

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В КАЧЕСТВЕ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ

Введение.

В настоящее время все более широкую популярность приобретают транспортные средства, в которых в качестве силовой установки используется электропривод. Подтверждением актуальности применения электропривода служат автомобили с гибридной Chevrolet Volt, Toyota Prius (в том числе, в автомобилях национальной полиции), а также только электрической силовой установкой: Nissan Leaf (в том числе, в автомобилях такси), Tesla (Model X, Model S, Model 3), GM EV1, Honda EV-plus, EILada. Кроме этого, электропривод в качестве силовой установки успешно используется в составе карьерных самосвалов БелАз, Liebherr T282В [1], а также является перспективной силовой установкой грузовика Mercedes Benz Urban eTruck. Вместе с этим, следует заметить, что в боевых бронированных машинах применение электропривода в настоящее время не реализовано.

Цель работы.

Определение перспектив развития легкобронированных боевых машин с электрической силовой установкой.

Основная часть.

Используя технические характеристики автомобиля Tesla Model S, приведенные в таблице 1, как наиболее соответствующие решению нашей задачи, а также технические характеристики последней модификации БТР-4 приведенные в таблице 2, проведем расчет параметров аккумуляторных батарей, необходимых для работы электродвигателей бронетранспортера с электроприводом.

Таблица 1

Технические характеристики автомобиля Tesla Model S

Наименование	Единица измерения	Значение
Мощность электродвигателя	кВт	310
Емкость аккумуляторных батарей	кВт·ч	85
Запас хода на АКБ при скорости 60км/ч	км	426
Масса автомобиля	кг	2108

Таблица 2

Основные технические характеристики БТР-4

Наименование	Единица измерения	Значение
Мощность двигателя	кВт	330
Запас хода	км	500
Объем топлива	л	600
Масса изделия	кг	24000

Проведя необходимые вычисления, получим, что потребляемый ток автомобиля Tesla Model S при скорости 60 км/ч составляет 30 А/ч.

Требуемая мощность электродвигателя транспортного средства определяется выражением [2]:

$$P_e^V = \frac{M_a \cdot g \cdot f_k \cdot V + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_B \cdot A \cdot V^3}{\eta_{тп} \cdot K_p}, \quad (1)$$

где: P_e^V – мощность электродвигателя;
 M_a – масса транспортного средства;
 g – ускорение свободного падения;
 f_k – сопротивление качению шины транспортного средства;
 V – скорость движения транспортного средства;
 c_x – коэффициент обтекаемости;
 $\eta_{тп}$ – КПД трансмиссии;
 A – площадь продольной проекции транспортного средства на вертикальный экран;
 K_p – коэффициент коррекции мощности.

Проведя необходимые вычисления по (1) для автомобиля массой 2108 кг и БТР массой 24000 кг, получим, что мощность, требуемая для приведения в движение со скоростью 60 км/ч БТР по сравнению с мощностью, необходимой для приведения в движение со скоростью 60 км/ч автомобиля массой 2108 кг, увеличится ориентировочно в 4 раза. При этом, учитывая прямо пропорциональную зависимость мощности от силы тока, получим:

$$I_{БТР} = 4 \cdot I_A, \quad \text{или} \quad I_{БТР} = 120 \text{ А}, \quad (2)$$

где: $I_{БТР}$ – сила тока, потребляемого электродвигателем (электродвигателями) БТР при скорости 60 км/ч;
 I_A – сила тока, потребляемого электродвигателем автомобиля Tesla Model S при скорости 60 км/ч.

Потребляемая мощность электродвигателей БТР за час работы при скорости 60 км/ч [3]:

$$P_{БТР} = I_{БТР} \cdot U_{АКБ}, \quad \text{или} \quad P_{БТР} = 48000 \text{ Вт}, \quad (3)$$

где: $P_{БТР}$ – электрическая мощность, потребляемая электродвигателем (электродвигателями) БТР;
 $I_{БТР}$ – сила тока, потребляемого электродвигателем (электродвигателями) БТР;
 $U_{АКБ}$ – номинальное значение напряжения на клеммах аккумуляторных батарей, 400 В.

Потребляемая мощность на 1 км пути:

$$P_{БТР1км} = P_{БТР} / V \quad \text{или} \quad P_{БТР1км} = 800 \text{ (Вт·ч)/км}, \quad (4)$$

где: $P_{БТР1км}$ – электрическая мощность, потребляемая электродвигателем (электродвигателями) БТР на 1 км пути;

$P_{БТР}$ – электрическая мощность, потребляемая электродвигателем (электродвигателями) БТР;

V – скорость БТР, для которой проводится расчет, 60 км/ч.

Электрическая мощность аккумуляторных батарей [4]:

$$P_{АКБ} = P_{БТР1км} \cdot S \quad \text{или} \quad P_{АКБ} = 400000 \text{ Вт}\cdot\text{ч}, \quad (5)$$

где: $P_{АКБ}$ – электрическая мощность аккумуляторных батарей

$P_{БТР1км}$ – электрическая мощность, потребляемая электродвигателем (электродвигателями) БТР на 1 км пути;

S – запас хода БТР, 500км.

АКБ для БТР предлагается выполнить на основе литий-железо-фосфатного аккумулятора (элемента) ANR26650M1.

Достоинствами литий-железо-фосфатных аккумуляторов являются:

- большая плотность энергии – как весовая, так и объемная;
- максимальное напряжение на одном элементе батареи составляет 3,6 В, что в три раза выше, чем у других типов аккумуляторов;
- предельно быстрый заряд батареи до 90-95% емкости за 30-40 минут;
- ресурс– более 1000 циклов разряда/заряда батареи;
- температура эксплуатации: минус 30...+ 55 °С;
- потеря емкости – 23% за 15 лет;
- термическая и химическая стабильность, что существенно повышает безопасность батареи;
- утилизация без переработки, что показывает их высокую экологичность.
- срок хранения 15 лет.

Недостатки литий-железо-фосфатных аккумуляторов:

- удельная плотность энергии литий-железо-фосфатных аккумуляторов примерно на 14% ниже, чем у литий-ионных аккумуляторов.

Основные технические характеристики элемента ANR26650M1 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Технические характеристики элемента ANR26650M1

Наименование	Единица измерения	Значение
Емкость одной АКБ ANR26650	Ач	2,5
Напряжение полностью заряженной	В	3,3
Масса	г	76

Для получения необходимых параметров АКБ предлагается следующая схема подключения элемента ANR26650M1: последовательное соединение 6-ти элементов ANR26650M1 в ячейку с характеристиками: 19,8 В, 2,5 А, 49,5 Вт; параллельное соединение 400 ячеек в блок с характеристиками: 19,8 В, 1000 А, 1980 Вт; последовательное соединение 20 блоков в общую АКБ с характеристиками: 396 В (400 В), 1000 А, 396 кВт.

Общая масса тяговых АКБ из 48000 элементов [4]:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i \quad \text{или} \quad M = 3648 \text{ кг}, \quad (6)$$

где: M – общая масса тяговых АКБ;
 m_i – масса одного элемента (ANR26650M1);
 n – количество элементов в общей тяговой АКБ.

Основным достоинством предложенной схемы подключения элементов ANR26650 является ее надежность, при которой выход из строя одного элемента влечет за собой выход из строя только ячейки общей мощностью 49,5 Вт, что практически не влияет на общую мощность АКБ.

Существует несколько вариантов применения электропривода в качестве силовой установки современных транспортных средств, а именно:

- с одним электродвигателем на все изделие, при этом реально электропривод работает на один мост;
- с индивидуальным электродвигателем на каждый мост;
- с индивидуальным электродвигателем на каждое колесо.

Каждый из них имеет преимущества и недостатки, и применяются в зависимости от типа транспортного средства и его назначения [5].

Функциональная схема электрооборудования бронетранспортера с электроприводом представлена на рисунке 1.

В состав электрооборудования входит:

- электродвигатель (2шт.);
- блок управления (2шт.);
- аккумуляторные батареи (АКБ) электродвигателей с напряжением на выводах около 400 В (тяговые АКБ);
- система управления тепловыми режимами электропривода;
- АКБ для питания электрооборудования корпуса;
- энергоагрегат с генератором;
- преобразователь напряжения переменного тока 380 В или 220 В в напряжение постоянного тока 400 В для заряда АКБ электродвигателей;
- преобразователь напряжения переменного тока 380 В или 220 В в напряжение постоянного тока 27 В для заряда АКБ электрооборудования корпуса;
- блок заряда от сети переменного тока 220 В;
- электропотребители изделия (за исключением тяговых электродвигателей).

В предлагаемом варианте в составе электропривода используются два электродвигателя, мощностью 310 кВт каждый, что позволит резервировать систему в случае выхода из строя одного из них. Крутящий момент вала электродвигателя через раздаточную коробку передается мостам БТР. Для экономии заряда тяговых АКБ или в случае их полной разрядки возможно движение БТР от энергии работающего энергоагрегата, которая также будет идти на заряд тяговых АКБ и АКБ электрооборудования [6].

При выходе энергоагрегата из строя и буксировке изделия предусмотрен заряд АКБ электродвигателей и от них, через преобразователь, заряд АКБ электрооборудования изделия посредством рекуперации.

Система управления тепловыми режимами электропривода обеспечивает оптимальный температурный режим работы электродвигателей и тяговых АКБ.

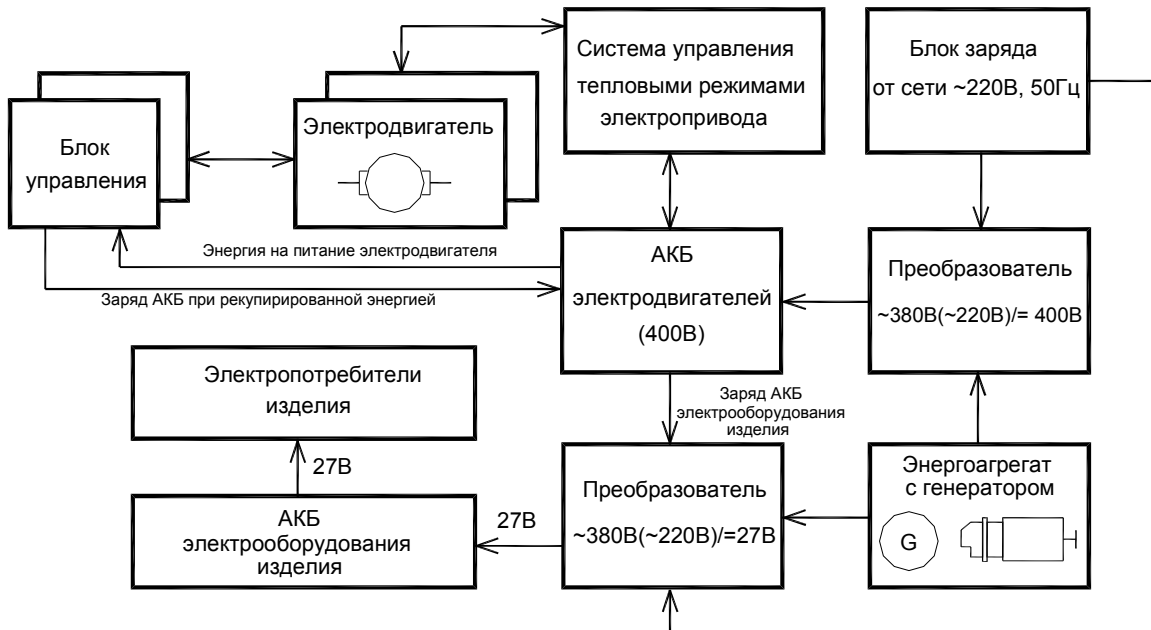


Рис. 1. Функциональная схема электрооборудования бронетранспортера с электроприводом.

Реализация предложенного варианта электропривода позволит исключить из состава БТР следующие узлы и агрегаты: двигатель внутреннего сгорания, коробка переключения передач, часть карданных валов, колесные редуктора, и, кроме того, сократить объем необходимого топлива с 600 до 300 л, которые необходимы для работы энергоагрегата. Общая масса исключенного из состава БТР оборудования составит около 4000 кг.

Общая масса вновь введенного оборудования в состав БТР с электроприводом будет представлять сумму масс: блоков управления, тяговых электродвигателей, системы управления тепловыми режимами, преобразователей, блока заряда и составит ориентировочно 4300 кг.

Энергоагрегат с генератором входит в состав последней модификации БТР, поэтому в сравнении масс не учитывается.

Следует заметить, что общая мощность и масса тяговых АКБ была рассчитана исходя из запаса хода на тяговых АКБ в 500 км, что является частью тактико-технических характеристик. При уменьшении запаса хода БТР на тяговых АКБ до 250 км и дальнейшем движении при помощи энергоагрегата, учитывая (6), масса тяговых АКБ будет уменьшена в 2 раза и как следствие будет снижена масса вновь введенного оборудования в состав БТР с электроприводом до 2500 кг.

Выводы:

Реализация предложенного варианта электропривода без значительного увеличения массы и стоимости изделия в целом позволит:

1. Существенно снизить шум при движении БТР, что улучшает тактико-технические характеристики БТР.
2. Снизить затраты на горюче-смазочные материалы.
3. Повысить надежность изделия за счет исключения из его состава большинства узлов трансмиссии.

4. Снизится центр тяжести изделия, что увеличит устойчивость изделия при боковых кренах.
5. За счет расположения тяговых АКБ добиться оптимального значения центра масс, что крайне важно при эксплуатации изделия на плаву.
6. Улучшить динамические характеристики и проходимость за счет лучшего крутящего момента электропривода по сравнению с двигателем внутреннего сгорания [7].

Литература: 1. Сосин Д.А., Яковлев .Ф. *Новейшие автомобильные электронные системы.* – М.: СОЛОН– Пресс, 2005. – 240 с. 2. Хусаинов А.Ш. *Тяговый расчет автомобиля.* – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 47с. 3. Щетина В.А., Морговский Ю.Я., Богомазов В.А. *Электромобиль :Техника и экономика. Под общ. ред. Щетины В.А.* – Л.: Машиностроение, 1987. –253 с. 4. Лавру В.С. *Источники энергии– М.: Наука и техника, 1997.– 200с.* 5. Тарасик, В. П. *Теория движения автомобиля: учебник для вузов – СПб. : БХВ–Петербург, 2006. – 478 с.* 6. *Автомобильный справочник. Bosch.* – М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. – 896 с. 7. Лихачёв В.Л. *Электродвигатели асинхронные М.: Солон – Р, 2002 – 180с.*

Bibliography (transliterated): 1. Sosin D.A., Yakovlev .F. *Noveishie avtomobil'nye elektronnye sistemy.* – M.: SOLON– Press, 2005. – 240 s. 2. Khusainov A.Sh. *Tyagovyi raschet avtomobilya.* – Ulyanovsk:UlGTU, 2009. – 47s. 3. Shchetina V.A., Morgovskii Yu.Ya., Bogomazov V.A. *Elektromobil' :Tekhnika i ekonomika. Pod obshch. red. Shchetiny V.A.* – L.: Mashinostroenie, 1987. –253 s. 4. Lavru V.S. *Istochniki energii– M.: Nauka i tekhnika, 1997.– 200s.* 5. Tarasik, V. P. *Teoriya dvizheniya avtomobilya: uchebnik dlya vuzov – SPb. : BKhV–Peterburg, 2006. – 478 s.* 6. *Avtomobil'nyi spravochnik. Bosch.* – M. : ZAO KZHI «Za rulem», 2002. – 896 s. 7. Likhachev V.L. *Elektrodvigateli asinkhronnye M.: Solon – R, 2002 – 180s.*

Бондар О.І., Дегтяр С.М., Кроленко О.І., Мормило Я.М., Пилипенко О.Ю., Сливар Е.Я.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В ЯКОСТІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ

У статті розглянуто застосування електроприводу на виробках вітчизняної легкоброньованої техніки на прикладі БТР-4. Проведено розрахунок потужності тягових акумуляторних батарей, запропоновано функціональну схему електрообладнання бронетранспортера з електроприводом, наведено опис її роботи.

Bondar O.I., Degtyar S.M., Krolenko O.I., Mormilo Ia.M., Pilipenko O.Yu., Slivar E.Ia.

PERSPECTIVES OF USE OF THE ELECTRIC DRIVE AS A POWER-PLANT OF LIGHTLY ARMoured TECHNICIANS

In a paper electric drive application on articles domestic of lightly armoured technicians on an example an armored BTR-4 is considered. Calculation of power of traction storage batteries is carried out, the function chart of an electrical equipment of an armoured personnel carrier with the electric drive is offered, the exposition of its operation is given.