



МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 629.366

П.А. АМЕЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор
начальник отдела тракторов и сельскохозяйственных машин¹

С.Н. ПОДДУБКО, канд. техн. наук, доцент
генеральный директор¹
E-mail: p-s-n@tut.by

И.Н. ЖУКОВСКИЙ
научный сотрудник отдела тракторов и сельхозмашин¹

Г.И. ГУЛЬКОВ, канд. техн. наук, доцент
заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок
и технологических комплексов»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

А.В. ВАЩУЛА, канд. техн. наук
директор
Белорусская машиноиспытательная станция, г. Минск, Республика Беларусь

А.В. КЛЮЧНИКОВ
заместитель главного конструктора²

А.И. ЖУКОВСКИЙ
Начальник бюро УКЭР-1²

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

²ОАО «МТЗ», г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 08.09.2015.

О КОНЦЕПЦИИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

В статье, опираясь на анализ опубликованных работ по тяговому электроприводу, предложена концепция развития тягового электропривода сельскохозяйственного трактора на краткосрочную и длительную перспективу. Необходимость внедрения тягового электропривода на сельскохозяйственных тракторах в последнее время обсуждается в отечественных и зарубежных научно-технических изданиях. Однако его внедрение сдерживается многими факторами, среди которых отсутствие четких теоретических и конструктивных решений по его использованию на тракторах. Отмечены основные качества трактора — бесступенчатое регулирование скорости движения и тягового усилия на ведущих колесах трактора. Кроме названных, к электротрактору относятся другие качества, существенно повышающие их эффективность: снижение удельного расхода топлива, приспособляемость к современному комплексному автоматическому управлению трактора и машинно-тракторного агрегата, в приводах активных рабочих органов сельскохозяйственных машин, особенно в условиях точного земледелия.

Ключевые слова: тяговый электропривод, машинно-тракторный агрегат, асинхронный мотор-генератор, электромеханическая трансмиссия, двигатель внутреннего сгорания, блок силовой электроники

Необходимость внедрения тягового электропривода (ТЭП) на сельскохозяйственных тракторах неоднократно обсуждалась в отечественных и зарубежных научно-технических изданиях. Однако внедрение его сдерживается многими факторами, среди которых отсутствие четких теоретических и конструктивных решений по его использованию на тракторах. Первым шагом в теории ТЭП на тракторе может стать разработка его концепции, которая особенно необходима на ранних стадиях создания принципиально новых типов тракторов и самоходных сельхозмашин.

Концепция в общенаучном (философском) смысле — это теоретический способ понимания предметов, процессов и явлений. Применительно к созданию новой техники авторы понимают концепцию как теоретически возможное из идеального. Из этого следует, что для разработки концепции ТЭП трактора необходимо создать теоретический образ его идеального тягового привода (ИТП) и определить, как теоретическими средствами современного электропривода можно максимально приблизиться к параметрам ИТП.

Основные качества ИТП трактора — бесступенчатое регулирование скорости движения и тягового усилия на ведущих колесах трактора на всем его рабочем тягово-скоростном диапазоне и возможность обеспечения на двигателях трактора в этом же диапазоне режима постоянной мощности N_{kconst} , равной с учетом КПД механической части привода ведущих мостов η_{3M} , номинальной мощности тракторного двигателя

$$N_{kconst} = N_H \cdot \eta_{3M}. \quad (1)$$

Кроме названных качеств к ИТП следует отнести и другие качества, существенно повышающие эффективность сельскохозяйственного трактора:

- максимально возможное снижение удельного расхода топлива и вредных выбросов отработанных газов (ОГ);

- гашение крутильных колебаний в силовых звеньях трансмиссии, вызываемых как рабочим процессом ДВС, так и переменным сопротивлением почвы на рабочих органах сельхозмашин, а также снижение за счет этого буксования движителей, повышение надежности и ресурса силовых передач и трактора в целом;
- обеспечение активного поворота трактора;
- обеспечение разгона МТА в пределах допустимых значений поступательного ускорения $a_{доп}$;
- приспособляемость к современному комплексному автоматическому управлению трактора и МТА, в том числе и в условиях точного земледелия;
- низкие стоимости производства тягового привода и его эксплуатационных затрат;
- оптимальное соотношение электротехнических и механических передач и устройств в структуре тягового привода и компоновке трактора.

Основную тягово-скоростную функцию ИТП можно выразить идеальной внешней скоростной

характеристикой трактора, представляющей собой зависимости тяговой мощности $N_{k(v)}$ и касательной силы тяги $P_{k(v)}$ на ведущих колесах от теоретической скорости движения V (рисунок 1).

Эта характеристика строится при допущении, что мощность тракторного двигателя N_H реализуется постоянной по величине (как у двигателя постоянной мощности) на всем тягово-скоростном рабочем диапазоне от минимальной V_{min} до максимальной V_{max} теоретических скоростей и подается к ведущим колесам через задний мост без использования дополнительного ступенчатого регулирования.

Характеристика строилась по следующим математическим зависимостям:

На участке теоретических скоростей $V = 0 \dots V_{min}$ (участок постоянной тяги

$$P_{kconst} = \frac{3,6 \cdot N_H \cdot \eta_{3M}}{V_{min}}; \quad (2)$$

$$N_k = \frac{P_{kconst} \cdot V}{3,6}, \quad (3)$$

на участке теоретических скоростей $V = V_{min} \dots V_{max}$ (участок постоянной мощности) N_k по выражению (1)

$$P_k = \frac{3,6 \cdot N_{kconst}}{V}, \quad (4)$$

где V_{min} и V_{max} — заданные минимальные и максимальные теоретические скорости движения трактора; 3,6 — коэффициент перевода скорости движения из м/с в км/ч.

Возможности ИТП ($N_k(v)$ и $P_k(v)$) ограничиваются сцепными свойствами ведущих колес. Так на стерне при максимальном коэффициенте сцепления $\phi_{max} = 0,7$ и эксплуатационной массе m_3 трактор может реализовать мощность N_{kconst} и максимальную касательную силу тяги

$$P_{kmax} = m_3 \cdot g \cdot \phi_{max} \quad (5)$$

на минимальной реализуемой теоретической скорости движения

$$V_{pmin} = \frac{3,6 \cdot N_{kconst}}{P_{kmax}}. \quad (6)$$

На рисунке 1 теоретически возможная реализация скоростной характеристики трактора с ИТП отражена сплошной, а характеристика без учета сцепных свойств штриховой линиями. За исходные данные для расчета внешней скоростной характеристики трактора с ИТП приняты эксплуатационные свойства опытного трактора с электромеханической трансмиссией «Беларус-3023» (таблица 1) [1].

Из всех известных в настоящее время тракторных тяговых приводов наиболее близок к идеальному современный полнопоточный асинхронный ТЭП переменного тока с частотным регулированием. Минимальная структура такого привода содер-

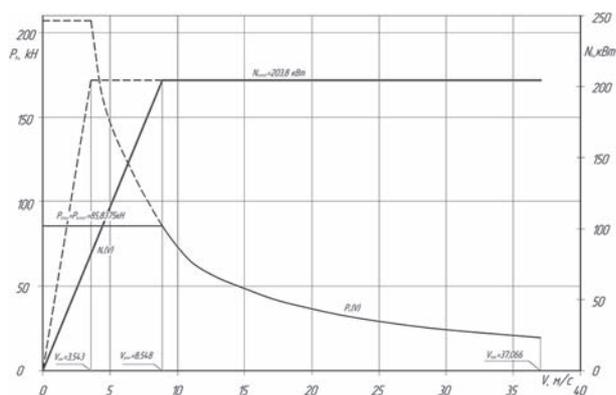


Рисунок 1 – Скоростная характеристика идеального тягового привода трактора P_k и $N_k(V)$ на стерне

жит асинхронный мотор-генератор (АМГ), тяговый асинхронный двигатель (ТАД), блок силовой электроники (БСЭ) с векторным управлением ТАД, контроллер верхнего уровня (КВУ) и автономная станция электроснабжения (АСЭ) [1]. Асинхронный ТЭП по сравнению со своим предшественником ТЭП постоянного тока обладает рядом преимуществ по стоимости, материалоемкости (особенно по цветным металлам), сложности и надежности [2].

Механическая характеристика его ТАД качественно соответствует скоростной характеристике трактора с ИТП и отличается от нее более низким скоростным диапазоном участка постоянной мощности. Для реализации скоростной характеристики ИТП трактору с асинхронным ТЭП потребуются в механической части трансмиссии не менее трех механических ступеней (рисунок 2). В трансмиссии упомянутого трактора «Беларус-3023» четыре ступени (см. рисунок 2).

Из новых типов ТЭП асинхронный ТЭП наиболее подготовлен к серийному производству, хотя и не лишен некоторых недостатков. Кроме упомянутого низкого (в разы) диапазона постоянной мощности, относительно низкие КПД его электромашин и перегрузочная способность его ТАД. Так, у трактора «Беларус-3023» КПД МГ и ТАД

$$\eta_{\text{МГ}} = \eta_{\text{ТАД}} = 0,93, \quad (7)$$

а в целом для АТЭП КПД $\eta_{\text{АТЭП}} = 0,8649$. Это в свою очередь вызывает перегрев электромашин и БСЭ и требует значительного (до 20 кВт) отбора мощности на их принудительное охлаждение [1]. Необходимость ступенчатого регулирования в механической части трансмиссии снижает ее КПД как минимум еще на 2–4 %.

По указанным причинам у трактора «Беларус-3023» из 220 кВт номинальной мощности двигателя на ТАД приходит 183 кВт или 83,1 %, а до ведущих колес доходит только $N_k = 162,8$ кВт или 74 %. По сравнению с характеристикой ИТП на ведущих колесах трактора не добирается 41 кВт мощности. Сравнение скоростных характеристик тракторов с ИТП и «Беларус-3023» можно оценить по рисункам 1 и 2 [3].

Более прогрессивные параметры имеют тяговые вентильные индукторные двигатели независимого возбуждения (ВИД НВ). По сравнению с ТАД они имеют значительно (в разы) больший диапазон постоянной мощности, выше КПД, на 30 % лучше массогабаритные показатели, ниже пульсация крутящего момента, ниже стоимость изготовления и эксплуатации, выше перегрузочная способность [4]. В таблице 2 приведено сравнение

Таблица 1 – Эксплуатационные свойства трактора «Беларус-3023»

Свойства, обозначения, размерность	Численные значения
Эксплуатационная масса m_s , t мощность двигателя на номинал. режиме N_H , кВт	12,5 220,0
Радиус качения задних вед. колес R_k , м	0,908
Макс. коэф. сцепления вед. колес ϕ_{max} : на стерне/бетоне	0,7/0,8
ПД заднего моста, $\eta_{\text{ЗМ}}$	0,9264
Макс. касательная сила тяги по сцеплению вед. колес $P_{k\text{max}} = P_{k\text{const}}$, кН: на стерне/бетоне	85,838/98,1
Максимальная теоретическая скорость движения трактора V_{max} , км/ч	37,066
Минимальная теоретическая скорость на 1-й ступени редуктора V_{1min} , км/ч	3,543
Минимальная теоретическая скорость при реализации номинальной мощности по сцеплению V_{pmin} , км/ч: на стерне/бетоне	8,548/7,479
Теоретический диапазон скоростного регулирования D_v	10,46
Тягово-скоростной диапазон регулирования тягового электродвигателя	2,48
Количество ступеней согласующего редуктора	4

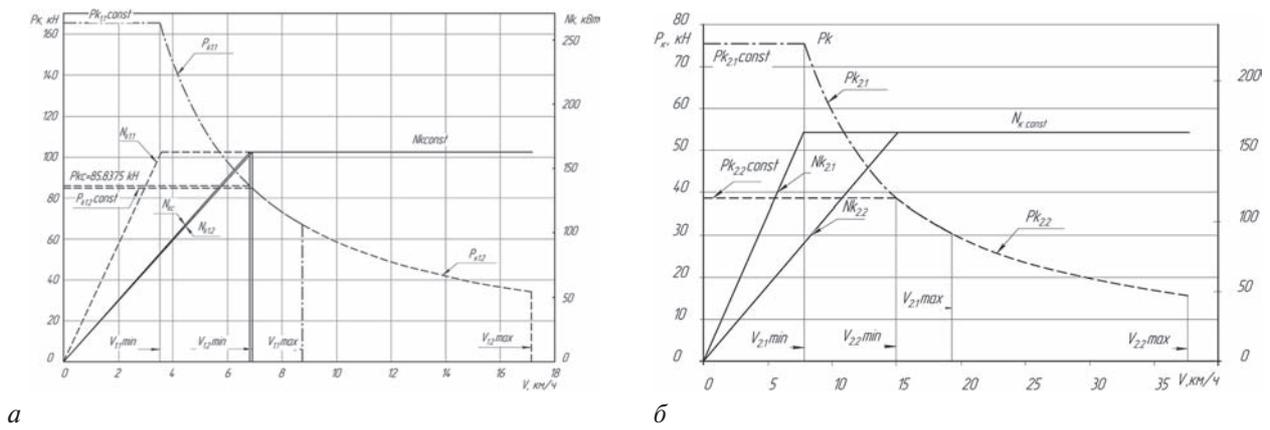


Рисунок 2 — Скоростная характеристика трактора «Беларус-3023» на режиме «поле» (а) и на режиме «дорога» (б)

характеристик ВИД НВ трактора ДЭТ-20 [5], шасси «Крымск» [4] с характеристиками ТАД трактора «Беларус-3023» [1].

ВИД НВ шасси «Крымск» во время разгона потребляет не только мощность своего мотор-генератора (265–270 кВт), но и дополнительно 65–70 кВт мощности молекулярного накопителя, что соответствует перегрузке его двигателей в 1,25 раза, против 1,1 раза в ТАД [6].

Как недостаток у ВИД НВ отмечается сложность сборки, опасность замыкания магнитного потока возбуждения по подшипниковым щитам в обход магнитопровода статора и проблемы с отводом тепла от обмотки возбуждения. Эти недостатки конструктивно устранимы по мере доводки. В целом ВИД НВ воспринимается в электротехнической литературе как электродвигатель 21 века и

как наиболее перспективный для тяговых приводов тягово-транспортных машин [4].

Основной тип систем управления ТЭП как асинхронного, так и индукторного является векторное управление с ПИ-регулятором [4, 6].

Что касается АСЭ, то ее применение заимствовали из первого дизель-электрического трактора ДЭТ – 250 ЧТЗ, разработанного в 60-е годы прошлого века для новостроек Сибири и Дальнего Востока. В современном агрокомплексе Беларуси все стационарные сельскохозяйственные технологии электрифицированы от государственной электросети и не нуждаются в мобильном электроснабжении. Установка АСЭ на электроприводные тракторы может обеспечиваться только по заказу потребителя.

Определенную проблему для ТЭП составляют бортовые источники электроэнергии. На большин-

Таблица 2 — Параметры ВИД НВ

Параметр, обозначение, размерность	Тип и марка тягового средства		
	Трактор ДЭТ-20	Шасси «Крымск»	Трактор «Беларус-3023»
Номинальная мощность, кВт	110	35	183
Номинальное напряжение, В	600	—	850
Действующее значение тока, А	138	—	300
Номинальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	650	650	1450
Номинальный момент, НМ	1616	514,2	1205,0
Максимальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	4000	7200	3600
Крутящий момент при макс. частоте вращ. ротора, НМ	262	45,45	485,4
Диапазон скоростного регулирования Д	6,154	11,08	2,48
КПД мотор-генератора/тягового двигателя, $\eta_{МГ}/\eta_{ТД}$ %	0,942 0,952	—	0,93
Количество эл. двигателей на одной машине	2	8	1
ПД тягового электропривода применительно к трактору «Беларус-3023»	0,8968	—	0,8649

стве электроприводных мобильных машин они представляют собой комбинированные энергетические установки (КЭУ), содержащие ДВС, МГ и бортовой накопитель электроэнергии (БНЭ) [4, 5].

Современные тракторные ДВС на минеральном топливе завершают свой жизненный цикл. Дальнейшее их неограниченное использование опасно серьезными экологическими и социальными проблемами. Совершенствование ДВС идет по следующим направлениям: выбор альтернативного топлива (биотопливо, газовое, водородное) и совершенствование рабочих процессов. Что касается КЭУ в целом, то на среднесрочную перспективу (5–10 лет) их совершенствования может стать замена традиционных ДВС — электрогенераторов на свободно — поршневые двигатели — генераторы (СПДГ), отличающиеся от традиционных КЭУ целым рядом преимуществ [7]. При этом не исключен их переход на альтернативные виды топлива и дальнейшее совершенствование рабочих процессов.

В долгосрочной перспективе (10–20 лет) ожидается удаление ДВС с трактора и замена его электрохимическим генератором (ЭХГ), первый образец такого трактора New Holland NH² уже испытывается [8, 9]. В электротехнике обсуждаются вопросы передачи электроэнергии резонансными методами по одному проводнику, которым может быть почва [10, 11].

Огромным прорывом для бортовых потребителей электроэнергии может стать в отдаленной перспективе использование электроэнергии, накапливаемой в околоземном пространстве, которую пытался использовать Никола Тесла еще 100 лет назад [12].

Несмотря на отмечаемые проблемы и недостатки, основные преимущества ТЭП на тракторе проявляются в том, что дизельный двигатель исключается из тягового-скоростного регулирования и переводится на стационарный скоростной режим в зоне минимального расхода топлива и минимальных вредных выбросов ОГ и используется только как приводной двигатель МГ и не оказывает влияние на качественные характеристики касательной силы тяги P_k [3]. При этом электропривод обеспечивает максимальную загрузку дизеля (до 100 %) при минимальном расходе топлива, предохраняет дизель от перегрузок и заглохания и выступает как демпфер для гашения колебаний крутящего момента ДВС и тягового сопротивления сельхозмашин, снижает динамическую нагруженность всех силовых передач и повышает их надежность.

Следует учесть, что применение на сельскохозяйственных тракторах полнопоточных ТЭП предоставляет широкие возможности для использования электропривода в управлении трактором и МТА (рулевое управление, механизмы навесок), в приводах активных рабочих органов сельхозмашин, в комплексной автоматизации МТА, в переводе земледелия на электроприводные автоматизированные технологии, в том числе и технологии точного земледелия.

Обращается внимание, что асинхронный и индукторный электроприводы по сравнению с другими типами электропривода имеют наименьшую стоимость изготовления, минимальные затраты в эксплуатации и обладают наибольшей долговечностью.

Для обеспечения активного поворота трактора необходимо использовать отдельный электропривод движителей правого и левого бортов. Это уже сейчас может обеспечиваться моторно-колесной [13] и моторно-осевой схемами [4], а также моторно-бортовой схемой на гусеничных тракторах [5, 14]. Последнее можно реализовать и на колесных тракторах. При этом из механической части трансмиссии дополнительно исключаются межколесные и межосевые дифференциалы, а их функции выполняют «электронные дифференциалы» в системе управления тяговыми двигателями бортов, которые при повороте тяговой машины управляют электроприводами колес (гусениц) по заложенным в управлении поворотам алгоритмам, в том числе и движением бортов в разных направлениях. Последнее позволяет осуществить разворот трактора вокруг центра масс (шасси «Крымск» [4]). Подробнее моделирование «электронного дифференциала» приведено в работе [15].

Особенности разгона МТА на электротяге рассмотрены авторами в работе [16]. Для обеспечения разгона МТА в соответствии с рекомендациями [16] в структуре ТЭП необходимо предусматривать БНЭ [17, 18]. Его энергоемкость должна быть эквивалентна энергоемкости механического накопителя энергии трактора с механической трансмиссией того же тягового класса и того же уровня мощности.

Трактор с механической трансмиссией при разгоне или при его перегрузке на гоне может дополнительно к энергии своего двигателя использовать накопленную кинетическую энергию вращающихся масс дизеля, его маховика и деталей, кинематически соединенных с валом дизеля. Максимальное значение этой энергии

$$E_{\partial} = \frac{I_{\partial} \cdot (\omega_{xx}^2 - \omega_{\min}^2)}{2}, \quad (8)$$

где I_{∂} — суммарный момент инерции вращающихся масс двигателя, его маховика и деталей трансмиссии, кинематически соединенных с валом двигателя и приведенных к нему; ω_{xx} и ω_{\min} — частоты вращения вала двигателя: максимальная на холостом ходу и минимальная (при максимальном крутящем моменте двигателя M_{\max}) в с⁻¹.

Для трактора с механической трансмиссией тягового класса 5 (Беларус-3022): $I_{\partial} = 6,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $\omega_{xx} = 246,1 \text{ с}^{-1}$ (2350 мин⁻¹), $\omega_{\min} = 151,8 \text{ с}^{-1}$ (1450 мин⁻¹), и $E_{\partial} = 117 \text{ кДж}$ (0,0325 кВт·ч). При буксовании муфты сцепления в течении одной секунды при разгоне этот трактор дополнительно может получить кинетическую энергию, величиной 0,53 N_{H} , т. е. 53 % от номинальной мощности его двигателя, одновременно увеличивая момент двигателя на величину запаса (30...40 %).

Соотношение электромеханических и механических передач и устройств в структуре ТЭП выбирается так, чтобы бесступенчатое регулирование скорости и крутящего момента обеспечивалось только электроприводом, а их передача (без регулирования) оставалась за механическим приводом. При условии, когда диапазон регулирования тягового двигателя ниже диапазона регулирования трактора, вводится в механический привод ступенчатое регулирование, выбор параметров которого изложен в работе [19].

Компоновка ТЭП на тракторе в настоящее время разрешается модернизацией базовых моделей трактора с механическими трансмиссиями, заменой механических устройств троганья с места и ступенчатого регулирования скоростью (муфты сцепления, коробки передач) на бесступенчатые электромеханические. Остальные механические передачи и устройства (ведущие мосты, ходовые системы, системы курсового управления, приводы отборов мощности и др.) остаются без изменений. Это позволяет быстрее создать электроприводной трактор, но не позволяет реализовать все возможности электропривода. Для достижения максимального эффекта от электропривода на тракторе целесообразно отказаться от локальной модернизации трактора и перейти к разработке основ теории и конструкции базовых моделей электроприводных тракторов, изначально закладывая им прогрессивные эксплуатационные свойства как с учетом новых сельскохозяйственных технологий, так и с учетом экономической, экологической и социальной эффективности.

Выполненный теоретический анализ применения ТЭП на сельскохозяйственных тракторах позволяет сформировать концепцию ТЭП на перспективу разной глубины.

На ближайшую перспективу (3–5 лет) для колесного трактора рекомендуется асинхронный ТЭП моторно-мостовой схемы в составе дизель асинхронный МГ, ТАД, БНЭ, БСЭ с векторным управлением, КВУ и электрический отбор мощности, встроенными в существующую компоновку базового трактора этого же тягового класса с механической трансмиссией. Из структуры силовых передач трактора исключаются все механические отборы мощности на приводы сельхозмашин. Внедрение такого трактора позволит отработать принципиальные вопросы управления электроприводными тракторами и адаптировать их к современным сельскохозяйственным технологиям, в том числе и технологиям точного земледелия. Для гусеничного трактора рекомендуется аналогичный асинхронный ТЭП моторно-бортовой схемы.

На среднесрочную перспективу (5–10 лет) необходимо осуществить переход с дизель-генераторных силовых установок вращательного действия на СПДГ на альтернативных экологически чистых видах топлива, перейти на вентильный индукторный ТЭП с широким диапазоном постоянной мощности тяговых

двигателей, с минимальным механическим приводом и с электроприводом силовых агрегатов управления (рулевое управление, управление навесными механизмами), на электропривод всех видов отборов мощности, полностью исключая гидропривод. По компоновке ТЭП должен выполняться по моторно-колесной или моторно-бортовой схемам, обеспечивающим активный поворот трактора. Для достижения этой цели необходимо приступить к разработке концепции нового электроприводного трактора и электроприводного МТА, изначально ориентируясь не на модернизацию, пусть и глубокую, существующих традиционных тракторов, а на разработку базовой конструкции принципиально нового электроприводного трактора с электроприводом всех его силовых агрегатов и активных рабочих органов сельхозмашин, с минимизацией механических приводов и исключением гидроприводов.

На долгосрочную перспективу (10–20 лет и выше), по мере доводки электрохимических генераторов и резонансных методов передачи электроэнергии бесконтактными методами перейти на электрохимические генераторы (ЭХГ) и резонансные методы электрообеспечения мобильной техники.

Список литературы

- 1 Трактор с электромеханической трансмиссией / С.Н. Флоренев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. — 2010. — № 7.
- 2 Электромеханические трансмиссии гусеничных тракторов: Теория и расчет / П.П. Исаков [и др.]. — Л.: Машиностроение, 1981.
- 3 Электрическая тяга и электроотбор мощности с.-х. трактора / П.А. Амельченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. — 2014. — № 9.
- 4 Электротрансмиссия на базе вентильно-индукторного двигателя с независимым возбуждением / В.Ф. Козаченко [и др.] // Электротехника. — 2014. — № 2.
- 5 Инновационные решения группы компаний «Приводная техника» / С.А. Чупин [и др.] // Электротехника. — 2014. — № 10.
- 6 Изосимов, Д. Проектирование асинхронных тяговых электродвигателей и синтез векторного управления тяговыми приводами / Д. Изосимов, Н. Гнездов, С. Журавлев // Электронные компоненты. — 2010. — № 11.
- 7 Пинский, Ф.И. Электроустановки со свободнопоршневыми двигатель-генераторами / Ф.И. Пинский // Мобильная техника. — 2004. — № 2.
- 8 Трактор New Holland NH². Взгляд в будущее // Современная сельхозтехника и оборудование. — 2009. — Вып. 3.
- 9 Чехута, В. Тракторы на водороде, комбайны-интеллектуалы и прочая сельскохозяйственная рать будущего / Владимир Чехута // Спецтехника. — 2009. — № 5.
- 10 Стребков, Д.С. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии / Д.С. Стребков, А.И. Некрасов. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008.
- 11 Стребков, Д.С. Никола Тесла и современные проблемы электроэнергетики / Д.С. Стребков // Приводная техника. — 2007. — № 1.
- 12 Соболевский, А. Воздух вместо нефти / Арсений Соболевский // Аргументы и факты. — 2013. — № 30.
- 13 Электромеханическая трансмиссия транспортного средства: описание изобретения к пат. ВУ 15699 С120 / Усс И.Н. [и др.]. — 12.04.30.
- 14 Кулаков, А.Т. Разработка алтайского трактора в варианте с электромеханической трансмиссией / А.Т. Кулаков, А.А. Макушин // Тракторы и сельхозмашины. — 2013. — № 2.
- 15 Математическая модель системы приводных асинхронных двигателей ведущих колес транспортного средства / В.Я. Геча [и др.] // Электричество. — 2012. — № 5.
- 16 Закономерности разгона МТА на электрической тяге / П.А. Амельченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. — 2015. — № 8.

- 17 Гибридный накопитель энергии для транспорта / М.Г. Колотов [и др.] // Электричество. — 2011. — № 10.
- 18 Елисеев, А. Суперконденсаторы NESSCAP повышают энергоэффективность приводов / Алексей Елисеев, Сергей Фурсов // Электронные компоненты. — 2015. — № 2.
- 19 Выбор типа и параметров современной тракторной трансмиссии / П.А. Амельченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. — 2013. — № 8.

AMELCHENKO Petr A., Dr. Techn. Sc., Professor

Head of the Department of Tractors and Agricultural Machinery¹

PODDUBKO Sergey N., Cand. Techn. Sc., Associate Professor

General Director¹

E-mail: p-s-n@tut.by

ZHUKOVSKIY Iosif N.

Researcher of the Department of Tractors and Agricultural Machinery¹

GULKOV Genadiy I., Cand. Techn. Sc., Associate Professor

Head of the Department “Electric Drive and Automation of Industrial Installations and Technological Complexes”
Belarusian National Technical University, Minsk, The Republic of Belarus

VASCHULA Aleksandr V., Cand. Techn. Sc.

Director

Belarusian Machine-Test Station, Minsk, The Republic of Belarus

KLUCHNIKOV Aleksey V.

Deputy Chief Designer²

ZHUKOVSKIY Andrey I.

Head of the Office UKER-1²

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, The Republic of Belarus

²OAO “MTP”, Minsk, The Republic of Belarus

Received 08 September 2015.

THE CONCEPT OF A FARM TRACTOR TRACTION ELECTRIC DRIVE

The article suggests a development concept of a farm tractor traction drive on a short-term and long-term, based on the published works analysis of the traction drive. The necessity of electric traction drive introduction for agricultural tractors recently is discussed in domestic and foreign scientific and technical journals. However, its implementation is constrained by many factors, including the lack of clear theoretical and constructive decisions on its use on tractors. The basic qualities of a tractor are noticed-stepless adjustment of speed and power on drive wheels of a tractor. In addition an electric tractor has other qualities, which greatly increase their effectiveness: reduction in specific fuel consumption, adaptability to modern integrated automated management of a tractor and tractor units, in drives of active workers of agricultural machinery especially during precision farming.

Keywords: *electric traction drive, tractor unit, asynchronous motor-generator, electromechanical transmission, combustion engine, assembly of power electronics*

References

1. Florenev S.N. [et al.]. Traktor s jelectromehaničeskoj transmissiej [Tractor with electromechanical transmission]. *Traktory i sel'hozmashiny* [Tractors and farm machinery], 2010, no. 7.
2. Isakov P.P. [et al.]. *Jelectromehaničeskie transmissii gusenichnyh traktorov: Teorija i rasčet* [Electromechanical transmissions of crawler tractors: Theory and evaluation]. L., Mashinostroenie, Leningradskoe otdelenie, 1981.
3. Amelchenko P.A. [et al.]. Jelectričeskaja tjaga i jelectrootbor moshhnosti c.-h. traktora [Electric traction and power traction of an agricultural tractor]. *Traktory i sel'hozmashiny* [Tractors and farm machinery], 2014, no. 9.
4. Kozachenko V.F. [et al.]. Jelectrotransmissija na baze ventil'no-induktornogo dvigatelja s nezavisimym vozbužhdeniem [Electric transmission based on valve-inductor motor with independent excitation]. *Jelectrotehnika* [Electrical engineering], 2014, no. 2.
5. Chupin S.A. [et al.]. Innovacionnye reshenija grupy kompanij “Privodnaja tehnika” [Innovative solutions of companies' group “Drive technology”]. *Jelectrotehnika* [Electrical engineering], 2014, no. 10.
6. Izosimov D., Gnezdov N., Zhuravlev S. Proektirovanie asinhronnyh tjagovyh jelektrodvigatel'ej i sintez vektornogo upravlenija tjagovymi privodami [Designing of asynchronous traction motors and synthesis of vector control of traction drives]. *Jelectronnye komponenty* [Electronic components], 2010, no. 11.
7. Pinskiy F.I. Jelectroustanovki so svobodnoporshnevymi dvigatel'-generatorami [Electric installation with a free-piston engine-generators]. *Mobil'naja tehnika* [Mobile equipment], 2004, no. 2.
8. Traktor New Holland NH². Vzgljad v budushhee [Tractor New Holland NH². Look into the future]. *Sovremennaja sel'hoztehnika*

- i oborudovanie* [Modern agricultural equipment and machinery], 2009, no. 3.
9. Chehuta V. Traktory na vodorode, kombajny-intellektualy i prochaja sel'skohozjajstvennaja rat' budushhego [Hydrogen tractors, combines-intellektuals and other future agricultural techniques]. *Spektehnika* [Special equipment], 2009, no. 5.
 10. Strebkov D.S., Nekrasov A.I. *Rezonansnye metody peredachi i primenenija jelektricheskoy jenergii* [Resonance methods of transfer and use of electrical energy]. Moscow, GNU VIJeSH, 2008.
 11. Strebkov D.S. Nikola Tesla i sovremennye problemy jelektrojenergetiki [Nikola Tesla and modern problems of power industry]. *Privodnaja tehnika* [Drive technology], 2007, no. 1.
 12. Sobolevskiy A. Vozduh vmesto nefti [Air instead of oil]. *Argumenty i fakty* [Arguments and facts], 2013, no. 30.
 13. Uss I.N. [et al.]. *Jelektromehaničeskaja transmissija transportnogo sredstva* [Electromechanical transmission of a vehicle]. Patent RB, no. 15699 C120.
 14. Kulakov A.T., Makushin A.A. Razrabotka altajskogo traktora v variante s jelektromehaničeskoy transmissiej [Development of Altai tractor in version with electromechanical transmission]. *Traktory i sel'hozmashiny* [Tractors and farm machinery], 2013, no. 2.
 15. Gecha V.Ja. [et al.]. Matematicheskaja model' sistemy privodnyh asinhronnyh dvigatelej vedushhih koles transportnogo sredstva [Mathematical model of system of drive asynchronous motors of driving wheels of a vehicle]. *Jelektrichestvo* [Electricity], 2012, no. 5.
 16. Amelchenko P.A. [et al.]. Zakonomernosti razgona MTA na jelektricheskoy tjaže [Laws of MTA acceleration on electricity]. *Traktory i sel'hozmashiny* [Tractors and farm machinery], 2015, no. 8.
 17. Kolobov M.G. [et al.]. Gibridnyj nakopitel' jenergii dlja transporta [Hybrid energy storage for vehicles]. *Jelektrichestvo* [Electricity], 2011, no. 10.
 18. Eliseev A., Fursov S. Superkondensatory NESSCAP povyshajut jenergojeffektivnost' privodov [Supercapacitors NESSCAP increase energy efficiency of drives]. *Jelektronnye komponenty* [Electronic components], 2015, no. 2.
 19. Amelchenko P.A. [et al.]. Vybor tipa i parametrov sovremennoj traktornoj transmissii [Select type and parameters of modern tractor transmission]. *Traktory i sel'hozmashiny* [Tractors and farm machinery], 2013, no. 8.