

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ РАЗБОРКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ТЯГОВОЙ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ИСХОДЯ ИЗ ЦЕЛЕЙ ДАЛЬНЕЙШЕГО ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Г. Е. Митягин<sup>1</sup>, М. К. Бисенов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> УО «Кызылординский открытый университет», г. Кызылорда, Республика Казахстан

***Аннотация.** Разборка высоковольтной тяговой батареи электромобиля один из наиболее ответственных технологических процессов ремонта или утилизации электромобиля. От качества проведения работ по разборке высоковольтной тяговой батареи электромобиля зависит не только безопасность этого технологического процесса и всего предприятия в целом, но и количество деталей, которые можно использовать повторно. Опыт авторемонтных производств указывает на возможность повторного использования до 70 % деталей, извлекаемых из разбираемых агрегатов или узлов. Достоверных данных о доле годных для повторного использования деталей высоковольтной тяговой батареи электромобиля после завершения его эксплуатации нет, хотя конструкция высоковольтной батареи и принцип ее работы предполагает, что значительная часть ее компонентов, за исключением самих ячеек, не должна претерпевать изменений. Соответственно, количество годных деталей и трудоемкость их демонтажа зависят от организации и технологии разборочных работ. Некорректная технология разборочных работ, неправильный выбор последовательности демонтажа деталей, подбор не подходящего инструмента приводит к появлению на демонтированных деталях трещин, обломов, особенно на пластиковых деталях, срыв резьбы и другие дефекты приводят к невозможности повторного использования. Особое внимание требуется уделять электронным компонентам ввиду опасности повреждения изоляции проводников, выхода из строя локальных предохранителей и других визуально не заметных повреждений, приводящих к неработоспособности демонтированного электронного элемента. В статье представлены результаты исследования глубины разборки высоковольтной тяговой аккумуляторной батареи электромобиля на основе определения последовательности разборочных операций, которые могут быть реализованы в рамках технологического процесса ремонта или утилизации высоковольтной тяговой аккумуляторной батареи.*

**Ключевые слова:** электромобиль; гибридный автомобиль; высоковольтная тяговая батарея; схема разборки изделия; технологическая операция; норма времени; ремонт; утилизация.

## **DETERMINATION OF THE OPTIMAL DEPTH OF DISASSEMBLY OF THE HIGH-VOLTAGE TRACTION BATTERY OF AN ELECTRIC VEHICLE BASED ON THE PURPOSES OF ITS FURTHER USE**

**G. E. Mityagin<sup>a</sup>, M. K. Bisenov<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup> *Kyzylorda Open University, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan*

**Abstract.** *Disassembly of the high-voltage traction battery of an electric vehicle is one of the most responsible technological processes for repairing or disposing of an electric vehicle. The quality of work on disassembling the high-voltage traction battery of an electric vehicle depends not only on the safety of this technological process and the entire enterprise as a whole, but also on the number of parts that can be reused. The experience of car repair industries indicates the possibility of reuse of up to 70% of the parts extracted from disassembled units or assemblies. There is no reliable data on the proportion of reusable parts of the high-voltage traction battery of an electric vehicle after its operation is completed, although the design of the high-voltage battery and the principle of its operation suggest that a significant part of its components, with the exception of the cells themselves, should not undergo changes. Accordingly, the number of suitable parts and the complexity of their dismantling depends on the organization and technology of disassembly. Incorrect disassembly technology, incorrect selection of the sequence of disassembly of parts, selection of an unsuitable tool leads to cracks, fragments on dismantled parts, especially on plastic parts, thread failure and other defects lead to the impossibility of reuse. Special attention should be paid to electronic components due to the risk of damage to the insulation of conductors, failure of local fuses and other visually imperceptible damage leading to inoperable dismantled electronic element. The article presents the results of a study of the depth of disassembly of a high-voltage traction battery of an electric vehicle based on determining the sequence of disassembly operations that can be implemented as part of the technological process of repair or disposal of a high-voltage traction battery.*

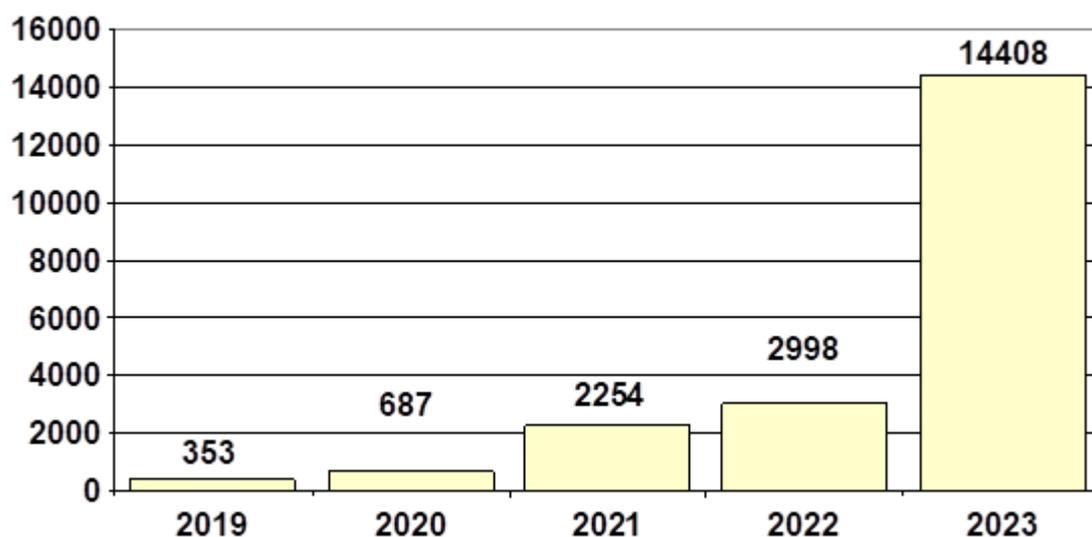
**Keywords:** *electric car; hybrid car; high-voltage traction battery; product disassembly scheme; technological operation; time limit; repair; disposal.*

**Цель статьи** – представить результаты эксперимента по

оценке глубины разборки высоковольтной тяговой батареей электромобиля, определению границ детализации разборочных операций и выделения демонтированных элементов в единицы складского учета для повторного использования при ремонте или реализации на вторичном рынке.

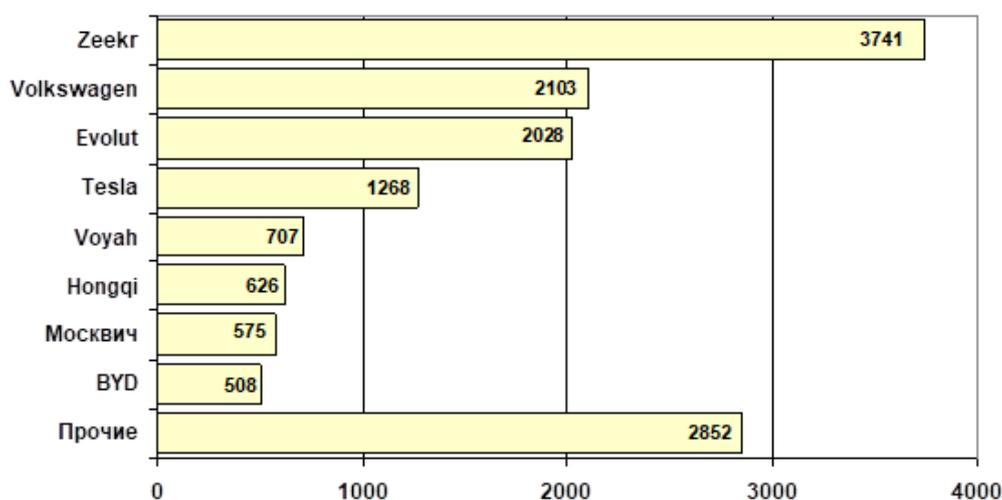
### **Введение**

Актуальность исследований послеексплуатационных технологических процессов обращения с электромобилями и гибридными автомобилями становится очевидной если проанализировать статистику продаж этих видов транспортных средств в 2023 году в сравнении со всеми предшествующими периодами (рисунок 1) [1, 2]. В прошлом году новые электромобили преодолели первую знаковую точку структуры продаж новых транспортных средств – их доля составила 1,3 %. Считается, что, если будет достигнут следующий показатель – пять процентов, популярность электромобилей будет нарастать более высокими темпами, однако, это утверждение подтверждается пока только на примере стран Европы и Китая. Помимо общего стремительного роста количества электромобилей изменилась структура транспортных средств, имеющих на борту высоковольтную батарею – электромобили существенно потеснили гибридные автомобили, достигнув доли более 40 процентов [1].

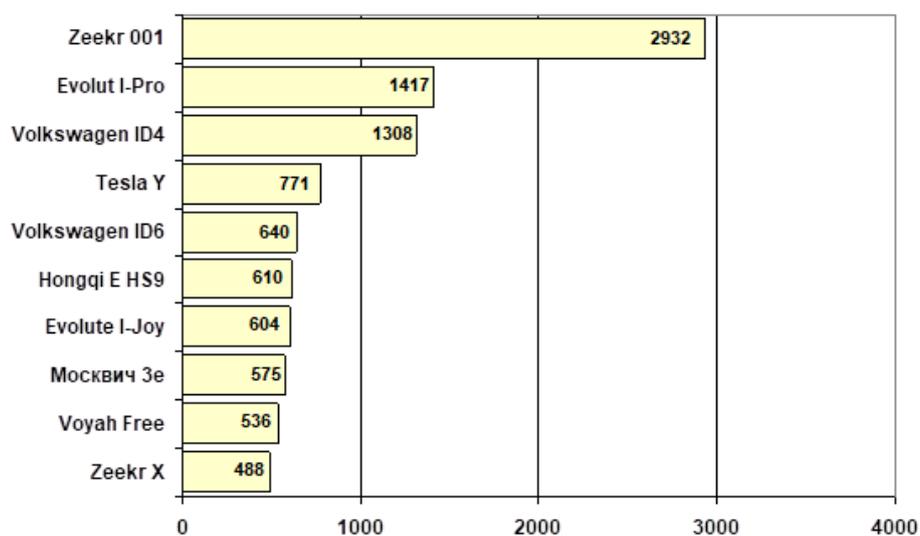


**Рисунок 1 – Динамика продаж новых электромобилей, шт.**

Анализируя марочный состав электромобилей следует отметить, что импортозамещение в этом сегменте пока признать невозможно и весь рост, несмотря на значительное расширение производства электромобилей в России, даже не принимая во внимание их происхождение, был достигнут за счет импорта, в первую очередь из Китая (рисунок 2) [1, 3]. Если в 2013 году на рынке в России было доступно около шести моделей электромобилей, то в 2023 году их количество превысило несколько десятков, однако, из всего разнообразия моделей электромобилей только восемь достигли количества в 500 реализованных покупателям экземпляров (рисунок 3) [4].



**Рисунок 2 – Структура продаж электромобилей по маркам в 2023 году, шт.**



**Рисунок 3 – Наиболее популярные модели электромобилей в 2023 году, шт.**

Анализируя данные 2023 года, можно сделать вывод, что имеет место тенденция вытеснения электромобилей, разработанных путем конвертации автомобилей с ДВС, электромобилями, разработанными на современных электромобильных технологических платформах, не предполагающих версий с ДВС, либо допускающие гибридные версии с ДВС без связи с трансмиссией. Для таких электромобилей характерна особая конструкция кузова, предполагающая интеграцию корпуса высоковольтной тяговой батареи в силовой каркас, а также формирование стандартизированных требований к размерам высоковольтных батарей и к используемым ячейкам. Например, для бескорпусных литий-ионных «пакет-ячеек», используемых в современных электромобилях, стал применяться стандарт VDA355, предполагающий типовой размер ячейки, имеющей размеры  $303 \times 100 \times 12,3$  мм [5]. Такой формат ячейки под индексом 123100302E1, предполагается к производству на готовящейся к запуску в 2025 году гигафабрике по производству накопителей «РЭНЕРА» [6]. На базе ячейки этого формата уже предлагаются готовые батарейные модули, включающие 12 ячеек, имеющие различные характеристики, подходящие как для электромобилей, так и для других транспортных средств. Например, ME120-022 (конфигурация 2P6S, номинальное напряжение 22,2 В, номинальная емкость 120 А·ч), ME180-014 (конфигурация 3P4S, номинальное напряжение 14,8 В, номинальная емкость 180 А·ч), ME600-044 (конфигурация 1P12S, номинальное напряжение 44,4 В, номинальная емкость 60 А·ч) [7].

Учитывая вышесказанное, для определения оптимальной глубины разборки высоковольтной тяговой батареи электромобиля желательно использовать образец, наиболее полно отвечающий современным тенденциям развития конструкций высоковольтных аккумуляторных батарей.

### **Методы**

Для определения оптимальной глубины разборки высоковольтной тяговой батареи электромобиля необходимо выполнить следующие шаги:

1. Определение цели разборки высоковольтной батареи. Цель разборки будет определять применяемую технологию разборки, применяемый инструмент и приемы работы с ним.

2. Определение объекта исследования, важно чтобы он

соответствовал перспективным тенденциям развития конструкции высоковольтных батарей и наиболее массовым конструктивным схемам.

3. Сбор данных. Для сбора данных следует использовать различные источники, например, базы данных производителей электромобилей, отчеты сервисных центров, опросы владельцев электромобилей и т.д. Учитывая современные ограничения доступа к актуальной технической информации, незначительный опыт работы сервисных предприятий с электромобилями, особенно современными, целесообразно провести исследование технологического процесса разборки непосредственно на высоковольтной батарее, исполняя трудовые движения в порядке, который позволит достичь требуемого результата.

4. Анализ данных. Необходимо проанализировать данные, чтобы выявить оптимальную последовательность выполнения разборочных работ, среднее время демонтажа элементов высоковольтной батареи, наиболее часто встречающиеся проблемы, соответствие применяемого инструмента целям работы с батареей.

5. Формулирование рекомендаций и составление схемы разборки. На основе анализа данных необходимо сформулировать рекомендации, например, по последовательности выполнения действий, по механизации трудовых действий исполнителей или по рекомендуемому количеству и квалификации исполнителей, занимающихся с высоковольтной батареей, рекомендации по используемому инструменту и даже требованиям безопасности.

Разборка высоковольтной аккумуляторной батареи может являться частью производственного процесса ремонта электромобиля, частью процесса утилизации как всего электромобиля, так и отдельно высоковольтной батареи, а также элементам процесса реновации батареи для последующего использования по штатному или альтернативному назначению. Следует отметить, что такой процесс применим для батарей, где ячейки и электронные компоненты размещены внутри герметичного корпуса, который характерен для современных серийных электромобилей.

Рабочей документацией для разборки как правило являются схемы разборки, технологические карты или руководства по ремонту. Учитывая новизну и, как правило, отсутствие необходимой квалификации и опыта работы с высоковольтными батареями

предпочтительна разработка схемы разборки для применения ее в перспективе в условиях предприятий.

Схема разборки высоковольтной батареи представляет собой иерархическое дерево состояний объекта разборки [8], при этом возможно ее использование для сборки, при условии выполнения манипуляций в обратном порядке. При сопоставлении схемы и хронометража можно определить оптимальную глубину разборки исходя из применяемых критериев, например, минимум трудоемкости, максимум стоимости фонда оборотных деталей, чистота выхода материалов для целей переработки.

Для оценки технологического процесса разборки использован, разработанный на кафедре тракторов и автомобилей учебный стенд-тренажер «Высоковольтная аккумуляторная система» [9]. Учебный стенд-тренажер «Высоковольтная аккумуляторная система» предназначен для отработки и закрепления навыков выполнения основных видов работ по техническому обслуживанию и ремонту элементов. На диэлектрическом основании стенда-тренажера неподвижно закреплен корпус высоковольтной батареи в котором при помощи штатного крепежа закреплены: панель с каналами охлаждения модулей батареи; блок батареи, включающий 6 или 8 модулей (24 или 32 субмодуля) в зависимости от модификации; передний высоковольтный разъем; задний высоковольтный разъем; разъем инвертера; блок предохранителя; блок управления батареями; блок управления ячейками батареи; силовое реле; низковольтный разъем связи и питания.

Смонтированная на стенде высоковольтная аккумуляторная батарея применялась на электромобиле КИА EV-6. Она обладает всеми характерными признаками современной «типовой» высоковольтной аккумуляторной батареи, содержит шесть сдвоенных ячеек «SK Innovation E556» в одном модуле (схема 2P6S).

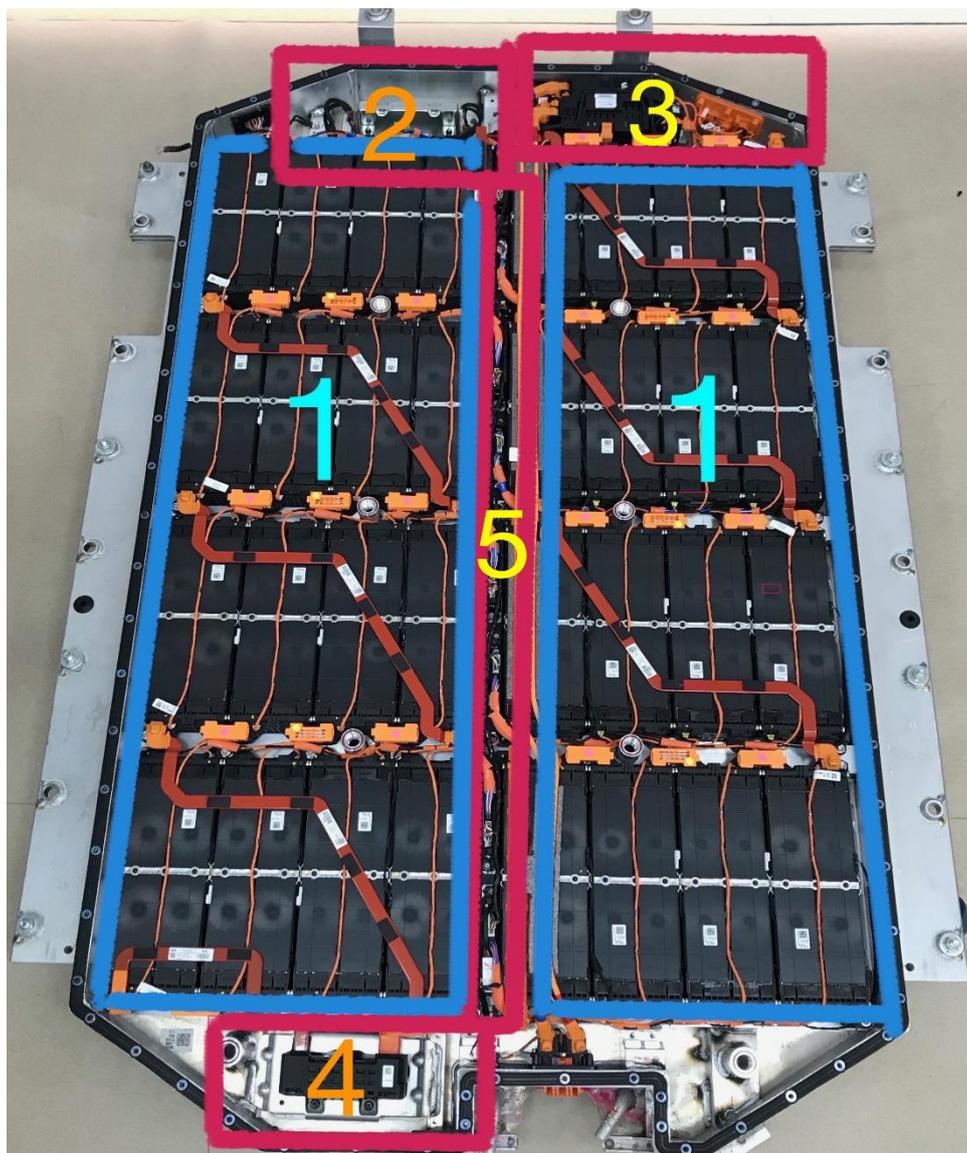
Разработка технологического процесса разборки и соответствующей ему схемы включает девять этапов [8], однако для определения оптимальной глубины достаточно лишь первых четырех:

- изучение конструкции разбираемой высоковольтной батареи;
- разбивка объекта на разборочные группы и подгруппы;

- выбор наиболее оптимального метода рациональной организации разборки;
- определение последовательности разборочных операций, установление режимов разборки и норм времени на выполнение разборочных операций.

### Результаты и обсуждение

Изучение конструкции разбираемой высоковольтной батареи позволило разделить ее на разборочные группы (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Общий вид высоковольтной тяговой батареи со снятой крышкой и разделением на разборочные группы:**

1 – модули; 2 – блок управления батареями; 3 – блок силового реле; 4 – блок силового предохранителя; 5 – зона группового размещения блоков управления ячейками батареи и кабеля контроля параметров и управления

В моноблоке высоковольтной батареи электромобиля следует выделить пять основных групп: 1 – модули (на рисунке 4 показана версия батареи состоящей из двух половин по четыре модуля – всего 8 модулей, включающих 32 submodule); 2 – блок управления батареей (BMU); 3 – блок силового реле (PRA); 4 – блок силового предохранителя; 5 – зона группового размещения блоков управления ячейками батареи и кабеля контроля параметров и управления.

В зависимости от целей, которые были поставлены, разборка может быть частичная или полная. Частичная разборка высоковольтной батареи имеет место при текущем ремонте, например, для замены отдельных модулей, или ячеек, или электронных компонентов, расположенных внутри корпуса батареи, к которым не предусмотрен доступ снаружи.

Полная разборка имеет место при реновации батареи, например при замене всех ячеек на новые вместо деградировавших или новые с повышенной емкостью с модернизацией системы мониторинга ячеек, а также при утилизации, для формирования фонда обменных деталей или сортировки по группам материалов.

Независимо от глубины разборки – частичной или полной – процесс будет включать две фазы. В первой фазе будет выполняться первичная оценка параметров безопасности батареи после демонтажа с электромобиля и вскрытие батареи с предварительной поэлементной оценкой. Технологические операции, входящие в эту фазу, необходимо выполнять в полном объеме. Во второй фазе, предполагающей дальнейшую работу с разборочными группами (рисунок 4), возможны различные траектории работы, так, при частичной разборке демонтаж выполняется по одной или нескольким разборочным группам, при полном – по всем.

### **Вывод**

Определение оптимальной глубины разборки высоковольтной тяговой батареи электромобиля является важной задачей, позволяющей рационально подойти к организации технологического процесса разборки исходя из целей дальнейшего использования всей батареи или отдельных ее компонентов.

Как показал эксперимент целесообразно определение двух уровней глубины разборки – частичной и полной. Частичная разборка высоковольтной батареи будет целесообразна при выполнении текущего ремонта, а полная разборка при реновации батареи и

при утилизации как с разделением компонентов по видам материалов, так и с образованием обменного фонда.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Российский рынок новых электромобилей в 2023 году вырос почти в 5 раз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56565>.

2. Митягин, Г. Е. Проблемы и перспективы производства и эксплуатации электротранспортных средств в России / Г. Е. Митягин, О. П. Андреев, А. А. В. Рупасингхе // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 33-44.

3. Мировой рынок электромобилей в 2023 году вырос на треть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56581>.

4. В 2023 году на российском рынке появилось 16 новых электромобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/articles/56603>.

5. Модуль литий-ионной батареи VDA355 NMC 51 А·ч [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lythbattery.com/vda355-nmc-lithium-ion-battery-module-51ah-1p12s/?lang=ru>.

6. Российские литий-ионные АКБ для источников бесперебойного питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://renera.ru/company/ustojchivoe-razvitie/files/brochure\\_Renera\\_210x297%20имиджевая\\_ver17.pdf?ysclid=lrt439emks415859030](https://renera.ru/company/ustojchivoe-razvitie/files/brochure_Renera_210x297%20имиджевая_ver17.pdf?ysclid=lrt439emks415859030).

7. Накопители энергии ЕСОМЕТА. Литий-ионные батареи и системы накопления энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ecometa.ru/wp-content/uploads/2023/11/Katalog\\_ESOMET\\_A\\_210x297.pdf](https://ecometa.ru/wp-content/uploads/2023/11/Katalog_ESOMET_A_210x297.pdf).

8. Технология ремонта машин: учебник для вузов /Е. А. Пучин, О. Н. Дидманидзе, В. С. Новиков и др. – М. : Изд-во УМЦ «Триада». – Ч. 1. – 2006. – 348 с.

9. Митягин, Г.Е. Результаты исследования технологического процесса разборки высоковольтной тяговой батареи электромобиля / Г. Е. Митягин, М. К. Бисенов, А. О. Шамаева // Техника и технология: теория и практика. – 2022. – №4 (6). – С. 7-21.

#### ***Об авторах:***

**Митягин Григорий Евгеньевич**, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат технических наук, доцент.

**Бисенов Мурат Кылышбаевич**, старший преподаватель ОУ «Кызылординский открытый университет» (Республика Казахстан, г. Кызылорда, ул. Гани Муратбаев, д. 72а).

*About the authors:*

**Grigory E. Mityagin**, associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering), associate professor.

**Murat K. Bisenov**, senior lecturer, Kyzylorda Open University (Republic of Kazakhstan, Kyzylorda, Gani Muratbayev str., 72a).