроэнергии к трактору и высокоэнергетическое обеспечение каждого поля. Затраты на обработку одного гектара поля у электротрактора превышали в 2-3 раза по сравнению с тракторами, имеющими ДВС в качестве силового агрегата. Вместе с тем, отмечались и такие положительные свойства этих тракторов, как высокие тяговые качества, простота пуска и обслуживания.



а / а



б / б



в / с



г / д



д / е



е / ф

Рис. 3. Образцы современных тракторов с резиноармированной гусеницей некоторых ведущих производителей: а, б, в – двухгусеничная ходовая система; г – комбинированная система, д, е – четырехгусеничная система /

Fig. 3. Samples of modern tractors with a rubber-reinforced tracks from leading manufacturers: а, b, c - two-track chassis system; d - combined system, e, f – four-track system

⁶Жирнов Е. Электрический трактор открывает новую эру. Газета «Коммерсантъ». 2019. 1 июня.

⁷Тракторы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.deere.ca/en/agriculture/>; <https://www.claas.de/produkte/traktoren>; <https://agriculture.newholland.com/apac/ru-ru>; ag.com/EMEA/RU/products/tractors/22.htm; <https://www.caseih.com/apac/ru-ru/products/tractors>; <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>



Рис. 4. Электрические тракторы в СССР⁸ /
Fig. 4. Electric tractors in the USSR

В 21-м веке производители техники вновь вернулись к электротяге в сельскохозяйственных тракторах. Этому способствовало развитие электронных систем управления процессами в машине, разработки в создании энергоемких аккумуляторных батарей для портативных электронных устройств массового производства, ужесточающиеся экологические требования к силовым установкам.

Образцы таких тракторов периодически появляются на выставках сельскохозяйственной техники и вызывают повышенный интерес у посетителей. Среди причин перехода на электрический силовой привод тракторов можно назвать следующие:

- обеспечение экологических требований к силовым агрегатам на длительную перспективу;
- активное развитие электрического автомобильного транспорта и доказанные преимущества его использования;
- появление на рынке накопителей электроэнергии с высокими удельными показателями по доступным ценам;
- доступные цены на электрические узлы и электронные системы;
- интенсивное развитие электростанций на возобновляемых ресурсах, которые обеспечивают широкое покрытие территорий и могут быть использованы для энергообеспечения сельскохозяйственной техники;
- широкое внедрение электронных систем в управление и оптимизацию процессов, диагностику и защиту систем;

– появление электродвигателей с высокими удельными энергетическими характеристиками и КПД, способными работать в широком диапазоне частот вращения;

– получение техники с новыми техническими характеристиками.

Образцы электротракторов различных силовых схем, представляемые производителями на выставках (рис. 5), создавались на базе техники, которая использовала ДВС в качестве источника механической энергии, поэтому внешний их облик мало чем отличается от тракторов, показанных на рисунке 2.

Тракторы «Беларус-3023» фирмы МТЗ (рис. 5, а) и «Multi Tool Trac» голландской компании «Boessenkool» (рис. 5, б) выполнены по гибридной схеме силовой установки, в которой дизельный двигатель приводит электрический генератор, обеспечивающий электроэнергией силовые электродвигатели ведущих мостов. Трактор «Беларус-3023» имеет силовой электродвигатель мощностью 170 кВт, бесступенчатую электрическую трансмиссию. Трактор «Multi Tool Trac» имеет четыре электродвигателя общей мощностью 170 кВт. Использование гибридной силовой установки на этих тракторах позволяет иметь автономность работы в течение рабочей смены без дополнительной заправки. Работа дизельного двигателя в режиме, близком к оптимальному позволяет обеспечить меньший расход топлива при выполнении работ до 30% [8].

Фирмы JohnDeere (рис. 5, в, трактор JD 6R SESAM с мощностью двух электродвигателей 260 кВт), Fendt (рис. 5, г, трактор 100 Vario с мощностью электродвигателя 50 кВт), Sepp Knüsel (рис. 5, д, трактор SKE 50 с мощностью электродвигателя 50 кВт) и ХТЗ (рис. 5, е, трактор ХТЗ Edison с мощностью электродвигателя 24 кВт) разработали тракторы с питанием от аккумуляторных батарей [9].

Время работы тракторов в автономном режиме составляет от 3 до 5 часов. Тракторы имеют бесступенчатую электрическую трансмиссию, что позволяет оптимизировать режим работы электродвигателей как по производительности работы трактора, так и по экономии расхода электроэнергии аккумуляторов. Максимально возможная электрическая мощность аккумуляторных батарей превышает номинальную мощность силовых электродвигателей в 1,5-3 раза. Много внимания уделяется сокращению времени заряда аккумуляторных батарей.

⁸Электрический трактор открывает новую эру. Газета «Коммерсантъ». 2019. 1 июня.



а / а



б / б



в / с



г / д



д / е



е / ф

Рис. 5. Образцы современных тракторов с электрической трансмиссией и разными силовыми схемами: а, б – гибридная силовая установка; в, г, д, е – электродвигатель с блоком аккумуляторов /

Fig. 5. Samples of modern tractors with electric power transmission and different power schemes: а, b – hybrid power plant; с, d, e, f – electric motor with a battery pack

В 2019 году фирма John Deere на слёте дилеров в Валенсии представила новую концепцию электрического трактора в беспилотном исполнении с питанием силовых двигателей по электрическому кабелю. Работа с кабе-

лем обеспечивается манипулятором в автоматическом режиме (рис. 6). Электрическая связь с внешним источником питания обеспечивает непрерывную работу трактора, как и первых образцов, описанных ранее (рис. 4).



Рис. 6. Новая концепция фирмы JohnDeere⁹ /
Fig. 6. New John Deere concept

Несмотря на экологическую чистоту электрических тракторов, остается нерешенным вопрос экологически чистого и ресурсосберегающего процесса получения электроэнергии. Основная доля в получении электроэнергии остается за тепловыми электростанциями, которым требуется в 2-3 раза больший расход ископаемых энергоресурсов для получения такой же работы электрических тракторов по сравнению с дизельными тракторами. Эта проблема может быть решена при подавляющем большинстве электростанций на возобновляемой энергетике или появлении недорогих топливных элементов.

Закключение. Подводя итог краткого рассмотрения развития тракторов сельскохозяйственного назначения, можно сказать, что в ближайшее время производители пойдут по пути создания тракторов с ДВС, имеющих мощность, превышающую не менее чем в 2 раза требуемую для тяговых задач в базовой комплектации. Тракторы будут с бесступенчатой трансмиссией, позволяющей оптимизировать режим работы трактора и двигателя. Эти задачи уже

сейчас решаются электронной системой управления, которая согласована с рабочим орудием и с навигационным оборудованием, способна использовать технологии точного земледелия и участвовать в системе «Интеллектуальное сельское хозяйство».

Востребованными останутся как тракторы с колесным, так и гусеничным двигателем. Изменение гусеничного двигателя для сельскохозяйственных тракторов пойдет в направлении создания резиноармированной гусеницы или ее аналога с целью снижения стоимости и повышения ресурса.

По мере развития разветвленной сети электростанций из возобновляемых энергоресурсов (солнечные, ветряные, гидравлические, тепловые и т. п.) станут востребованы электрические тракторы. На переходном этапе развития будут создаваться тракторы с гибридными энергетическими установками, имеющими преимущества по управляемости процессами в машине и орудии, способностью обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные орудия как для их рабочих процессов, так и с целью обеспечения их активного привода для создания тягового усилия.

Несмотря на разработки новых технологических процессов производства продуктов питания для населения планеты, земледелие еще долго останется основным процессом производства продовольствия, и машины для обработки почвы будут востребованы. Основную долю среди них составят те, которые обеспечат наибольшую производительность работ и продуктивность производства продовольствия без нанесения ущерба окружающей среде, обеспечивая высокую экономическую эффективность.

Список литературы

1. Кутков Г. М. Развитие технической концепции трактора. Тракторы и сельхозмашины. 2019;(1):27-35. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-1-27-35>
2. Технические и технологические требования к перспективной сельскохозяйственной технике: научное издание. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 248 с.
3. Левшин А. Г., Ерохин М. Н. Научно-методические основы формирования нормированной шкалы твердости почвы. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2017;(6 (82)):28-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30727976>

⁹Agroexpert [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://agroexpert.md/rus/selihoztehnika/john-deerepredstavlyaet-avtonomnyy-elektricheskiy-traktor> (Дата обращения 05.02.2020)

4. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Показатели воздействия шин мобильных энергетических средств на почву. Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: мат-лы национальной научно-практической конференции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра. Воронеж: Воронежский ГАУ имени Императора Петра I, 2019. С. 19-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37659415>

5. Шило И. Н., Романюк Н. Н., Орда А. Н., Нукешев С. О., Кушнир В. Г. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(1):31-36. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-31-36>

6. Костюков О. В., Лощенко А. В., Поливаев О. И. Снижение воздействия транспортных вибраций на механизатора. Молодежный вектор развития аграрной науки: мат-лы 70-й научной студенческой конф. Воронеж: Воронежский ГАУ имени Императора Петра I, 2019. С. 486-489.

7. Широков Ю. А., Смирнов Г. Н. Организация рабочего места и трудового процесса тракториста-машиниста в современных мобильных машинах для сельского хозяйства. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2019;(6 (94)):28-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41565003>

8. Ерохин М. Н., Дидманидзе О. Н., Иванов С. А., Иволгин В. С., Хлебанцев А. В. Использование комбинированной энергоустановки с накопителем энергии на тракторе. Труды НАМИ. 2009;(241):119-122. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13215590>

9. Дидманидзе О. Н., Гузалов А. С. Перспектива создания электрического трактора. Доклады ТСХА: сб. статей. Вып. 291. Ч. II. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2019. С. 3-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37283417>

References

1. Kut'kov G. M. *Razvitie tekhnicheskoy kontseptsii traktora*. [Development of the technical concept of a tractor]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2019;(1):27-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-1-27-35>

2. *Tekhnicheskie i tekhnologicheskie trebovaniya k perspektivnoy sel'skokhozyaystvennoy tekhnike: nauchnoe izdanie*. [Technical and technological requirements for promising agricultural machinery: scientific publication]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2011. 248 p.

3. Levshin A. G., Erokhin M. N. *Nauchno-metodicheskie osnovy formirovaniya normirovannoy shkaly tverdsti pochvy*. [Scientific and methodological foundations of the formation of a normalized scale of soil hardness]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2017;(6 (82)):28-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30727976>

4. Polivaev O. I., Kostikov O. M., Vedrinskiy O. S. *Pokazateli vozdeystviya shin mobil'nykh energeticheskikh sredstv na pochvu*. [Indicators of the impact of tires of mobile power machines on the soil]. *Novye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya effektivnogo razvitiya APK: mat-ly natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni imperatora Petra*. [New technologies and technical means for the effective development of the agricultural sector: Proceedings of the National scientific and practical Conference of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter]. Voronezh: *Voronezhskiy GAU imeni Imperatora Petra I*, 2019. pp. 19-23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37659415>

5. Shilo I. N., Romanyuk N. N., Orda A. N., Nukeshov S. O., Kushnir V. G. *Vliyanie mnogoosnoy khodovoy sistemy mashinno-traktornykh agregatov na plotnost' pochvy*. [The influence of the multiaxial running system of machine and tractor units on the density of the soil]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;12(1):31-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-31-36>

6. Kostyukov O. V., Loshchenko A. V., Polivaev O. I. *Snizhenie vozdeystviya transportnykh vibratsiy na mekhanizatora*. [Reducing the impact of transport vibrations on the machine operator]. *Molodezhnyy vektor razvitiya agrarnoy nauki: mat-ly 70-y nauchnoy studencheskoy konf.* [Youth vector for the development of agricultural science: Proceedings of the 70th scientific student conference]. Voronezh: *Voronezhskiy GAU imeni Imperatora Petra I*, 2019. pp. 486-489.

7. Shirokov Yu. A., Smirnov G. N. *Organizatsiya rabochego mesta i trudovogo protsessa traktorista-mashinista v sovremennykh mobil'nykh mashinakh dlya sel'skogo khozyaystva*. [Organization of the workplace and the labor process of a tractor driver in modern mobile machines for agriculture]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Vestnik of Federal State Educational

Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2019;(6 (94)):28-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41565003>

8. Erokhin M. N., Didmanidze O. N., Ivanov S. A., Ivolgin B. C., Khlebantsev A. V. *Ispol'zovanie kombinirovannoy energoustanovki s nakopitelem energii na traktore*. [Using a combined power plant with energy storage on the tractor]. *Trudy NAMI*. 2009;(241):119-122. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13215590>

9. Didmanidze O. N., Guzalov A. S. *Perspektiva sozdaniya elektricheskogo traktora*. [Prospects of the electric tractor development]. *Doklady TSKhA: sb. statey*. Iss. 291. Part. II. Moscow: *Izd-vo RGAU-MSKhA*, 2019. pp. 3-6. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37283417>

Сведения об авторах

Дидманидзе Отари Назирович, академик РАН, и.о. заведующего кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», д. 49, Тимирязевская ул., г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>, e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

✉ **Девянин Сергей Николаевич**, доктор техн. наук, профессор кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева», д. 49, Тимирязевская ул., г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, e-mail: devta@rambler.ru

Парлюк Екатерина Петровна, кандидат экон. наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева», д. 49, Тимирязевская ул., г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0691-3487>**, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru

Information about the authors

Otari N. Didmanidze, academician of the Russian Academy of Sciences, Acting Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>**,
e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

✉ **Sergey N. Devyanin**, DSc in Engineering, professor, Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6776-0432>**, e-mail: devta@rambler.ru

Yekaterina P. Parlyuk, PhD in Economics, associate professor, Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0691-3487>**, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author