

ЗАГИНАЙЛОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: energo-viz@mail.ru

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: asa-finance@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550,

ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПОЛЕВОДСТВЕ

Отражены основные этапы и направления развития электрифицированных технических средств для осуществления мобильных технологических процессов в полеводстве. В качестве пионерских разработок в этой сфере признаны электропахотные агрегаты канатной тяги, выполненные по двухдвигательной и однодвигательной схемам. Эти устройства явились яркими примерами воплощения идей основателя земледельческой механики В.П. Горячкина в деле создания эффективных почвообрабатывающих машин с применением электрической энергии. Перечислены основные преимущества электроплугов и выявлены их недостатки. Сделан вывод о возможности успешного использования этих устройств в наши дни. Рассмотрены наиболее удачные конструкции электротракторов, электрокомбайнов, а также комплектов сельскохозяйственных машин и орудий для челночной обработки почвы. Основными недостатками электрооборудованных агрегатов признаны низкая маневренность, громоздкость, большая металлоемкость кабельного барабана, а также существенные потери мощности в подводящем кабеле. Описаны технические решения, позволяющие исключить использование токоподводящего кабеля. Среди них: электротракторы, совмещающие двигатели внутреннего сгорания с электрогенераторами, тракторы с питанием от аккумуляторных батарей и тракторы с комбинированным энергообеспечением тяговых электродвигателей. Комбинированное энергообеспечение достигается посредством гибкой коммутации химических накопителей и конденсаторов большой мощности. Приведены технические характеристики наиболее распространенных моделей электротракторов. Сделан вывод о перспективности перевода мобильной сельскохозяйственной техники на электрическую тягу.

Ключевые слова: вспашка почвы, мобильная сельскохозяйственная техника, электроплуг, электротрактор, энергообеспечение, электрический кабель, аккумулятор, конденсатор.

Введение. Обращаясь к истории земледельческой механики текущего столетия, невозможно не отметить выдающиеся достижения отечественных конструкторов, продолжавших работы академика В.П. Горячкина в области создания мобильной сельскохозяйственной техники для нужд полеводства. Среди этих работ особое место занимают исследования по использованию электрической энергии для обеспечения движения сельскохозяйственных машин. Знание истории развития вопроса позволяет проводить параллели между вчерашним и сегодняшним днем, перенимать положительный опыт научных школ и поддерживать методологические принципы известных ученых.

Цель работы – обобщение информации по использованию электрической энергии для обеспечения движения сельскохозяйственных машин при производстве продукции растениеводства.

Материал и методы. Исходным материалом послужили литературно-технические данные по наиболее важным научным решениям в рассматриваемой сфере. При рассмотрении вопроса были использованы методы научного обобщения информации и ин-

дуктивного формирования доминирующих тенденций в области использования электрической энергии при выполнении работ мобильными агрегатами в условиях сельскохозяйственного производства.

Результаты и обсуждение. Одним из наиболее трудоемких процессов в полеводстве является вспашка. На протяжении всей истории активного земледелия люди искали пути повышения производительности вспашки при одновременном снижении доли ручного труда. Известно, что при вспашке земли наибольшие затраты энергии приходится на обеспечение поступательного движения плуга. Количественную оценку требуемого тягового усилия произвел в своих трудах академик В.П. Горячкин. Известная формула, носящая его имя, имеет вид

$$F_m = f_m m_n + abk_n + \xi abv^2, \quad (1)$$

где F_m – тяговое усилие, кг с; f_m – коэффициент трения плуга о почву; m_n – масса плуга, кг; a – ширина захвата плуга, см; b – глубина пахоты, см; k_n – коэффициент сопротивления пласта срезу для заданных условий; ξ – коэффициент, характеризующий вли-

яние скорости на сопротивление почвы; v – средняя скорость движения плуга, м/с.

Рассчитав величину тягового усилия по формуле (1), нетрудно найти величину требуемой мощности:

$$P_n = \frac{F_n v}{0,102 \eta_n} \quad (2)$$

где η_n – к.п.д. передачи.

Интересно, что даже при самых примитивных орудиях вспашки требуемая мощность составляет 1200...1600 Вт. В то же время физические возможности человека, проявляемые в кратковременном мускульном напряжении, не превышают 600...800 Вт. Именно поэтому вначале человек использовал в качестве тяговой силы при вспашке возможности домашних животных, а затем энергию машин.

С началом эпохи машинного земледелия тяговое усилие обеспечивалось тракторами, приводимыми в движение двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Однако практически одновременно с разработкой традиционных тракторов стали появляться разнообразные машины, в которых тяговое усилие создавалось электродвигателями. По существу эти машины явились прообразами новых технических средств, которые получили свое развитие в электролебедках и электротракторах.

В электролебедках двигатель устанавливался стационарно, а плуг приводился в движение за счет троса. В электротракторах двигатель располагается на самоходном шасси, которое перемещается по полю и обеспечивает движение плуга.

Электролебедки. Первые опыты электропахоты с электролебедками в нашей стране были проведены в 1920 г. в совхозе «Средняя рогатка» Ленинградской области [1] и продолжены по инициативе В.И. Ленина [2, 3]. По его указанию на Балтийском судостроительном заводе были изготовлены первые 20 электропахотных агрегатов канатной тяги. 22 октября 1921 г. В.И. Ленин лично присутствовал на испытаниях электропахотного агрегата на Бутырском хуторе (Москва), но остался ими недоволен [3]. Первые рабочие двухлебедочные пахотные агрегаты В-1 были созданы только в 1931 г. [2].

Электропахотный агрегат канатной тяги (рис. 1а) состоял из двух передвижных лебедок 1, установленных на противоположных концах поля и связанных между собой стальным тросом 2. К тросу прикреплялся балансирный плуг 3 с комплектами право- и левосторонних лемехов. Благодаря переключению электродвигателей 4 лебедок плуг получал возможность перемещения в выбранном направлении. В последующих разработках электропахотных агрегатов (рис. 1б) одна из лебедок заменялась намоточным барабаном 1, что дало возможность обойтись одним электродвигателем. Масса одной лебедки состав-

ляла 15...17 т, а мощность двигателя – 90 кВт. Производительность агрегата с 6-корпусным плугом достигала 1 га/ч. Расход электрической энергии на вспашку 1 га земли составлял 50...55 кВт·ч. [4].

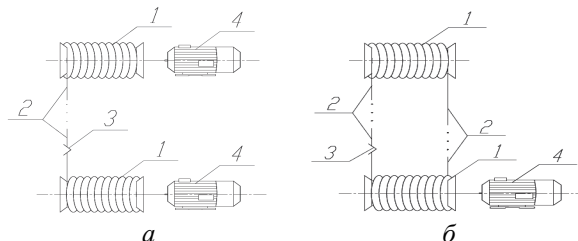


Рис. 1. Схемы электропахотных агрегатов канатной тяги:

а – с использованием двух электролебедок;
б – с использованием одной электролебедки

При оценке необходимого тягового усилия для электропахотных агрегатов по формуле В.П. Горячкина (1) в ее правую часть вводится слагаемое, учитывающее усилие на волочение троса: m_{mp} – масса троса, кг; R_{mp} – коэффициент, учитывающий усилие на волочение троса, $R_{mp} = 0,75...0,95$, кг [2].

Вследствие высокой металлоемкости, низкой маневренности и сложности эксплуатации электролебедок в конце тридцатых годов была установлена их неперспективность. В то же время следует отметить, что с появлением высокоэффективных регулируемых электродвигателей, совершенствованием и удешевлением аппаратуры управления и распространением новых материалов идея использования электропахотных агрегатов канатной тяги вновь становится актуальной. Так, уже на протяжении нескольких лет ОАО «МогилевЛифтМаш» (Беларусь) выпускает и успешно реализует электролебедки ЛС-10А, предназначенные для вспашки и выполнения других работ в условиях личных подсобных и малых фермерских хозяйств. Лебедка обеспечивает глубину вспашки 300 мм и позволяет качественно обрабатывать почву при мощности электродвигателя 1500 Вт.

По-видимому, дальнейшее развитие электропахотных агрегатов канатной тяги пойдет по пути совершенствования алгоритмов и средств управления лебедками, а также механизмов передвижения лебедок и поворотных блоков.

Электрифицированные мобильные орудия для обработки почвы. Обособленное место среди электрифицированных сельскохозяйственных машин занимают электромоторизованные орудия для обработки почвы. В этих машинах рабочие органы, взаимодействующие с почвой, получают поступательно-вращательное движение от установленного на них электродвигателя. Электрификация работ по обработке земли с помощью электромоторизованных орудий была исследована на двух об-

разцах: электроплуге и виноградном электрокультиваторе [2, 4].

Эти машины не получили широкого распространения из-за высокой массы, низкого коэффициента годового использования, жесткости управления и отсутствия универсальности. В то же время многие технические решения, примененные в электрифицированных орудиях, в дальнейшем были использованы при создании новых мобильных сельскохозяйственных машин.

Электротракторы. И все-таки наиболее перспективным направлением представляется развитие электротракторной техники. В отличие от электролебедок, тракторы обладают более высокой маневренностью и универсальностью [1, 2, 5-7].

Попытки создания электротрактора с электропитанием по кабелю были сделаны в Советском Союзе в конце 20-х гг. В период с 1930 по 1956 г. были разработаны и испытаны более двадцати конструкций электротракторов на переменном и постоянном токе с кабельным питанием. Вместо традиционного ДВС на шасси трактора устанавливался электродвигатель и специальные устройства, обеспечивающие наматывание и разматывание кабеля. Кроме того, в состав агрегатов входили токосъемники, аппаратура управления, передвижные электрические подстанции и полевые воздушные линии электропитания.

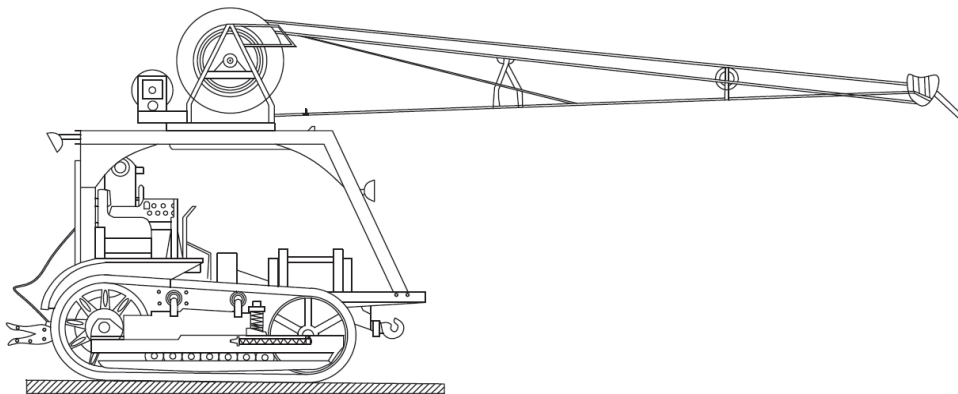


Рис. 2. Конструкция электротрактора

Первая конструкция гусеничного электротрактора была разработана инженером В.А. Пичак на базе дизельного трактора ЧТЗ-60. Мощность электродвигателя составляла 35 кВт при напряжении 1000 В. Питание электродвигателя трактора осуществлялось по гибкому шланговому кабелю длиной 800 м. Вращающаяся стрела поднимала кабель над трактором и укладывала его на расстоянии до 5 м от борозды.

К сожалению, эта конструкция оказалась несовершенной. Однако уже вскоре, в 1937 г., в ВИЭСХ П.Н. Листовым и В.Г. Стеценко был создан работоспособный электротрактор ВИМЭ-2 [5-7]. На этом тракторе был установлен трехфазный электродви-

Основными преимуществами электротракторов являлись:

- постоянная готовность к работе, быстрое включение и отключение, независимость от температуры окружающей среды;
- высокая кратковременная перегрузка электродвигателя;
- значительная экономия рабочей силы в электротракторных бригадах, повышенный моторесурс (несколько десятков тысяч часов против тысячи часов у ДВС);
- неизменность мощности электродвигателя после ремонта;
- экономичность (средний расход электроэнергии составляет 45 кВт·ч на 1 га мягкой пахоты);
- экологичность, отсутствие шума.

Для приема кабеля на тракторе использовали стрелу с кабельным барабаном. При движении мобильного электроагрегата к передвижной трансформаторной подстанции кабель наматывали на барабан с помощью специального электродвигателя, а при движении в противоположную сторону – разматывали. Кабелеприёмная стрела возвышалась над кабиной электроагрегата и использовалась не только для приема кабеля, но и для обеспечения электробезопасности, отводя его от агрегируемых сельскохозяйственных машин и орудий (рис. 2).

гатель мощностью 48 кВт и кабельный барабан, вмещающий 750 м гибкого кабеля с резиновой изоляцией. Разработкой и исследованиями режимов работы электротракторов и электрокомбайнов в те годы были заняты ведущие ученые, НИИ, сельскохозяйственные вузы и машиноиспытательные станции.

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 [5] (табл. 1), позволяли обрабатывать почву, производить уход за растениями и их уборку.

Техническая характеристика полевых электроагрегатов

№ п/п	Марка и тип мобильного электроагрегата	Номинальные		Скорость, км/ч	Комплектуемое оборудование
		мощность, кВт	напряжение, В		
1	Электротрактор ЭТУ-13: пропашной, хлопковый	17	500	3,15...6,5	Передвижная ПТП, комплект машин и орудий
2	Электротрактор ЭТ-1: колесный, тепличный	22	380	0,65...6,0	Кабельная тележка, комплект машин и орудий
3	Электротрактор ЭТ-36: колесный, универсальный	28	1000	4,6...7,4	Передвижная ПТП, кабельная тележка, комплект машин и орудий
4	Электротрактор ЭТ-5: колесный, общего назначения	38	1000	3,0...6,4	Передвижная ПТП, сцепка СН-1, комплект машин и орудий
5	Электротрактор ХТЗ-15А: гусеничный, хлопковый	44	1150	3,8...6,4	Передвижная ПТП, кабельная тележка ХТЗ-18, сцепка СН-1, комплект машин и орудий
6	Электрокомбайн ЭТУ-13: зерноуборочный	42	1000	1,9...9,7	Передвижная ПТП, кабельная тележка ХТЗ-18, копнитель

Основными недостатками электромобильных агрегатов были низкая маневренность, громоздкость, большая металлоемкость барабана с кабелем (до 3 т), а также существенные потери мощности (до 13%) в подводящем кабеле и его быстрый износ из-за трения о почву. Наиболее слабым местом электротракторов с кабельным электропитанием являлась система подвода электроэнергии. Наличие барабана с токоподводящим кабелем усложняло конструкцию, значительно увеличивало массу электротрактора, что в соответствии с формулой В.П. Горячкина приводило к увеличению энергозатрат:

$$F_m = f_m(m_n + m_k) + abk_n + \xi abv^2 + R_k m_k, \quad (3)$$

т.е. в формулу (1) дополнительно вводятся: m_k – масса кабеля, кг; R_k – коэффициент, учитывающий усилие на волочение кабеля.

Для снижения массы кабеля и соответственно энергозатрат на перемещение предлагалось питание электротракторов осуществлять по: однопроводной линии, а в качестве второго провода использовать землю (ОПЗ) [8]; однопроводной системе передачи электрической энергии с использованием высокочастотного трансформатора Тесла [9]. Однако при изменениях параметров: схем в процессе работы и окружающей среды – обе системы оказались недостаточно надежными в эксплуатации.

Отказ от кабеля и использование электротракторов с генераторами и аккумуляторами позволило снизить энергозатраты на перемещение мобильных агрегатов, а расчет тягового усилия производить по классической формуле В.П. Горячкина (1).

Электротракторы с генератором. Тракторы с электрогенератором – это мобильные агрегаты, у которых вся или часть энергии, вырабатываемой

ДВС, преобразуется в электрическую энергию. Для этого в систему обычного трактора с ДВС встраивался трехфазный генератор соизмеримой или меньшей мощности (рис. 3).

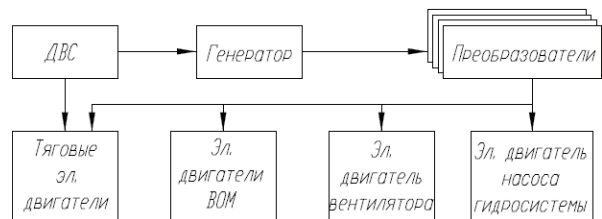


Рис. 3. Структурная схема электротрактора с генератором

Привод генератора осуществлялся непосредственно от вала отбора мощности или через клиноременную передачу. При генераторе соизмеримой мощности через соответствующие преобразователи, осуществлялся привод тяговых электродвигателей ходовой части и всего вспомогательного электрооборудования. При несоизмеримой мощности – только вспомогательного электрооборудования. Системы освещения, сигнализации и управления получали электропитание от специального генератора или трансформатора собственных нужд 380/12В.

В сельскохозяйственном производстве для выполнения энергоемких работ, требующих совмещения операций и секционирования машин, использовали мобильные электрифицированные агрегаты автономного способа питания (МЭААП), состоящие из базового трактора или комбайна с электрогенератором и навесных или прицепных сельскохозяйственных машин с электрифицированными рабочими органами (табл. 2) [5].

По сравнению с лучшими агрегатами с механическим приводом МЭААП позволяли снизить затраты при проведении работ в полеводстве не менее

чем на 20...25% при сокращении потребности в рабочей силе на 30...35%, но проигрывали в стоимости на 130...140%.

Таблица 2

Техническая характеристика электрифицированных мобильных агрегатов

№ п/п	Тип агрегата	Тип тяговой машины	Синхронный генератор			Сельскохозяйственная машина		Электродвигатели сельскохозяйственных машин		
			тип	мощность, кВт	напряжение, В	тип	количество, шт.	тип	мощность, кВт	количество, шт.
1	Лафетные жатки ЖЭА-3Р	ДТ-54	СГТ-25/6	25	380	ЖР-4,9	2	А-52-6	4,5	2
2	Жатвенный агрегат ЖЭАН-12	ДТ-54А	СГТ-25/6	25	380	ЖН-4,0	3	АОЛ-42-4	2,8	3
3	Жатвенный агрегат ЖВЭ-15	СК-4	ЕСС-62-4	15	400	ЖВ-15	1	А-51-4	4,5	2
4	Фрезерный трехсекционный культиватор	МТЗ-50	ЕСС-81-4	25	400	ФКШ-2,7	3	А-51-2	7,0	3
5	Свеклоуборочный комбайн	МТЗ-50	ЕСС-81-4	25	400	2 ряда	1	АО АО АО	4,0 4,0 0,6	4 2 2
6	Прицепной зерноуборочный комбайн РСМ-8	С-80	СГ-60/6	55	400	РСМ-8	1	А	37,6	7
7	Кукурузоуборочный комбайн КУ-2	ДТ-54	СГТ-25/6	25	380	КУ-2	2	А	11,0	2
8	Сенопрессподборщики	МТЗ-5	СГТ-15/6	15	380	-	2	А	7,0	2
9	Сенокосилка семибрусная КЭ-14	ДТ-54	СГТ-25/6	250	380	КН-14	1	А	1,7	7

Электротрактора с аккумуляторами. В качестве источника энергии в таких тракторах используются химические накопители – литий-ионные аккумуляторы [10-14] или тяговые электродвигатели-генераторы с литий-ионными аккумуляторами и суперконденсаторами [15].

В МГАУ имени В.П. Горячкина, на кафедре «Автомобильный транспорт», с 2003 по 2012 г. был создан ряд тягово-транспортных средств (электротракторов и электроавтомобилей), на которых наряду с серийным двигателем и трансмиссией установлены элетрогенераторы или система компенсации мощности с тяговыми электродвигателями и накопителями электрической энергии. Проведенные исследования показали перспективность данного направления, поскольку в таких гибридных машинно-тракторных агрегатах уменьшается расхода топлива на 6...8% [14, 15].

Структурные схемы тракторов с ДВС (рис. 3) и тракторов с химическими накопителями энергии (рис. 4) весьма схожи.

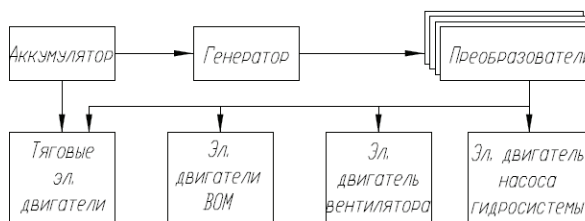


Рис. 4. Структурная схема электротрактора с аккумулятором

Крупнейший производитель сельхозтехники в мире John Deere представляет прототип электротрактора с аккумуляторами SESAM. В этом трак-

торе используется только электротяга – вместо дизельного мотора под капотом установлены аккумуляторные блоки на 130 кВт·ч и два электродвигателя по 150 кВт. Полный заряд батареи обеспечивает работу на протяжении 4 ч при нормальных условиях эксплуатации. Продолжительность зарядки батареи составляет 3 ч, а срок ее службы определяется 3100 циклами [10].

В Украине готовится к выпуску электротрактор ХТЗ Edison, представляющий собой совместную разработку ХТЗ с компанией «АвтоЭнтерпрайз». Трактор класса 0,6 оснащен литий-ионными батареями и электродвигателем Nissan Motors/Electric Motor мощностью 40 лошадиных сил. Для полной зарядки аккумуляторов потребуется от 2 до 4 ч при использовании зарядного устройства и от 8 до 10 ч – при зарядке от промышленной электросети. В транспортном режиме трактор способен работать до 8 ч, при номинальной нагрузке – 4 ч. Планируемая стоимость ХТЗ Edison при серийном производстве составит 15 тыс. долларов [11].

Российская компания MOBEL провела презентацию электротрактора, сконструированного на основе популярной модели «Беларус-920». Электротрактора компании MOBEL оснащены литий-ионными батареями емкостью 56 кВт·ч и итальянским электродвигателем мощностью 60 кВт (81 л.с.). Эти электродвигатели обладают коэффициентом запаса крутящего момента 15% и максимальной величиной крутящего момента 250 Нм при 2200 об/мин. Рабочее напряжение электродвигателя составляет 300 В. В конструкции трактора сохранена синхронизированная коробка передач. Длительность работы трактора после зарядки батарей – 4 ч, время быстрой зарядки – 30 мин [12].

В настоящее время опытные электротрактора компании MOBEL проходят испытания. После сертификации их выпуск будет организован в ЗАО «Электротехническая компания» (г. Пермь). Основными поставщиками комплектующих будут Минский тракторный завод и новосибирская компания ООО «ЛИОТЕХ». Производство электродвигателей планируется осуществлять на предприятии компании «ТВЭЛ» корпорации «Росатом» [13].

Многие эксперты в вопросе будущего самодвижущейся техники приходят к выводу, что главный критерий – это уровень автономности [13], самоуправляемости мобильной техники, которую могли бы обеспечить электротрактора с аккумулятором электрической энергии. Однако для обеспечения работоспособности тракторов мощностью 200 л.с. в течение рабочей смены их необходимо оборудовать аккумуляторами, способными сохранить электрическую энергию в объеме 1500 кВт·ч. К сожалению, подобные батареи сегодня стоят около 350 тыс. долларов, а их масса превысит массу самой сельскохозяйственной техники [16].

В то же время аналитики Bank of America Merrill Lynch считают, что транспорт на жидком топливе, на который приходится 57% мирового потребления

«черного золота», начнет уступать место электромобилям, которые полностью вытеснят машины с ДВС в течение последующих 30 лет. Ключом к развитию электротранспорта станет снижение стоимости силовой энергетической установки и аккумуляторных батарей, а также увеличение их емкости и как следствие увеличение дальности пробега без подзарядки [17].

Выводы

Таким образом, сельхозмашиностроение медленными, но уверенными шагами движется к эре электрических аграрных машин, которые будут постепенно проникать в сельское хозяйство и в будущем изменят его коренным образом.

Библиографический список

1. Назаров Г.И., Олейник Н.П., Фоменков А.П., Юровский И.М. Основы электропривода и применения электрической энергии в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1965. 392 с.
2. Рубцов П.А., Осетров П.А., Бондаренко С.П. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1971. 528 с.
3. Есин В.З. Ленин В.И. на электропахоте. Исторический архив. 1956. № 4. С. 173-175. URL: <http://leninism.su/memory/3553-vilenin-na-elektropaxote.html>
4. Электропахота. URL: <http://agrolib.ru/rasteniievodstvo/item/f00/s02/e0002343/index.shtml>
5. Применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве: Справочник / Под ред. акад. ВАСХНИЛ П.Н. Листова. Сост. А.М. Ганелин. М.: Колос, 1974. 624 с.
6. Стеценко В.Г. Электрификация мобильных процессов полеводства // Научные труды ВИЭСХ. 1967. Т. 20. С. 261-300.
7. Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 5 (Т – Я) / Ред. коллегия: П.П. Лобанов (глав. ред.) [и др.]. Издание третье, переработ. М.: Гос. изд-во сельскохозяйственной литературы, 1956. 663 с.
8. Захарин А.Г., Бахирев Н.Ф., Куц П.В. Однофазная схема питания мобильных сельскохозяйственных машин // Научные труды ВИЭСХ. 1960. Т. 5. С. 50-58.
9. Стребков Д.С., Авраменко С.В., Некрасов А.И. Исследование новых методов передачи электрической энергии: Сборник научных трудов ВИМ. М., 2000. Т. 134. Ч. 1. С. 41-59.
10. Экономические известия: ежедневная деловая газета. 09.12.2016. URL: http://news.eizvestia.com/news_technology/full/ (дата обращения 2.10.2017).
11. Укринформ: (сайт). URL: <http://www.ukrinform.ru/rubric-technology/1896750-htz-nachnet-seriynoe-proizvodstvo-elektrotraktoriv.html> (дата обращения 25.10.2017).
12. Электротрактор становится реальностью: блог. Ноябрь, 2011. URL: <http://magospace.ru/blog/econom/204504.html> (дата обращения 25.10.2017).

13. Интернет-магазин Gruzovik.ru: URL: http://www.gruzovik.ru/ru/magazine/tractor_news/elektro_traktor_30/default.aspx (дата обращения 25.10.2017).

14. Иванов С.А. Повышение эффективности тягово-транспортных средств при использовании накопителей энергии: Автореферат по спец. 05.20.01 – Технологии и средства механизации с.х. Дис. на соиск. уч. ст. д.т.н. М., 2013. 32 с.

15. Дидманидзе О.Н., Иванов С.А., Иволгин В.А. Трактор с комбинированной энергоустановкой // Сельский механизатор. 2008. № 11. С. 6-7.

16. Зорин К. Автономный или электрический трактор: сражение за будущее. URL: <http://www.agbz.ru/articles/avtonomnyi-ili-elektricheskiy-traktor-srajenie-za-budushee>

17. До заката нефтяной эры осталось всего пять лет. Газета «Экономические известия» URL: http://news.eizvestia.com/news_economy/full/1710-do-zakata-neftyanoj-ery-ostalos_vsego-pyat-let-smi

Статья поступила 27.10.2017

HISTORY OF DEVELOPMENT, CURRENT STATUS AND PROSPECTS OF APPLYING ELECTROMOBILE MACHINERY IN AGRICULTURE

VALDIMIR I. ZAGINAILOV, DSc (Eng), Professor

E-mail: energo-viz@mail.ru

SERGEY A. ANDREYEV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: asa-finance@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The paper reflects the main stages and directions of the development of electrified technical means for the implementation of mobile technological processes in agriculture. Electric power rope traction devices made as two- and single-engine models are recognized as pioneering developments in this area. These devices were vivid examples of the embodiment of the ideas of the founder of agricultural mechanics Vasily P. Goryachkin in the development of effective soil-cultivating machines powered by electric energy. The authors list the main advantages of electric plows, reveal their shortcomings, and make a conclusion on the possibility of their successful use in our days. The paper outlines the most successful designs of electric tractors, electric combines, as well as sets of agricultural machines and tools for shuttle soil cultivation, and lists some main disadvantages of electromobile units, namely, their low maneuverability, bulkiness, large metal capacity of the cable drum, as well as significant power losses in the supply cable. The authors make technical solutions enabling to exclude the use of a current-carrying cable including electric tractors that combine internal combustion engines with electric generators, tractors powered by batteries and tractors with combined power supply of traction motors. Combined power supply is achieved through flexible switching of chemical storage devices and high-power capacitors. The paper contains technical characteristics of the most common models of electric tractors. The authors draw a conclusion on the prospects of working out electrically-driven mobile agricultural machinery.

Key words: soil plowing, mobile agricultural machinery, electric plow, electric tractor, power supply, electric cable, battery, condenser

References

1. Nazarov G.I., Oleynik N.P., Fomenkov A.P., Yurovskiy I.M. Osnovy elektroprivoda i primeneniya elektricheskoy energii v sel'skom khozyaystve [Basics of electric drive and application of electrical energy in agriculture]. Moscow, Kolos, 1965. 392 p. (in Rus.)

2. Rubtsov P.A., Osetrov P.A., Bondarenko S.P. Primeneniye elektricheskoy energii v sel'skom khozyaystve [Application of electrical energy in agriculture]. Moscow, Kolos, 1971. 528 p. (in Rus.)

3. Yesin V.Z. Lenin V.I. na elektropakhote. Istoricheskii arkhiv [V.I. Lenin attending electric plowing.

Historical archive]. 1956. No. 4. Pp. 173-175. URL: <http://leninism.su/memory/3553-vilenin-na-elektropaxote.html> (in Rus.)

4. Elektropakhota [Electric plowing]. URL: <http://agrolib.ru/rasteniyevodstvo/item/f00/s02/e0002343/index.shtml> (in Rus.)

5. Primeneniye elektricheskoy energii v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: Spravochnik [Application of electric energy in agricultural production: Reference book]. Ed. by VASKHNIL Academician P.N. Listov. Compiled by A.M. Ganelin. Moscow, Kolos, 1974. 624 p. (in Rus.)

6. Stetsenko V.G. Elektrifikatsiya mobil'nykh protsessov polevodstva [Electrification of mobile field cul-

tivation processes]. *Nauchnyye trudy VIESKH*. 1967. Vol. 20. Pp. 261-300. (in Rus.)

7. Sel'skokhozyaystvennaya entsiklopediya [Agricultural encyclopedia]. Vol. 5 (T-YA) / Red. kollegiya: P.P. Lobanov (Editor-in-Chief) [and others]. 3rd ed., reviewed. Moscow, Gos. izd-vo sel'skokhozyaystvennoy literatury, 1956. 663 p. (in Rus.)

8. Zakharin A.G., Bakhirev N.F., Kuts P.V. Odnofaznaya skhema pitaniya mobil'nykh sel'skokhozyaystvennykh mashin [Single-phase powering pattern of mobile agricultural machines]. *Nauchnyye trudy VIESKH*. 1960. Vol. 5. Pp. 50-58. (in Rus.)

9. Strebkov D.S., Avramenko S.V., Nekrasov A.I. Issledovaniye novykh metodov peredachi elektricheskoy energii: Sbornik nauchnykh trudov VIM [Study of new methods of electric power transmission. Collection of VIM scientific papers]. Moscow, 2000. Vol. 134. Part. 1. Pp. 41-59. (in Rus.)

10. Ekonomicheskiye izvestiya: yezhednevnyaya delovaya gazeta. 09.12.2016 [Economic news: a daily business newspaper. 12.09.2016]. URL: http://news.eizvestia.com/news_technology/full/ (Accessed 2.10.2017). (in Rus.)

11. Ukrinform: cayt [Ukrinform: site]. URL: <http://www.ukrinform.ru/rubric-technology/1896750-htz-nachnet-seriynoe-proizvodstvo-elektrotraktoriv.html> (Accessed 25.10.2017). (in Rus.)

12. Elektrotraktor stanovitsya real'nost'yu [The electric tractor becomes a reality]. URL: [http://](http://magspace.ru/blog/econom/204504.html)

magspace.ru/blog/econom/204504.html (Accessed 25.10.2017). (in Rus.)

13. Internet-magazin Gruzovik.ru [Internet-shop Gruzovik.ru]. URL: http://www.gruzovik.ru/ru/magazine/tractor_news/elektro_traktor_30/default.aspx (in Rus.) (Accessed 25.10.2017). (in Rus.)

14. Ivanov S.A. Povysheniye effektivnosti tyagovo-transportnykh sredstv pri ispol'zovanii nakopiteley energii [Increasing efficiency of traction-transport means using energy storage batteries]: Self-review of PhD (Eng) thesis 05.20.01 – Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii [Technologies and mechanization means]. Moscow, 2013. 32 p. (in Rus.)

15. Didmanidze O.N., Ivanov S.A., Ivolgin V.A. Traktor s kombinirovannoy energoustanovkoy [Tractor with a hybrid power plant]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2008. No. 11. Pp. 6-7. (in Rus.)

16. Zorin K. Avtonomnyy ili elektricheskyy traktor: srazheniye za budushcheye [Autonomous or electric tractor: a battle for the future]. URL: <http://www.agbz.ru/articles/avtonomnyiy-ili-elektricheskyy-traktor-srazhenie-za-budushee> (in Rus.)

17. Do zakata neftyanoj ery ostalos' vsego pyat' let [There remain only five years before the decline of the oil era]. *Ekonomicheskiye izvestiya*. URL: http://news.eizvestia.com/news_economy/full/1710-do-zakata-neftyanoj-ery-ostalos-vsego-pyat-let-smi (in Rus.)

The paper was received on October 27, 2017