

MACHINERY AND BUILDING IN AGRICULTURE AND AGRIBUSINESS

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.28.8.015>

Rtischeva N.E.¹, Pulyaev N.N.², Guzalov A.S.^{3*}

^{1,2,3}Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

* Corresponding author (aguzalov[at]mail.ru)

Received: 04.12.2022; Accepted: 08.12.2022; Published: 19.12.2022

ELECTRIC TRACTOR: DESIGN SPECIFICS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Research article

Abstract

The article describes the process of development of electric tractor mechanisms, examines the most successful designs of electric tractors, electric combines, as well as sets of agricultural machines and soil-tilling tool. Modern developments of leading brands of agricultural machines, options for their implementation in agricultural work, taking into account the necessity for charging, are presented. The main types of charging stations are determined, optimal conditions for the installation of charging stations at an agricultural enterprise are considered, the main directions for further refinement of electric tractors and their application in practice are formulated.

Keywords: electric tractor, electric traction, SPS, agricultural enterprises, charging station.

Ртищева Н.Е.¹, Пуляев Н.Н.², Гузалов А.С.^{3*}

^{1,2,3}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

* Копирующийся автор (aguzalov[at]mail.ru)

Получена: 04.12.2022; Доработана: 08.12.2022; Опубликовано: 19.12.2022

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАКТОР: ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Научная статья

Аннотация

В статье описан процесс развития электротракторных механизмов, рассмотрены наиболее удачные конструкции электротракторов, электрокомбайнов, а также комплектов сельскохозяйственных машин и орудий для обработки почвы. Приведены современные разработки ведущих брендов сельскохозяйственных машин, варианты внедрения их в сельскохозяйственные работы, учитывая необходимость зарядки. Определены основные типы зарядных станций, рассмотрены оптимальные условия для установки зарядных станций на сельхозпредприятии, сформулированы основные направления дальнейшей доработки электротракторов и их применения на практике.

Ключевые слова: электротрактор, электротяга, СЭС, сельскохозяйственные предприятия, зарядная станция.

1. Введение

Сельскохозяйственная отрасль непрерывно развивается. Каждый год для разных направлений АПК предлагаются инновационные решения, помогающие сделать ведение аграрного бизнеса более эффективным и менее затратным. Однако, наибольшее внимание всех сельхозпроизводителей традиционно привлекают разработки в сфере машиностроения сельскохозяйственной техники.

Одним из наиболее трудоемких процессов при обработке почвы является вспашка. С активным развитием земледелия люди стали искать пути облегчения вспашки ручным трудом, заменяя его трудом животных, а в скором времени и техникой.

Чтобы справиться с минимальными требуемыми затратами мощности на вспашку (около 1200–1600 Вт), человек сначала использовал возможности домашних животных, а впоследствии машин, по мере изобретения двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и внедрения их в сельскохозяйственную технику. Однако практически одновременно с разработкой традиционных тракторов стали появляться разнообразные машины, в которых тяговое усилие создавалось электродвигателями.

Первые опыты электропахоты в нашей стране были проведены в 1920 г. в совхозе «Средняя рогатка» Ленинградской области и продолжены по инициативе В.И. Ленина. В 1921 году Владимир Ильич лично

присутствовал на испытаниях электролебедки, но остался не доволен результатом, а первые рабочие двухлебедочные агрегаты В-1 были созданы спустя целых 10 лет [1].

Электротракторная техника представляется более перспективной, из-за ряда преимуществ: маневренности, экологичности, бесшумности, эффективности и хороших показателей работоспособности электродвигателя после ремонта. В Советском Союзе, в конце 20-х гг, были сделаны попытки создания электротрактора с электроснабжением по кабелю. В период с 1930 по 1956 г. были разработаны и испытаны более двадцати конструкций электротракторов на переменном и постоянном токе с кабельным питанием (рисунок 1).

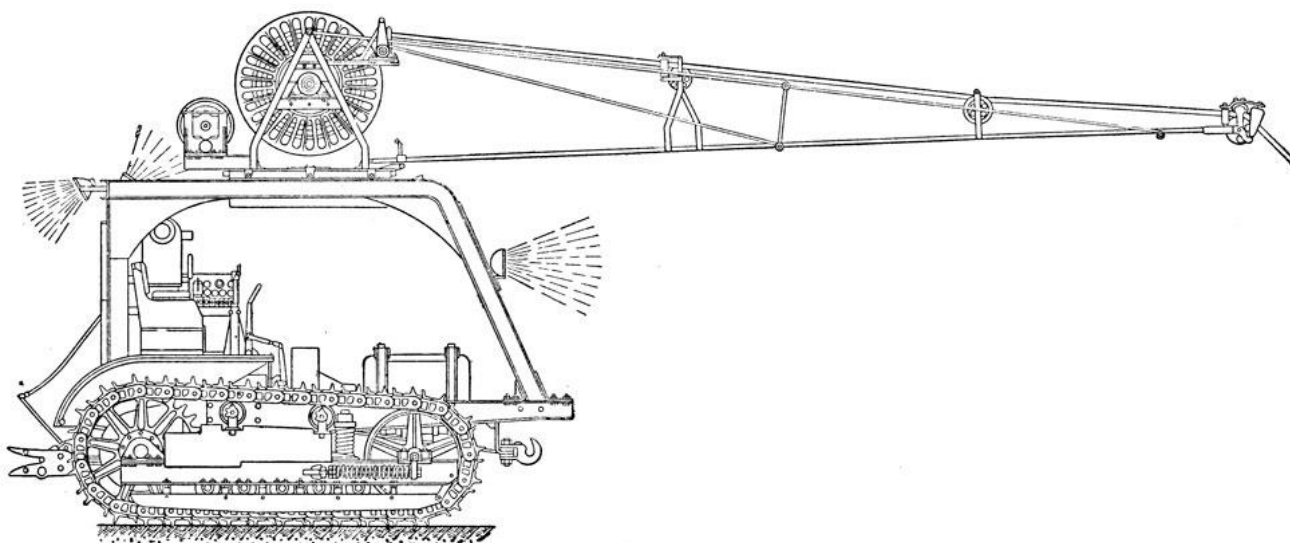


Рис. 1 – Конструкция первого работоспособного электротрактора ВИМЭ-2 (1937 год)

Цель: определить общий уровень развития сельскохозяйственной техники на электротяге, а также выделить основные проблемы при внедрении этих агрегатов в работу сельскохозяйственных предприятий.

2. Методы исследования

Настоящее исследование проведено методами графического представления информации, с помощью методов статистического анализа, сопоставления и систематизации данных.

3. Результаты и обсуждение

Примечательно, что в Советском Союзе производились не только электротракторы, но и электрокомбайны, а также комплекты сельскохозяйственных машин и орудий для челночной обработки почвы. Эти комплексы, называемые электромобильными агрегатами [2] (таблица 1), позволяли обрабатывать почву, производить уход за растениями и их уборку.

Таблица 1 – Характеристики электромобильных агрегатов

| Марка | Номинальные | | Скорость, км/ч | Тип и назначение |
|---------|---------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| | Мощность, кВт | Напряжение, В | | |
| ЭТУ-13 | 17 | 500 | 3,15–6,5 | пропашной, хлопковый |
| ЭТ-1 | 22 | 380 | 0,65–6,0 | колесный, тепличный |
| ЭТ-36 | 28 | 1000 | 4,6–7,4 | колесный, универсальный |
| ЭТ-5 | 38 | 1000 | 3,0–6,4 | колесный, общего назначения |
| ХТЗ-15А | 44 | 1150 | 3,8–6,4 | гусеничный, хлопковый |
| ЭТУ-13 | 42 | 1000 | 1,9–9,7 | зерноуборочный комбайн |

Данные разработки советских инженеров в серию не пошли вследствие множественных недостатков, таких как недолговечность питательного кабеля и отсутствие накопителей энергии достаточной емкости [1], [2].

По сей день промышленность увлечена разработкой техники на электроприводе. Ведущие мировые бренды внедряют новые технологии, проводят исследования и испытания, анонсируют выпуск современных агрегатов, работающих от электричества.

Актуальность таких разработок связана с экологическими факторами. В соответствии с Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года, технологии создания гибридной техники и техники на электрической тяге способствуют переходу энергетики на новый технологический базис, так называемый «энергетический переход». Это полностью соответствует мировым трендам развития электротранспорта [3].

Компания AGCO/Fendt много лет работает над эффективными решениями для электрификации сельскохозяйственной техники, в особенности тракторов. Около 5 лет назад она разработала пригодный для практического использования как в сельском, так и в коммунальном хозяйстве, включая зимнее содержание дорог,

компактный аккумуляторный электротрактор Fendt e100 Vario, который впоследствии был технически пересмотрен и доработан. Его можно использовать как с новыми электрифицированными, так и с давно существующими навесными орудиями [4].

Совершенствование аккумуляторного электротрактора Fendt e100 Vario будет продолжаться. В настоящее время он находится на стадии проекта, который стратегически связан с электрификацией сельхозтехники. 1 Fendt e100 [4].

John Deere – известный производитель сельскохозяйственной техники, в 2016 году представил трактор на электрическом ходу, созданный в рамках программы SESAM (Sustainable Energy Supply for Agricultural Machinery) Европейской комиссии по внедрению альтернативной энергетики в сельском хозяйстве. Данная модель спроектирована на основе серийного колесного трактора серии 6R, но вместо четырех- или шестицилиндровый турбодизеля PowerTech объемом 4,5 или 6,8 литра, установлены литий-ионные батареи суммарной емкостью 130 кВт·ч. В обычных условиях колеса приводит лишь один электромотор — через фирменную трансмиссию DirectDrive, а второй двигатель – навесное оборудование, но при необходимости оба мотора можно переключить или на привод колес, или на отбор мощности для обвеса. По расчетам, полного заряда батареи должно хватать на 4 часа работы в поле (в зависимости от тяжести работ). Полная зарядка аккумулятора от «быстрого» терминала занимает около трех часов. Продолжением этого проекта является John Deere Sesame 2. Он оснащен аккумуляторной батареей емкостью 1000 кВт·ч и может выполнять свою работу автономно. Sesam 2 может работать целый день на полностью заряженной батарее, используя 500 кВт для собственного движения или 1000 кВт/ч для внешних машин [5], [6].



Рис. 2 – Автономный электрический трактор компании John Deere [6]

Итальянский производитель Agri Eve представил серию электрических тракторов с шарнирно-сочлененной рамой Evo. В серию вошло четыре модели мощностью 68 л. с. – Evo 1, Evo 2, Evo 3 и Evo 4. По заявлению производителя, заряда батареи хватает на 8 часов работы, агрегат способен развивать скорость до 40 км/ч вперед и назад. Трактор оснащен валом отбора мощности 540 об/мин. Грузоподъемность задней навески – 2400 кг, при то, что вес трактора – 2300 кг с кабиной и 2000 кг без кабины. Evo 2 имеет дистанционное управление. Evo 3 предназначен для зеленого сектора и в стандартной комплектации оснащен гидравлическим насосом с расходом 41 литр в минуту. Evo 4 – автономная версия. В Италии уже началась предварительная продажа тракторов серии Evo. Первые из них будут поставлены заказчикам в четвертом квартале 2022 года [7].

Харьковский тракторный завод с 2015 года выпускает две модели легких электротракторов ХТЗ-2511 Electro и ХТЗ-3512 Edison, конструкционно напоминающие дизельные ХТЗ-2511 и ХТЗ-3512, поставленные на электротягу. Они применяются в животноводческих и тепличных хозяйствах. ХТЗ-2511 Electro оборудован электродвигателем мощностью 27 л.с. (20 кВт) и АКБ емкостью 30 кВт/ч. Транспортирует прицепы весом до двух тонн, при этом развивает скорость до 26 км/ч. Более новая модель ХТЗ-3512 Edison мощнее: 35 л.с. (25,7 кВт) с питанием от литий-ионной батареи емкостью 42 кВт/ч., максимальная скорость до 40 км/ч. Оба трактора рассчитаны на продолжительность работы около 4 часов, в зависимости от ее интенсивности. Чтобы понять, насколько эффективна данная модификация, проанализируем технические характеристики дизельного трактора и его модифицированного аналога с электродвигателем, на примере «Эдисона» [8].

Для объективности сравнения возьмем две одноклассовые модели одного и того же производителя. Первый – легкий трактор с дизельным двигателем, а второй – то же шасси, но с электромотором. Выведем основные характеристики обеих моделей в таблицу 2.

Таблица 2 – Сравнение технических характеристик тракторов ХТЗ [8]

| Трактор | ХТЗ-3512 | ХТЗ-3512 Edison |
|---|--|--|
| Тип двигателя | ММЗ-3LD. 4-тактный дизельный с воздушным охлаждением | Nissan Motors. Асинхронный трехфазный электродвигатель с воздушным охлаждением |
| Мощность | 35 л.с. (25,7 кВт) | 35 л.с. (25,7 кВт) |
| Тяговое усилие | 800 кН | 800 кН |
| Максимальная скорость | 30 км/ч | 40 км/ч |
| Конструкционная масса (без топлива / аккумуляторов) | 2280 кг | 2250 кг |
| Тяговая сила | до 2 тонн | до 2 тонн |
| Емкость топливного бака/батарей | 50 л | 42-киловаттные литий-ионные батареи с напряжением 400 В |
| Автономность эксплуатации без тяговой нагрузки | 10 часов | 8 часов |
| Автономность в силовых работах | 7 часов | 4 часа |
| Расход топлива/емкости батарей | 180 г/л.с. в час | 0,72 кВт*ч/л.с. в час |

На основании данных таблицы можно сделать вывод, что обе модели имеют схожие эксплуатационные характеристики, но на силовых работах электрический трактор имеет автономность практически в 2 раза меньше.

Работы по созданию электротрактора проводились и в нашей стране. В Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К. А. Тимирязева был разработан проект электрического трактора на базе Беларус-920 (рисунок 3). На тракторе был установлен электродвигатель мощностью 60 кВт (81 л. с.). Длительность работы электротрактора на блоке литий-ионных батарей составляла 4 часа. А время полной зарядки – от 30 мин [9].



Рис. 3 – Электрический трактор на базе Беларус-920 [9]

Установленные на крыше кабины солнечные батареи позволяют обеспечивать автономное питание дополнительного оборудования (светодиодное освещение, кондиционер и т. п.) Простота обслуживания, ремонтпригодность, отсутствие вредных выбросов и шума делают такой трактор лидером в своем классе. Трактор выгодно использовать как в больших хозяйствах, так и на фермах [9].

Также в университете были разработаны сравнительные характеристики тракторов с электрической трансмиссией тягового класса 1, 4 и 5, которые говорят о перспективах развития электротракторов (рисунок 4) [10].



Рис. 4 – Рассматриваемые тракторы

Таблица 3 – Сравнительные характеристики дизельного трактора Беларус-920 и проекта электрического Беларус-920Э

| Параметры | Беларус-920 | Беларус-920Э |
|---|-------------|--------------|
| Масса убираемых / вносимых компонентов, т | 0,8 / 0 | 0 / 0,9–1,1 |
| Емкость аккумуляторной батареи, кВт·ч | - | 54 |
| Максимальная мощность двигателя, кВт | 60 | 100 |
| Длительность подзаряда батареи, мин. | - | 30 |

Таблица 4 – Сравнительные характеристики дизельного тракторов К-744 и проекта электрического К-744Э

| Параметры | К-744 | К-744Э |
|---|-----------|-------------|
| Масса убираемых / вносимых компонентов, т | 3,5–4 / 0 | 0 / 2,9–3,8 |
| Емкость аккумуляторной батареи, кВт·ч | - | 160–210 |
| Максимальная мощность двигателя, кВт | 220 | 400 |
| Длительность подзаряда батареи, мин. | - | 100 |

Из таблиц можно сделать вывод, что использование в тракторе электрической тяги при практически неизменном весе позволит в 1,6–1,8 раза увеличить мощность двигателя, что приведет к увеличению номинального тягового усилия и повышению производительности рассматриваемых тракторов.

В 2021 году инженеры «Актив Техно» и «Априорные решения машин» разработали конструкторскую документацию и собрали образец трактора с электродвигателем на базе машины производства ЧЗСА [10].

В проведенном исследовании представлен анализ моделей ведущих мировых и отечественных производителей тракторов, представленный в таблице 5 и на рисунке 5. Помимо европейских производителей сельскохозяйственной техники на рынке представлены американские (Monarch Tractor), индийские (Farmtrac, Celestial E-Mobility) и турецкие (ZY Electric Tractor) модели электротракторов. Кроме того, в ближайшее время готовятся к выходу на рынок техника компаний VST Tillers Tractors, Mahindra & Mahindra и Sonalika International Tractors, а также крупнейших игроков рынка: H2Trac, Solectrac, Landini, Fendt и CNH Industrial. Некоторые из этих моделей являются гибридными, т. е. имеющие наряду с электроприводом и двигатель внутреннего сгорания.

Таблица 5 – Технические характеристики современных и перспективных электрических тракторов

| Трактор | Мощность, кВт | Емкость батарей, кВт·ч | Максимальный запас хода на 1-ой зарядке, ч | Тяговый класс |
|-------------------------------|---------------|------------------------|--|---------------|
| ХТЗ-3512 Edison | 25,7 | 42 | 8 | 0,6 |
| Monarch Tractor | 29,5 | 54 | 10 | 1,4 |
| Farmtrac FT 25 G HST | 18,5 | 15 | 5 | 0,6 |
| Celestial E-Mobility | 40 | 80 | 6 | 0,9 |
| ZY Electric Tractor | 235 | 155 | 7 | 5,0 |
| Sonalika tiger electric | 11 | 40 | 5 | 0,4 |
| Еох-175 от H2Trac (гибрид) | 175 | 160 | 6 | 0,9 |
| Solectrac Sec | 18 | 22 | 6 | 0,6 |
| Landini REX4 Electra (гибрид) | 81 | 140 | 6 | 3,0 |
| Fendt e100Vario | 50 | 100 | 5 | 1,4 |
| e70N | 51,5 | 50 | 8 | 1,4 |
| Rigitrac SKE 50 | 50 | 80 | 4 | 1,4 |
| John Deere Sesame 2 | 500 | 1000 | 12 | 7 |
| Agri Eve Evo 6 | 100 | 10 | 8 | 4 |
| Беларус-920 экспериментальный | 60 | 56 | 4 | 1,4 |
| T-16Э | 17 | 20 | 8 | 0,6 |
| К-744Э | 400 | 210 | 6 | 5 |

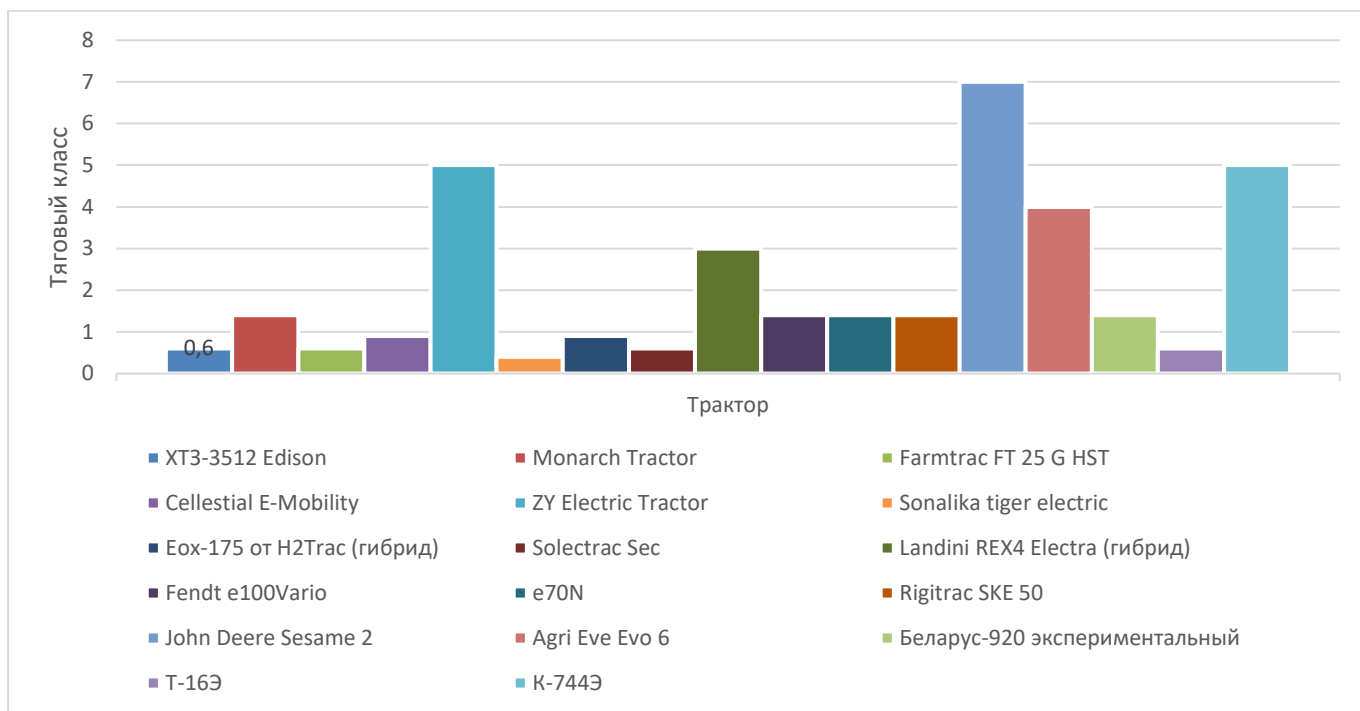


Рис. 5 – Гистограмма производства электротракторов по тяговому классу

Большинство перечисленных и известных электрических тракторов относятся к малому классу тяги и предназначены для использования в основном в коммунальном и городском хозяйстве, а также на виноградниках, в садах и в тепличных комплексах. Это связано с тем, что максимальная емкость аккумуляторных батарей ограничена современными технологиями и запас хода на одной зарядке составляет в среднем 5–6 часов и это на работах, не связанных с большими силовыми нагрузками.

Тракторы, используемые для тяжелых сельскохозяйственных работ, таких как вспашка, чаще всего имеют гибридную (комбинированную) электромеханическую трансмиссию.

Наряду с этим, трактор на электрической тяге имеет ряд преимуществ. Проведя расчетные исследования, ученые Р. Донд, У. Шривастав, д-р Б. Т. Патил и Х. Вайшнава из Инженерного колледжа Консейсао Родригес (Мумбаи) [11], сделали вывод о том, что электротрактор экономичнее своего дизельного аналога, за счет снижения эксплуатационных расходов электрического трактора при долгосрочном использовании на 84% дешевле, чем дизельный трактор. Также за счет отсутствия двигателя внутреннего сгорания, электротрактор издает меньше вибраций и шума, что положительно влияет на механизатора в кабине, он меньше устает, что соответственно повышает производительность работы. Техническое обслуживание электрического трактора менее трудоёмкое и по той же причине отсутствия ДВС и обходится сельхозтоваропроизводителю дешевле в несколько раз.

И как всякая динамично развивающаяся отрасль, современное сельхозпроизводство осуществляет поиск новых технологий, новых решений своих возникающих производственных проблем. Одним из перспективных направлений развития сельхозпроизводства, в нашей стране, да и в мире, является использование новейших достижений в области безрельсового электротранспорта, работающего на бортовом запасе электроэнергии.

Однако эксплуатация техники на электрической тяге в условиях сельского хозяйства имеет свои особенности.

Как видно из таблицы 2, автономность работы трактора при выполнении сельскохозяйственных работ составляет всего до 4 часов при выполнении энергозатратных технологических процессов и до 6–8 часов при выполнении транспортных процессов. Это значит, что после этого аккумуляторную батарею трактора необходимо заряжать.

Существует несколько способов зарядки аккумуляторных батарей электротракторов, по аналогии с электромобилями:

- трехфазная зарядная станция (400 В);
- зарядка от обычной розетки (220 В).

В настоящее время имеются успешные разработки сверхбыстрых зарядных станций с максимальной мощностью 800 В. Такие станции способны заряжать АКБ техники от 25 минут [12].

От бытовой розетки заряжать аккумулятор менее безопасно, чем от станции. Дело в том, что литий-ионные батареи заряжаются неравномерно. Сначала быстро, а под конец – медленно. Зарядная станция анализирует уровень емкости и подстраивает под нее характеристики зарядки. Это помогает сохранить как можно дольше исходную емкость аккумулятора и срок его эксплуатации. Помимо анализа батареи, станция анализирует состояние сети. При зарядке от обычной розетки есть вероятность перегрузки, что может спровоцировать оплавление изоляции, а, как следствие, – короткое замыкание [12], [13], [14].

Особенностью эксплуатации электрических тракторов в сельском хозяйстве является обеспечение их зарядными станциями в полевых условиях.

Отечественный агропромышленный комплекс отличается огромным размером сельскохозяйственных территорий, их разобщенностью между собой, большими расстояниями между полями и сложными природными условиями. Для обеспечения своевременной зарядки техники необходимы зарядные средства и оборудование.

Если рассматривать расположение сельскохозяйственного предприятия, можно заметить недостатки в электроснабжении удаленных от централизованной сети объектов электроснабжения. Частые перебои в электроснабжении, падение напряжения до критических значений – с этими проблемами сталкиваются чаще всего владельцы удаленных ферм. Есть несколько вариантов решения, проведение новой высоковольтной линии от ближайшей подстанции, установка новой понижающей на территории фермерского хозяйства – один из них. Есть другой вариант – при расположении предприятия в месте с достаточной инсоляцией, возможно размещение солнечной электростанции. Это поможет устранить ряд недостатков сельского электроснабжения, а также позволит заряжать электротрактора без потребления электроэнергии из централизованной сети. Помимо этого, в часы, когда СЭС будет вырабатывать лишнюю для данного предприятия электроэнергию, ее можно будет накапливать (при установке батарей), либо сбрасывать в сеть по «зеленому тарифу», установленному законодательством РФ.

В той местности, где централизованное электроснабжение отсутствует возможно использование передвижных зарядных средств.

При сельскохозяйственных операциях (вспашка, уборка урожая, уход за растениями) сельскохозяйственная техника движется по определенному маршруту, чаще циклическому или круговому. В этой ситуации возможна установка на этих маршрутах движения зарядных станций. Такие станции могут быть мобильными, базируемыми на шасси грузовых автомобилей или быстромонтируемыми стационарными, их расположение на маршруте можно рассчитать, используя теорию массового обслуживания.

4. Анализ спроса на электротрактор

В зависимости от основной деятельности хозяйства и его посевных площадей фермеры используют машины различной мощности и как правило нуждаются в нескольких сельскохозяйственных тракторах.

В случае с электротракторами, чтобы можно было говорить о реальной конкуренции дизельным тракторам, им пришлось бы обеспечивать полный рабочий день без перерыва на подзарядку. Текущие решения, позволяющие работать всего несколько часов, достаточны только для садов или теплиц. Более того, анализируя ответы респондентов на вопрос, планируют ли они купить новый трактор в ближайшее время, большинство, а именно 75% респондентов, ответили твердо – нет. Это связано с тем, что они уже инвестировали в машины с традиционным приводом. Однако это не означает, что электрические тракторы в фермерских хозяйствах – далекое будущее. Они являются оптимистичным предвестником перемен на рынке, движущихся в сторону экологических показателей и энергоэффективности МТП, а снятие действующих ограничений, вероятно, дело нескольких лет. John Deere ожидает, что электродвигатели будут требовать гораздо меньшего обслуживания, чем дизельный двигатель и с большим сроком службы [15], [16], [17].

Компания Custom Market Insights опубликовала новый исследовательский отчет под названием «Объем рынка электротракторов, тенденции и аналитические данные по типу батарей (свинцово-кислотная батарея, литий-ионная батарея и другие), по технологии трансмиссии (аккумуляторный электротрактор, Гибридный электрический трактор, подключаемый гибридный электрический трактор), по применению (тяжелый трактор, среднетоннажный трактор, легкий трактор) и по регионам - глобальный обзор отрасли, статистические данные, конкурентный анализ, доля, перспективы и прогноз на 2022–2030 годы» в своей исследовательской базе данных [17].

«Согласно последнему исследованию, спрос на объем и долю мирового рынка электротракторов оценивался примерно в 118 миллионов долларов США в 2021 году и, как ожидается, достигнет 132 миллионов долларов США в 2022 году и, как ожидается, достигнет значения около 250 миллионов долларов США к 2030 году при совокупном годовом темпе роста составит около 13% в течение прогнозируемого периода с 2022 по 2030 год» [17].

В отчете рассматриваются основные направления и сдерживающие факторы рынка электротракторов, а также анализ их влияния. Кроме того, в отчете упоминаются глобальные возможности, существующие на рынке электротракторов.

Таблица 6 – Показатели объема и структуры рынка электротракторов [17]

| Показатель отчета | Подробные сведения |
|---|--|
| Объем рынка, доступный в течение многих лет | 2020–2030 |
| Рассматриваемый базовый год | 2020 |
| Прогнозируемый период | 2025–2035 |
| Единицы измерения прогноза | Стоимость |
| Сегменты, покрытые | Область применения, Источник питания, Тип и регион |
| Охваченные регионы | Северная Америка (США, Канада и Мексика), Европа (Германия, Великобритания, Франция, Россия и остальная Европа), Азиатско-Тихоокеанский регион (Китай, Япония, Индия, Южная Корея и остальная часть Азиатско-Тихоокеанского региона), LAMEA (Латинская Америка, Ближний Восток и Африка) |
| Охватываемые компании | AGCO Corporation, Deere and Company, CLAAS KGaA mbH, Kubota Corporation, Escorts Limited, Mahindra и Mahindra, Dongfeng, SOLECTRAC, Caterpillar Inc., Yanmar Co. Ltd. и J.C. Bamford Excavators Ltd. (JCB). |

Поставщики электрических сельскохозяйственных тракторов по всему миру серьезно страдают из-за ограничений для производителей, а также объявленных карантинных мер, что, в свою очередь, влияет на производителей электрических сельскохозяйственных тракторов по всему миру. В этом сегменте наблюдается резкий спад в сегменте электрических сельскохозяйственных тракторов, и наиболее пострадавшим бизнесом может стать дилерская сеть из-за нарушения цепочки поставок. Например, Mahindra and Mahindra, одна из ведущих компаний по производству тракторов, объявила о предполагаемой потере продаж тракторов 30,000 с апреля по июнь 2020 года в результате карантина и других ограничений. К декабрю 2020 г. эта цифра достигла 253 тыс. единиц, что было продано в связи с растущим спросом на производство продуктов питания и непосредственным воздействием на сельское хозяйство [18], [19]. Рынок электрических сельскохозяйственных тракторов – развивающаяся отрасль, которая в настоящее время испытывает трудности из-за отсутствия рабочей силы из-за распространения коронавируса, что, в свою очередь, привело к сбоям в производстве и установке электрических сельскохозяйственных тракторов во всех пострадавших странах [20].

Основные преимущества в развитии электротракторов [21]:

- Низкие затраты на ремонт и техническое обслуживание, рост правительственных инициатив и внедрение строгих норм выбросов стимулируют рост рынка.
- Ожидается, что наличие на рынке альтернативных или работающих на топливе электрических тракторов будет сдерживать рост рынка электрических тракторов.
- Государственное регулирование в отношении постепенного отказа от транспортных средств, работающих на ископаемом топливе, которую можно рассматривать как возможность для рыночных инвестиций.

5. Выводы

Современный тренд на экологизацию промышленности и производства непосредственно коснулся и агропромышленного комплекса. Крупные производители сельскохозяйственной техники имеют в своей линейке 1-2, а то и более, моделей на электрической тяге. Рассмотрев предлагаемые на рынке и находящиеся в разработке перспективных электрические трактора можно сделать следующие выводы:

1. Применение полностью электрического трактора для аграрного сектора экономики требует разработки и внедрения еще множества инновационных решений;
2. Одной из проблем распространения электротрактора по нашей стране является обширность обрабатываемых сельскохозяйственных территорий, на большинстве которых отсутствуют распределительные линии электроснабжения;
3. Из предыдущего пункта следует, что для зарядки трактора в полевых условиях необходимы мобильные зарядные станции, которые сопровождают тракторную бригаду в течение рабочей смены. На российском и на международном рынке такие практически не представлены.
4. Для регионов с достаточной инсоляцией есть возможность установки солнечных электростанций для повышения мощности имеющейся электрической сети или для установки на маршрутах движения электрической сельскохозяйственной техники зарядных станций. Такие станции могут быть мобильными или быстромонтируемыми, их расположение на маршруте можно рассчитать, используя теорию массового обслуживания.
5. Несмотря на то, что обслуживание электротрактора простое, необходим квалифицированный персонал, подготовкой которого в настоящее время занимаются единицы образовательных организаций.

В целом, развитие сельскохозяйственной техники на электрической тяге – перспективное направление в агропромышленном комплексе, направленное на снижение шума и вредных выбросов, повышение условий работы механизатора и эргономики его рабочего места, и, соответственно, повышение производительности техники и конкурентоспособности отечественного сельхозтоваропроизводителя. В то же время наиболее рациональными и экономически обоснованными компоновками электромеханической трансмиссии, построенными на современных технических решениях, являются комбинированные (гибридные) схемы с индивидуальными электроприводом ведущих колес или мостов.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Загинайлов В. И. История развития, состояние и перспективы применения электромобильной техники в полеводстве / В. И. Загинайлов, С. А. Андреев // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 6(82). – С. 15–22.
2. Дидманидзе О. Н. Эффективность тягово-транспортных средств при использовании накопителей энергии / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, Н. Н. Пуляев. – Москва : Мегатринт, 2018. – 189 с.
3. Чутчева Ю. В. К вопросу обновления парка тракторов в Российской Федерации / Ю. В. Чутчева, Ю. С. Коротких, Н. Н. Пуляев // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 5. – С. 19–24.
4. Khurana A. A Study on the Adoption of Electric Vehicles in India: The Mediating Role of Attitude / A. Khurana, V.V. Ravi Kumar, M. Sidhpuria. – V. 24 – №. 1. – 2020. – P. 23–34.

5. Kumar A. Electric Vehicles for India: Overview and Challenges / A. Kumar, A. Rakesh, S. Padmanaban // IEEE India Council Newsletter. – 2019.
6. Preetha P. K. Electric Vehicle Scenario in India: Roadmap, Challenges and Opportunities / P. K. Preetha, P. Poornachandran // In 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT) – IEEE, 2019. – P. 1-7.
7. Troncon D. Case of Study of the Electrification of a Tractor: Electric Motor Performance Requirements and Design. / D. Troncon, A. Luigi // Energies 13. – No. 9 (2020): 2197.
8. Дидманидзе О. Н. Перспектива создания электрического трактора / О. Н. Дидманидзе, А. С. Гузалов // Доклады ТСХА, Москва, 06–08 декабря 2018 года. Выпуск 291, часть 2. – Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. – С. 3–6.
9. Гузалов А. С. Оценка технических характеристик силовых установок на базе трактора МТЗ-920 / А. С. Гузалов // Автотранспортная техника XXI века : сборник статей III Международной научно-практической конференции, Москва, 29 октября 2018 года / Под ред. О.Н. Дидманидзе, Н.Е. Зиминой, Д.В. Виноградова. – Москва : ООО «Мегаполис», 2018. – С. 77–86.
10. Пуляев Н. Н. Трактора сельскохозяйственного назначения нового поколения / Н. Н. Пуляев, А. Р. Зарикеев // Наука без границ. – 2020. – № 5(45). – С. 112–116.
11. Dhond R. Comparative Study of Electric Tractor and Diesel Tractor. To cite this article / R. Dhond et al. – 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1168 012003 (2021)
12. Florentsev S. Complete Traction Electric Equipment Sets of Electro-Mechanical Drive Trains for Tractors / S. Florentsev, D. Izosimov, L. Makarov et al. // In Proceedings of the IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, Irkutsk, Russia, 11–15 July 2010 – P. 611–616.
13. Grunditz E. Design and assessment of battery electric vehicle powertrain, with respect to performance, energy consumption and electric motor thermal capability / E. Grunditz. – Chalmers University of Technology, 2016.
14. Skrucany T. Reducing energy consumption by passenger car with using of non-electrical hybrid drive technology / T. Skrucany, V. Harantova, M. Kendra et al. // Advances in Science and Technology Research Journal, 11 (1). – 2017. – P. 166–172.
15. Dziubiński M. Energy intensity of the electric vehicle / M. Dziubiński, A. Drozd, M. Adamiec et al. // Advances in Science and Technology Research Journal, 11(4) – 2017. – P. 81–84.
16. Wang Y. Research on Loading Method of Tractor PTO Based on Dynamic Load Spectrum / Y. Wang, L. Wang, L., J. Zong et al. // Agriculture. – 2021. – 11. – P. 982.
17. Chen A.Y. Design of torque distribution strategy for electric tractor with dual motor coupling drive // A.Y. Chen, S.R. Chen, A.P. Shi et al. // Agric. Mech. Res. – 2021. – 11. – P. 1–6.
18. Huang T.L. Energy management strategy for dual-motor power divider pure electric tractors / T.L. Huang, S.R. Chen, A.P. Shi et al. // J. Agric. Mech. Res. – 2020. – 6. – P. 246–250.
19. Tomasikova M. Analysis of transport mechatronic system properties / M. Tomasikova, M. Tropp, T. Gajdosik et al. // 12th International Scientific Conference of Young Scientists on Sustainable, Modern and Safe Transport, High Tatras, Slovakia, May 31-Jun 02, 2017 / Edited by: Bujnak J., Guagliano M. – In: Procedia Engineering, 192, 881-886 (2017)
20. Lambert F. John Deere unveils latest all-electric tractor prototype for zero-emission agriculture / F. Lambert. – URL: <https://electrek.co/2016/12/05/john-deere-electric-tractor-prototype/> (accessed: 01.12.2022)
21. Engstrom J. Battery electric autonomous agricultural machine / J. Engstrom, O. Lagnelof. – Simulation of all operations on a Swedish farm. Land, Technik Ageng 2017: The Forum For Agricultural Engineering Innovations (VDI-MEG 2017), VDI Berichte, 75th Conference of LAND, TECHNIK – AgEng 2017, Hannover, Germany, Nov. 10-11, 2017, 2300, 15-22 (2017)

References in English

1. Zaginajlov V. I. Istoriya razvitiya, sostoyanie i perspektivy` primeneniya e`lektromobil`noj texniki v polevodstve [History of development, state and prospects for the use of electric vehicles in field crops] / V. I. Zaginajlov, S. A. Andreev // Vestnik Federal`nogo gosudarstvennogo obrazovatel`nogo uchrezhdeniya vy`sshego professional`nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvenny`j agroinzhenerny`j universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2017. – № 6(82). – P. 15–22 [in Russian]
2. Didmanidze, O. N. E`ffektivnost` tyagovo-transportny`x sredstv pri ispol`zovanii nakopitelej e`nergii [Efficiency of traction vehicles when using energy storage devices] / O. N. Didmanidze, S. A. Ivanov, N. N. Pulyaev. – Moskva: Megaprint, 2018. – 189 p. [in Russian]
3. Chutcheva, Yu. V. K voprosu obnovleniya parka traktorov v Rossijskoj Federacii [On the issue of updating the tractor fleet in the Russian Federation] / Yu. V. Chutcheva, Yu. S. Korotkix, N. N. Pulyaev // E`konomika sel`skogo xozyajstva Rossii. – 2020. – № 5. – P. 19–24 [in Russian]
4. Khurana A. A Study on the Adoption of Electric Vehicles in India: The Mediating Role of Attitude / A. Khurana, V.V. Ravi Kumar, M. Sidhpuria. – V. 24 – №. 1. – 2020. – P. 23–34.
5. Kumar A. Electric Vehicles for India: Overview and Challenges / A. Kumar, A. Rakesh, S. Padmanaban // IEEE India Council Newsletter. – 2019.
6. Preetha P. K. Electric Vehicle Scenario in India: Roadmap, Challenges and Opportunities / P. K. Preetha, P. Poornachandran // In 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT) – IEEE, 2019. – P. 1–7.
7. Troncon D. Case of Study of the Electrification of a Tractor: Electric Motor Performance Requirements and Design. / D. Troncon, A. Luigi // Energies 13. – No. 9 (2020): 2197.

8. Didmanidze O. N. Perspektiva sozdaniya e`lektricheskogo traktora [The prospect of creating an electric tractor] / O. N. Didmanidze, A. S. Guzalov // *Doklady` TSXA, Moskva, 06–08 dekabrya 2018 goda. Tom vy`pusk 291, chast` 2.* – Moskva: Rossijskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet – MSXA im. K.A. Timiryazeva, 2019. – P. 3–6 [in Russian]
9. Guzalov, A. S. Ocenka texnicheskix xarakteristik silovy`x ustanovok na baze traktora MTZ-920 [Evaluation of the technical characteristics of power plants based on the MTZ-920 tractor] / A. S. Guzalov // *Avtotransportnaya texnika XXI veka : sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 29 oktyabrya 2018 goda / Pod redakciej O.N. Didmanidze, N.E. Zimina, D.V. Vinogradova.* – Moscow : LLC Megapolis, 2018. – P. 77–86 [in Russian]
10. Pulyaev N. N. Traktora sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya novogo pokoleniya [New generation agricultural tractors] / N. N. Pulyaev, A. R. Zarikeev // *Nauka bez granicz.* – 2020. – № 5(45). – P. 112-116 [in Russian]
11. Dhond R. Comparative Study of Electric Tractor and Diesel Tractor. To cite this article / R. Dhond et al. – 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1168 012003 (2021)
12. Florentsev S. Complete Traction Electric Equipment Eets of Electro-Mechanical Drive Trains for Tractors / S. Florentsev, D. Izosimov, L. Makarov et al. // *In Proceedings of the IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, Irkutsk, Russia, 11–15 July 2010* – P. 611–616.
13. Grunditz E. Design and assessment of battery electric vehicle powertrain, with respect to performance, energy consumption and electric motor thermal capability / E. Grunditz. – Chalmers University of Technology, 2016.
14. Skrucany T. Reducing energy consumption by passenger car with using of non-electrical hybrid drive technology / T. Skrucany, V. Harantova, M. Kendra et al. // *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11 (1). – 2017. – P. 166–172.
15. Dziubiński M. Energy intensity of the electric vehicle / M. Dziubiński, A. Drozd, M. Adamiec et al. // *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11(4) – 2017. – P. 81–84.
16. Wang Y. Research on Loading Method of Tractor PTO Based on Dynamic Load Spectrum / Y. Wang, L. Wang, L., J. Zong et al. // *Agriculture.* – 2021. – 11. – P. 982.
17. Chen A.Y. Design of torque distribution strategy for electric tractor with dual motor coupling drive // A.Y Chen, S.R. Chen, A.P. Shi et al. // *Agric. Mech. Res.* – 2021. – 11. – P. 1–6.
18. Huang T.L. Energy management strategy for dual-motor power divider pure electric tractors / T.L Huang, S.R Chen, A.P. Shi et al. // *J. Agric. Mech. Res.* – 2020. – 6. – P. 246–250.
19. Tomasikova M. Analysis of transport mechatronic system properties / M. Tomasikova, M. Tropp, T. Gajdosik et al. // *12th International Scientific Conference of Young Scientists on Sustainable, Modern and Safe Transport, High Tatras, Slovakia, May 31-Jun 02, 2017 / Edited by: Bujnak J., Guagliano M.* – In: *Procedia Engineering*, 192, 881-886 (2017)
20. Lambert F. John Deere unveils latest all-electric tractor prototype for zero-emission agriculture / F. Lambert. – URL: <https://electrek.co/2016/12/05/john-deere-electric-tractor-prototype/> (accessed: 01.12.2022)
21. Engstrom J. Battery electric autonomous agricultural machine / J. Engstrom, O. Lagnelof. – Simulation of all operations on a Swedish farm. *Land, Technik Ageng 2017: The Forum For Agricultural Engineering Innovations (VDI-MEG 2017), VDI Berichte, 75th Conference of LAND, TECHNIK – AgEng 2017, Hannover, Germany, Nov. 10-11, 2017, 2300, 15-22 (2017)*