Тип статьи: научная
УДК 631.372/621.355.9
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-36-45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ГЕЛЕВОГО ТИПА

Отари Назирович Дидманидзе [1]***, Роман Сергеевич Федоткин*** [2]***,***
Виталий Алексеевич Крючков [3]***, Татьяна Валерьевна Меркелова*** [4]
[1,2,3,4] *Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия*
[1] didmanidze@rgau-msha.ru, [2] fedotkin@rgau-msha.ru
[3] v.kryuchkov@rgau-msha.ru, [4] tanyamerkelova@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Отари Назирович Дидманидзе, didmanidze@rgau-msha.ru
Corresponding author: Otari Didmanidze, didmanidze@rgau-msha.ru

Реферат. *Представлены результаты экспериментальной оценки функциональных характеристик тяговых аккумуляторных батарей гелевого типа (АгБт) для малогабаритных транспортно-технологических средств (ТТС), в зависимости от различных режимов нагрузки и температурных условий. Экспериментальная оценка времени автономной работы АгБт в эксплуатации и их разрядных характеристик типа при различных температурах хранения и работы. Оценка изменения уровня напряжения образца АгБт типа RuTrike 6-EVF-32 при комнатной температуре и в морозильной камере (от -7,8 до -20,2 ^{0}С) при подключенной электрической нагрузке и в режиме хранения проводилась на первом этапе. Колебание температуры задавалось случайным образом для имитации реальных условий эксплуатации ТТС в холодное время года. На втором этапе испытаний проводилась оценка времени непрерывной работы комплекта из пяти АкБг в составе малогабаритного ТТС – трицикла D4 1800. Испытания проводились в ранневесенний период на территории ФНАЦ ВИМ. Оба АкБг разрядились всего на 0,05 В за четверо суток исследований характеристик саморазряда при различных температурах. После снятия нагрузки АкБг регенерируются до напряжения 12 В (50 %-й заряд). Холодный АкБ разряжается быстрее на 2-3 часа, но при снятии нагрузки быстрее регенерируется. Трицикл может проехать 22,21 км при скорости 13,3 км/ч на одном заряде АкБг. Падение напряжения на аккумуляторах имеет практически линейную зависимость от пройденного расстояния и времени испытаний Своевременная зарядка АкБг, а также обеспечение конструкторско-технологических мер по утеплению блока АкБг рекомендуется при эксплуатации в холодное время года. Испытания с циклами движения и остановки для оценки влияния способности АкБг к самовосстановлению на увеличение продолжительности движения требуется продолжить, как и проведение тестов на длительность восстановления после включения/снятия нагрузки в зависимости от величины остаточного напряжениях хранения сельскохозяйственной продукции даст возможность быстрой выгрузки продукции.*

Ключевые слова: *тяговые аккумуляторные батареи гелевого типа, автоматизированный электропривод, малогабаритное транспортно-технологическое средство, экспериментальные исследования, функциональные характеристики, саморазряд, разрядные характеристики, режим нагрузки, температурные условия.*

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF GEL-TYPE TRACTION BATTERIES

Otari Didmanidze [1]***, Roman Fedotkin*** [2]***, Vitaliy Kryuchkov*** [3]***, Tatyana Merkelova*** [4]
[1,2,3,4] *Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*
[1] didmanidze@rgau-msha.ru, [2] fedotkin@rgau-msha.ru,

[3] v.kryuchkov@rgau-msha.ru, [4] tanyamerkelova@yandex.ru

Abstract. *The results of an experimental assessment of the functional characteristics of gel-type traction batteries (AGBT) for small-sized transport and technological vehicles (TVT), depending on various load modes and temperature conditions, are presented. Experimental assessment of the battery life of AGBT in operation and their discharge type characteristics at various storage and operating temperatures. An assessment of changes in the voltage level of an AgBT sample of type RuTrike 6-EVF-32 at room temperature and in a freezer (from -7.8 to -20.2 °C) with a connected electrical load and in storage mode was carried out at the first stage. Temperature fluctuations were set randomly to simulate real operating conditions of the TTS in the cold season. At the second stage of testing, the continuous operation time of a set of five battery packs as part of a small-sized vehicle, the D4 1800 tricycle, was assessed. The tests were carried out in the early spring on the territory of the Federal National Research Center VIM. Both batteries were discharged by only 0.05 V during four days of studying self-discharge characteristics at different temperatures. After removing the load, the batteries are regenerated to a voltage of 12 V (50% charge). A cold battery discharges faster by 2-3 hours, but when the load is removed it is regenerated faster. The tricycle can travel 22.21 km at a speed of 13.3 km/h on a single AkBg charge. The voltage drop across the batteries has an almost linear dependence on the distance traveled and the test time. Timely charging of the battery, as well as the provision of design and technological measures for insulating the battery pack, is recommended for operation in the cold season. Tests with cycles of movement and stopping to assess the influence of the battery's ability to self-recovery to increase the duration of movement needs to be continued, as well as testing for the duration of recovery after turning on/removing the load, depending on the magnitude of the residual stress.*

Keywords: *traction batteries of gel type, automated electric drivetrain, small-sized transport and technological vehicles, experimental investigation, functional characteristics, self-discharge, discharge characteristics, load mode, temperature conditions.*

Для цитирования: Дидманидзе О.Н., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Меркелова Т.В. Экспериментальные исследования функциональных характеристик тяговых аккумуляторов гелевого типа // Наука в центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 36-45. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-36-45.

For citation: Didmanidze O., Fedotkin R., Kryuchkov A., Merkelova T. Experimental investigation of functional characteristics of gel-type traction batteries. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 36-45. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-36-45.

Благодарности: работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение 075-15-2023-220).

Acknowledgments: the work was carried out at the expense of the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030" (agreement).

Введение. Тенденция перехода тяговых, транспортных и транспортно-технологических средств (ТТС) сельскохозяйственного назначения к комбинированным энергоустановкам и автоматизированному электроприводу обусловлена не только необходимостью снижения токсичности отработавших газов от двигателей внутреннего сгорания. Но и необходимостью комплексной автоматизации и роботизации технологических процессов для исключения ручного труда и исключения человека из зоны действия вредных производственных факторов в сельскохозяйственном производстве. [1-3].

Создание ТТС на электрической тяге, т.е. оснащенных автоматизированным электроприводом, является важнейшим технологическим шагом на пути к созданию беспилотных ТТС [3].

В качестве энергоустановки для таких ТТС наиболее перспективными являются тяговые аккумуляторные батареи, в особенности Li-ON-группы, в т.ч. литий-титанатные и графеновые аккумуляторы [4, 5]. В настоящее время по-прежнему широко распространены на малогабаритных ТТС тяговые свинцово-кислотные аккумуляторы гелевого типа [6-8].

В независимости от конструкции аккумуляторных батарей использование их в качестве основного и единственного источника энергии для тягового электропривода ТТС ограничено множеством факторов [9], наиболее сдерживающими из которых являются следующие:

- ограниченное время автономной работы – не более 4 ч, даже при реализации механизмов рекуперации мощности [10-12];
- зависимость от высоких/низких температур и их перепадов – большой саморазряд [13, 14];
- ограниченность существующей инфраструктуры для зарядки, обслуживания и ремонта ТТС с тяговым электроприводом [15].

Для преодоления указанных сдерживающих факторов необходимо проводить исследования и разработки по изучению и повышению функциональных характеристик аккумуляторных батарей различного типа. Более детальное исследование процессов, проходящих внутри батареи, и понимание их связи с проявляющимися сдерживающими факторами через различные экспериментальные исследования, позволит строить достоверные физические модели и улучшать режимы эксплуатации, повышая срок службы аккумуляторов [16, 17].

Цель исследования состоит в экспериментальной оценке функциональных характеристик тяговых аккумуляторных батарей гелевого типа (АкБг), применяемых на малогабаритных ТТС, а именно времени автономной работы в эксплуатации, а также разрядные характеристики при различных температурах хранения и работы.

Особенно интересной является проверка продолжительности удержания аккумуляторными батареями рабочего напряжения в условиях колеблющихся пониженных температуры, приближенным к условиям реальной эксплуатации.

Материалы и методы.

Экспериментальные исследования АкБг проводились в содружестве ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в два этапа [18].

На первом этапе проводилась оценка изменения уровня напряжения образца АкБг – типа RuTrike 6-EVF-32 (рисунок 1.) при комнатной температуре, а также переменной отрицательной температуре при подключенной электрической нагрузке, а также в режиме хранения.

Были рассмотрены различные методики испытания гелевых аккумуляторных батарей, часть которых опирались на требования ГОСТ [19], а отдельные отсылали к требованиям специализированных исследовательских организаций, таких как Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) [20]. Испытания проводились в лабораторных условиях с применением климатической (морозильной) камеры (рисунок. 1, б). Температура воздуха в помещении – в пределах 22-24 °С, температура в морозильной камере: от -7,8 до -20,2 °С. Колебание температуры задавалось случайным образом для имитации реальных условий эксплуатации ТТС с АкБг в холодное время года.

Рисунок 1 - Испытуемый образец АкБг типа RuTrike 6-EVF-32:
а) – общий вид АкБг; б) – испытание АкБг в морозильной камере

В качестве электрической нагрузки на АкБг использовались параллельно подключенные галогенные лампы общей мощностью 0,11 кВт.

Режимы испытаний и наблюдений – периодический контроль характеристик саморазряда/разряда по напряжению АкБг в морозильной камере и при комнатной температуре под нагрузкой/без нагрузки.

На втором этапе испытаний проводилась оценка времени непрерывной работы [22] – запаса хода по заряду комплекта из пяти АкБг типа RuTrike 6-EVF-32 в составе малогабаритного ТТС с тяговым электроприводом – типа трицикла D4 1800 (рисунок 2).

Рисунок 2 - Испытуемый образец ТТС с тяговым электроприводом типа трицикла D4 1800

Место проведения испытаний – территория ФНАЦ ВИМ (рисунок 3).

Рисунок 3 - Площадка для проведения испытаний

Испытания проводились в ранневесенний период, в условиях с переменным моросящим дождем, при температуре окружающей среды +6, °С, относительной влажности 84,74%, скорости ветра 0,2-1,6 м/с и атмосферном давлении 747 мм рт. ст. Площадка для проведения испытаний – ровное асфальтовое основание с перепадами высот не более 0,01 м и периметром 123 м.

Режим испытаний – порожнее движение ТТС, прямая передача, плавный разгон выбирается электронным способом по программы блока управления.

В соответствии с методикой пред началом испытаний при помощи мультиметра проводятся замеры напряжения на аккумуляторах по очереди на каждом и общей сборки. Одометр сбрасываться в нулевое значение. Фиксируется время начала испытаний. Оператор движется по маршруту по возможности без резких остановок и ускорений, а также с поддержанием равномерной скорости движения. По истечении 30 минут оператор останавливает трицикл в исходной точке. Фиксируются данные о времени окончания движения, осуществляется замер напряжения АкБг, осуществляется фиксация показаний одометра.

Результаты и обсуждение. При оценке саморазряда один из двух идентичных АкБг находился в морозильной камере – «холодный», второй – при комнатной температуре – «теплый». При комнатной температуре в течение 20 ч без нагрузки изменение напряжения АкБ колебалось в пределах 13,07-13,06 В. При изменении температуры в пределах от -9,5 до -18,4 °С в течение 20 ч испытаний в морозильной камере напряжение АкБ колебалось в пределах 13,07-12,93 В. А к концу испытаний уровень напряжений составил 13,01 В. Т.е. уровень заряда находится около 100 % в соответствии с информацией производителя.

При оценке разряда АкБг под нагрузкой при различных температурах получена следующая зависимость напряжения АкБг от времени испытаний под нагрузкой (рисунок 4).

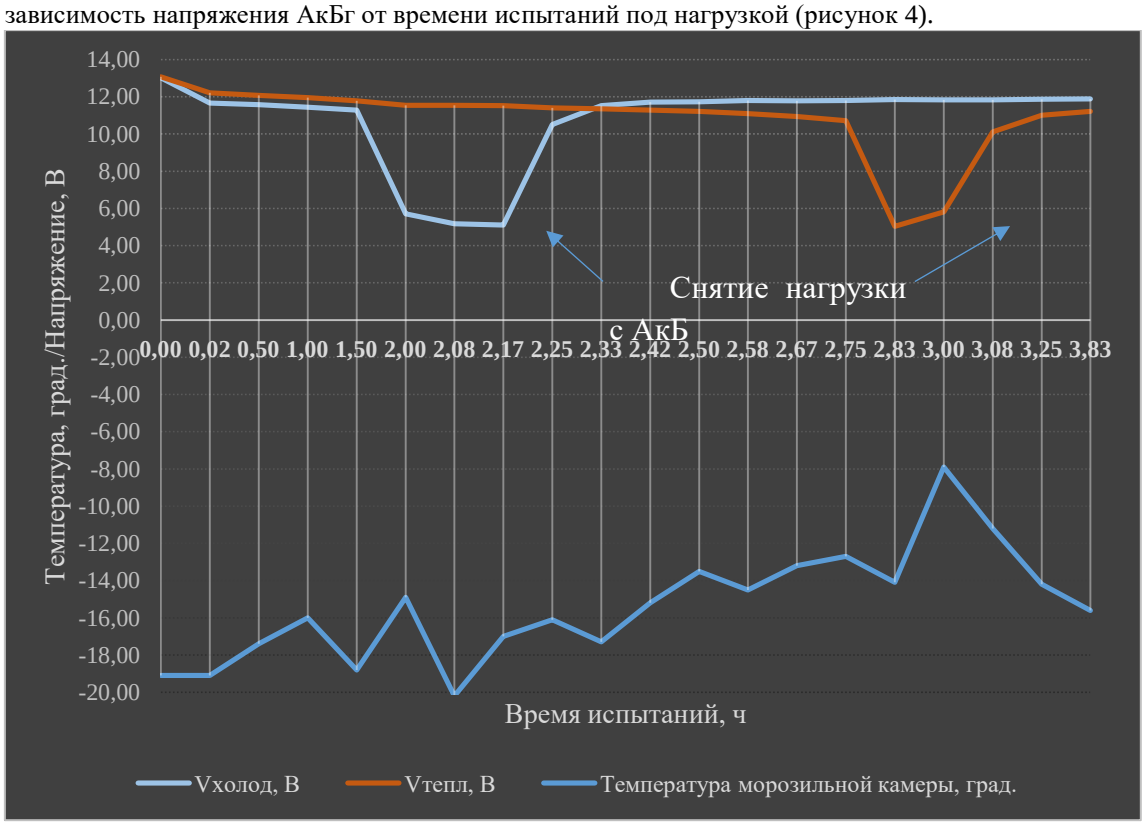

Рисунок 4 - Зависимость напряжения АкБг от времени испытаний под нагрузкой

В процессе эксперимента было отмечено резкое падение напряжения «холодного» АкБг после 2 ч работы при температуре близкой к -20 °С, «теплого» – после 2,8 ч работы под нагрузкой. При этом в паспорте на данную модель аккумуляторов производителем заявлена температура падения уровня заряда -40 °С. Это можно связать со снижением плотности электролита в процессе разрядки, что может привести к его замерзанию. Также выявлено, что оба образца АкБг после снятия нагрузки регенерируются до напряжения ~12 В, что примерно соответствует 50 %-му уровню заряда. При этом холодный АкБ разряжается быстрее на 2-3 часа, но при снятии нагрузки быстрее регенерируется – восстанавливает уровень заряда практически до 11,9 В.

В результате исследования времени непрерывной работы АкБг в составе ТТС с тяговым электроприводом получены зависимости напряжения блока АкБг и каждого отдельного аккумулятора от пройденного пути/времени движения (рисунок 5).

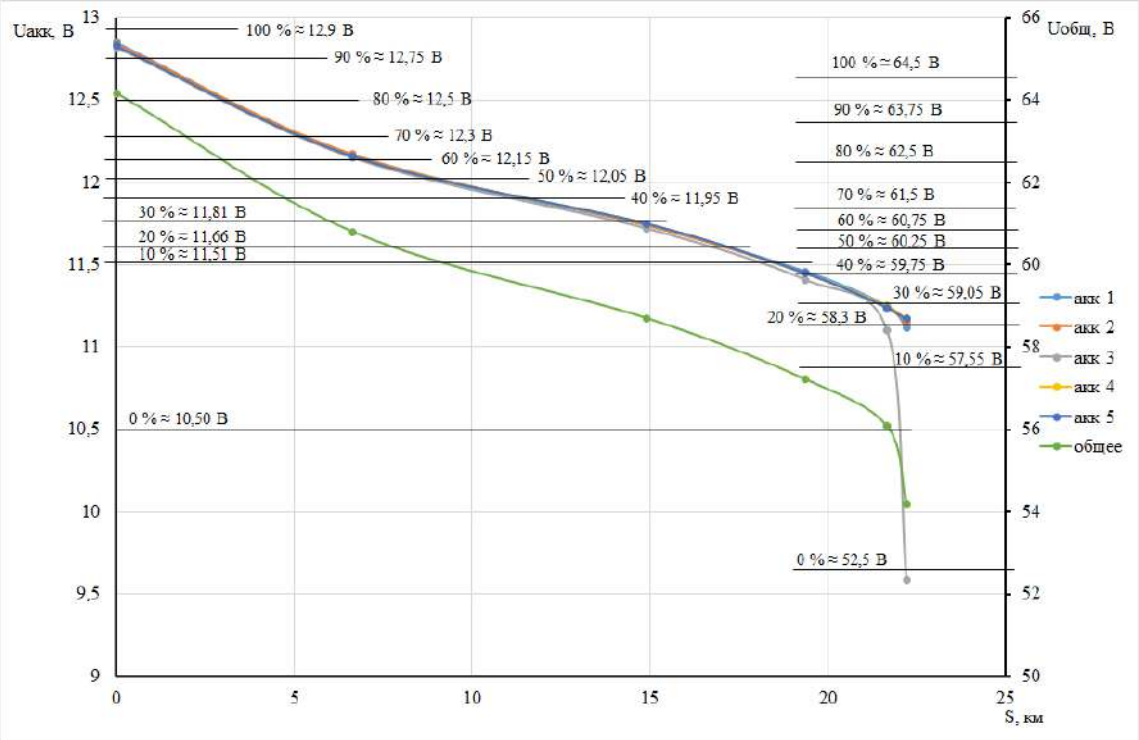

Рисунок 5 - Зависимость напряжения АкБг от пройденного расстояния S

При этом в ходе эксперимента обеспечено равномерное увеличение скорости ТТС. Общее время движения составило 106 мин, а пройденное расстояние – 22,21 км.

Анализ графиков показывает, что средняя скорость движения остается практически постоянной от времени движения до самого конца. Расчетная скорость движения составила 13,3 км/ч. Относительное время прохождения каждого участка представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты испытаний трицикла без нагрузки

№ заезда	ΔS, км	Δt, ч	ΔV, км/ч
1	6,65	0,5	13,3
2	8,27	0,5	16,54
3	4,45	0,5	8,9
4	2,3	0,217	10,62
5	0,54	0,05	10,8
		$\Delta V_{ср}$:	12,03

Напряжение практически на всех аккумуляторах падает одновременно. Один из АкБг показал более резкое падение напряжения на четвертом цикле работы.

Выводы.

По результатам первого этапа испытаний можно сделать следующие выводы:

1. За четверо суток исследований характеристик саморазряда при различных температурах оба АкБг разрядились практически одинаково – на 0,05 В.

2. Оба образца АкБг после снятия нагрузки регенерируются до напряжения ~12 В, что примерно соответствует 50 %-му уровню заряда. При этом холодный АкБ разряжается быстрее на 2-3 часа, но при снятии нагрузки быстрее регенерируется – восстанавливает уровень заряда практически до 11,9 В.

3. Таким образом, при эксплуатации гелевых аккумуляторов в холодное время года рекомендуется своевременная зарядка АкБ, а также обеспечение конструкторско-технологических мер по утеплению блока АкБ.

По результатам второго этапа испытаний можно сделать следующие выводы:

1. На одном заряде АкБг в режиме движения без дополнительной нагрузки трицикл может проехать 106 мин (22,21 км). При этом средняя скорость составляет 13,3 км/ч.
2. Падение напряжения на аккумуляторах имеется практически линейную зависимость от пройденного расстояния и времени испытаний.
3. Средняя скорость движения остается практически постоянной.
4. В ходе текущих испытаний была выявлена частичная неисправность аккумулятора №3, однако в целом на работу трицикла и величину суммарного напряжения она начала оказывать влияние только после 90 минут непрерывной работы.
5. В процессе испытаний было выявлено свойство аккумуляторов восстанавливать напряжение после некоторого времени выжидания без нагрузки. Требуется проведение испытаний трицикла с циклами движения и остановки для оценки влияния способности аккумуляторов к самовосстановлению на увеличение продолжительности движения. А также проведение синтетических тестов аккумулятора на длительность восстановления после кратковременного создания и снятия нагрузки в зависимости от текущей величины заряда (величины остаточного напряжения).
6. С учетом полученных результатов испытаний и существующего отечественного и зарубежного опыта экспериментальных исследований функциональных качеств трехколесных электрических транспортных средств, программу-методику предполагается расширить, испытания продолжить.

Список источников

1. Дидманидзе, О. Н. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Е. П. Парлюк // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21, № 1. – С. 74-85.
2. Перспективы развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, М. М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 2-7.
3. Problems and Prospects of Agricultural Tractors with Hybrid and Electric Drivetrain Creating / O. N. Didmanidze, E. P. Parlyuk, R. S. Fedotkin [et al.] // Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, 10–11 ноября 2022 года. – Moscow: IEEE, 2022. – P. 22336029.
4. Патент № 2799472 C1 Российская Федерация, МПК B60L 50/60, B60L 58/18, B60L 58/24. Тяговая аккумуляторная батарея на основе литий-титанат оксидных ячеек для беспилотных высокоавтоматизированных транспортных средств: № 2022130933: заявл. 29.11.2022 : опубл. 05.07.2023 / Л. Н. Бутов, П. В. Пырков, А. Б. Бочарова [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Эвокарго".
5. Плешков, В. А. Синтенз активных элементов гелевых литий-ванадатных аккумуляторов / В. А. Плешков, Р. А. Юсупов, С. А. Михеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 8. – С. 319-322.
6. Ганова, А. С. Сравнительный анализ гелевых и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при применении на электромобиле / А. С. Ганова // Наука молодых - будущее России : сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 4 т., Курск, 10–11 декабря 2020 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 68-71.
7. Сравнительный анализ гелевых и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при применении их на вооружении и военной технике / В. А. Степанов, Р. Ю. Федоров, Р. И. Хабибуллин, М. Н. Колесников // Техническое обеспечение служебно-боевой деятельности подразделений силовых структур государства: Сборник научных материалов / Под общей редакцией Р.В. Стрельцова. – Пермь: Федеральное государственное казенное военное

образовательное учреждение высшего образования «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», 2018. – С. 87-93.

8. Albers J., Meissner E., Shirazi S. Lead-acid batteries in micro-hybrid vehicles / J. Albers, E. Meissner, S. Shirazi // Journal of Power Sources, 2011. Vol. 196. Issue 8. P. 3993-4002.

9. Основы эффективного использования накопителей энергии в тягово-транспортных средствах / О. Н. Дидманидзе, А. А. Солнцев, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – 200 с.

10. Parameters of the electric drive of a cargo electric vehicle for breeding and seed production / A. S. Dorokhov, R. S. Fedotkin, V. A. Kryuchkov, K. Dmitriev // International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022) : conference proceedings, Dushanbe, 19–21 апреля 2022 года. Vol. 12296. – Dushanbe: SPIE, 2022. – P. 122960.

11. Роботизированное транспортное средство с минимальным воздействием на окружающую среду / Р. С. Федоткин, Н. И. Дегтярев, К. С. Дмитриев, А. С. Овчаренко // Экология промышленного производства. – 2021. – № 4(116). – С. 59-63.

12. Модернизация конструкции мобильного роботизированного опрыскивателя / А. С. Дорохов, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, А. С. Овчаренко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3(32). – С. 177-185.

13. Чебоксаров, А. Н. Анализ методик расчета фактической емкости свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при различных температурах / А. Н. Чебоксаров // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2022. – № 1. – С. 2-5.

14. Albers J. Heat tolerance of automotive lead-acid batteries / J. Albers // Journal of Power Sources, 2009. Vol. 190. Issue 1. P. 162-172.

15. Меркелова, Т. В. Инфраструктура электротранспорта и способы её оптимизации / Т. В. Меркелова // Чтения академика В. Н. Болтинского, Москва, 25–26 января 2023 года. Том 2. – Москва: ООО «Сам полиграфист», 2023. – С. 403-406.

16. S. Schwimmbeck, P. Schroer, Q. Buchner and H. -G. Herzog, "Modeling the Dynamic Behavior of 12V AGM Batteries and Its Degradation," 2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Hanoi, Vietnam, 2019, pp. 1-6.

17. Аносов, В. Н. Динамическая модель тяговой аккумуляторной батареи автономного транспортного средства / В. Н. Аносов // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 41-44.

18. Разработать систему мобильных энергетических и транспортно-технологических средств для цифрового сельского хозяйства: Обоснование параметров и исследование мобильных энергетических и транспортно-технологических средств с интеллектуальными системами управления для производства отдельных видов сельскохозяйственных культур: отчет о НИР (промежуточ., этап 2) / ФГБНУ ФНАЦ ВИМ; рук. Годжаев З.А.; исполн.: Лавров А.В., Сенькевич С.Е., Федоткин Р.С., Крючков В.А. [и др.]. – М., 2020. – 218 с. – № ГР АААА-А19-119041090079-9.

19. Сауц, А. В. Методика измерения ионной электропроводности гелевых полимерных электролитов / А. В. Сауц, Е. Подлеснов, М. В. Дорогов // Наука и современное общество: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 декабря 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 38-40.

20. C. M. T. Cruz et al., "Comparison of VRLA-AGM batteries lifetime charging with different currents waveforms for use on low power UPS," 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, Brazil, 2015, pp. 1-6.

21. Анализ энергетических характеристик модернизированного электротранспорта малой грузоподъёмности / А. В. Линенко, В. Г. Байназаров, М. Ф. Туктаров, Б. Р. Халилов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(64). – С. 102-107.

22. Результаты исследования электромобиля на шасси «ГАЗель» / А.Н. Блохин [и др.] // Наука и образование. – 2012. - № 12. - С. 75-106.

Reference

1. Didmanidze O.N. Past, present, future of agricultural tractors. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2020. T.21, №1. P. 74-85. (in Russ.)

2. Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Pulyaev N.N., Prokofiev M.M. Prospects for the development of tractor construction in Russia. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2023. № 5(311). P. 2-7. (in Russ.)

3. Problems and Prospects of Agricultural Tractors with Hybrid and Electric Drivetrain Creating / O. N. Didmanidze, E. P. Parlyuk, R. S. Fedotkin [et al.] // Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, 10–11 ноября 2022 года. – Moscow: IEEE, 2022. – P. 22336029. (in Eng.)

4. Patent № 2799472 S1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B60L 50/60, B60L 58/18, B60L 58/24. [Traction battery based on lithium titanate oxide cells for unmanned, highly automated vehicles] *Tyagovaya akkumulyatornaya batareya na osnove oksidnykh yacheyek li-tiy-titana dlya bespilotnykh vysokoavtomatizirovannykh sredstv*: № 2022130933: zayavl. 29.11.2022: opubl. 07.05.2023 / L. N. Butov, P. V. Pyrkov, A. B. Bocharova [et al.]; *zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Evokargo"*. (in Russ.)

5. Pleshkov V. A. [Synthesis of active elements of gel lithium vanadate batteries] *Sintenz aktivnykh elementov gelevykh litiy-vanadatnykh akkumulyatorov* / V. A. Pleshkov, R. A. Yusupov, S. A. Mikheyeva // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2010. № 8. S. 319-322. (in Russ.)

6. Ganova, A. S. [Comparative analysis of gel and lead-acid batteries for electric vehicle applications] *Sravnitel'nyy analiz gelevykh i svintsovo-kislotnykh akkumulyatornykh batarey pri primenenii v elektromobilyakh* / A. S. Ganova // Nauka molodykh - budushcheye Rossii : sbornik nauchnykh statey 5-y Mezhnatsional'noy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh : v 4 t., Kursk, 10–11 dekabrya 2020 goda. Tom 4. *Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet*, 2020. S. 68-71. (in Russ.)

7. Stepanov V.A., Fedorov R.Yu., Khabibullin R.I., Kolesnikov M.N. Trends of development and application of gel batteries with armaments and military technique Tekhnicheskoye obespecheniye sluzhebno-boyevoy deyatel'nosti podrazdeleniy gosudarstvennykh silovykh struktur: Sbornik nauchnykh materialov / Pod obshchey red. R.V. Strel'tsova. – Perm': *Federal'noye gosudarstvennoye kazennoye voyennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Permskiy voyennyy institut Voysk natsional'noy gvardii Rossiyskoy Federatsii»,* 2018. S. 87-93. (in Russ.)

8. Albers J., Meissner E., Shirazi S. Lead-acid batteries in micro-hybrid vehicles / J. Albers, E. Meissner, S. Shirazi // Journal of Power Sources, 2011. Vol. 196. Issue 8. P. 3993-4002. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.11.094. (in Eng.)

9. Didmanidze O. N., Solntsev A. A., Parlyuk Ye. P., Pulyayev N. N. [Basics of the effective use of energy storage devices in traction vehicles] *Osnovy effektivnogo ispol'zovaniya nakopiteley energii v tyagovo-transportnykh sredstvakh*. Moskva: *Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet - MSKHA im. K.A. Timiryazeva*, 2020. 200 pp. (in Russ.)

10. Parameters of the electric drive of a cargo electric vehicle for breeding and seed production / A. S. Dorokhov, R. S. Fedotkin, V. A. Kryuchkov, K. Dmitriev // International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022): conference proceedings, Dushanbe, 19–21 апреля 2022 года. Vol. 12296. – Dushanbe: SPIE, 2022. – P. 122960. (in Eng.)

11. Fedotkin R.S., Degtyarev N.I., Dmitriev K.S., Ovcharenko A.S. A robotic vehicle with minimal environmental impact. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2021. № 4(116). S. 59-63. (in Russ.)

12. Dorokhov A.S., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Ovcharenko A.S. Structure modernization of mobile robotic sprayer *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. № 3(32). S. 177-185. (in Russ.)

13. Cheboksarov A. Analysis of methods for calculating the actual capacity of lead-acid batteries at different temperatures. *Elektronika i elektrooborudovaniye transporta*. 2022. № 1. S. 2-5. (in Russ.)

14. Albers J. Heat tolerance of automotive lead-acid batteries / J. Albers // Journal of Power Sources, 2009. Vol. 190. Issue 1. P. 162-172. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.12.105. (in Eng.)

15. Merkelova, T. V. [Electric transport infrastructure and methods for its optimization] *Infrastruktura elektrotransporta i sposoby yeye optimizatsii* / T. V. Merkelova // Chteniya akademika V. N. Boltinskogo, Moskva, 25–26 yanvarya 2023 goda. Tom 2. – Moskva: OOO «*Sam poligraf-fist*», 2023. S. 403-406. (in Russ.)

16. S. Schwimmbeck, P. Schroer, Q. Buchner and H. -G. Herzog, "Modeling the Dynamic Behavior of 12V AGM Batteries and Its Degradation," 2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Hanoi, Vietnam, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/VPPC46532.2019.8952242. (in Eng.)

17. Anosov V.N. A dynamic model of the traction battery of an automotive transportation vehicle. *Elektrotekhnika*. – 2007. – № 9. – S. 41-44.

18. [Develop a system of mobile flows and transport-technological means for regional agriculture: Justification of parameters and research of mobile flows and transport-technological means with intelligent control chains for the production of certain types of agricultural crops] *Razrabotat' sistemu mobil'nykh potokov i transportno-tekhnologicheskikh sredstv dlya regional'nogo sel'skogo khozyaystva: Obosnovaniye parametrov i issledovaniye mobil'nykh potokov i transportno-tekhnologicheskikh sredstv s intellektual'nymi tsepochkami upravleniya dlya proizvodstva otdel'nykh vidov sel'skokhozyaystvennykh kul'turnykh* : otchet o NIR (promezhutoch., etap 2) / *FGBNU FNATS VIM* ; ruk. Godzhayev Z.A.; is-poln.: Lavrov A.V., Sen'kevich S.Ye., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A. [et al.]. M., 2020. 218 s. № GR AAAA-A19-119041090079-9. (in Russ.)

19. Sauts A.V., Podlesnov E., Dorogov M.V. Procedure for measuring the ionic conductivity of gel-polymer electrolytes. Nauka i sovremennoye obshchestvo: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i inno-vatsii : Sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 20 dekabrya 2020 goda. – Penza: «*Nauka i Prosveshcheniye*» (IP Gulyayev G.YU.), 2020. S. 38-40. (in Russ.)

20. C. M. T. Cruz et al., "Comparison of VRLA-AGM batteries lifetime charging with different currents waveforms for use on low power UPS," 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, Brazil, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/COBEP.2015.7420201. (in Eng.)

21. Linenko A.V., Baynazarov V.G., Tuktarov M.F., Khalilov B.R. Analysis of the energy characteristics of the upgraded light-duty electric transport *Vestnik Bashkirskogo sluzhashchego agrarnogo universiteta*. 2022. № 4(64). S. 102-107. DOI 10.31563/1684-7628-2022-64-4-102-107. (in Russ.)

22. Blokhin A.N. [et. al.] [Results of a study of an electric vehicle on the GAZelle chassis] *Rezul'taty issledovaniya elektromobilya na shassi «GAZel'». Nauka i obrazovaniye*. 2012. № 12. S. 75-106. (in Russ.).

Информация об авторах

О.Н. Дидманидзе - доктор технических наук, профессор, академик РАН; Р.С. Федоткин – кандидат технических наук, доцент; В.А. Крючков – кандидат технических наук, доцент; Т.В. Меркелова - магистрант.

Information about the authors

O. Didmanidze – Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; R. Fedotkin – Candidate of technical sciences, Associate Professor; V. Kryuchkov – Candidate of technical sciences, Associate Professor; T. Merkelova - master's student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 13.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2023