

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/vol8-6.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/80TVN616.pdf>

DOI: 10.15862/80TVN616 (<http://dx.doi.org/10.15862/80TVN616>)

Статья опубликована 13.12.2016

Ссылка для цитирования этой статьи:

Усов О.А. Алгоритм управления электромеханической трансмиссией с гибридной силовой установкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/80TVN616.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 623.438.3–23

Усов Олег Александрович

ОАО «ВНИИТрансмаш», Россия, Санкт-Петербург¹

Генеральный директор

Кандидат технических наук

E-mail: usov496@mail.ru

Алгоритм управления электромеханической трансмиссией с гибридной силовой установкой

Аннотация. В статье рассматривается функциональное назначение системы управления моторно-трансмиссионной установки с электромеханической трансмиссией, ее структура и режимы работы военной гусеничной машины, которые она обеспечивает.

Приводятся перечень и параметры органов управления, средств измерения и признаки, формирующие режимы работы и текущее состояние электромеханической трансмиссии и гибридной силовой установки.

Приводится описание алгоритмов управления тепловым двигателем, тяговыми электродвигателями, накопителями энергии, гидросистемой трансмиссии на режимах пуска и остановки двигателя, разгона и торможения машины, поворота машины в движении и на месте, при переключении скоростных диапазонов, а также управления тепловым двигателем в процессе движения, обеспечивающего его работу на экономичном и форсированном режимах.

Приведены аналитические зависимости, используемые в алгоритме электронного управления агрегатами электромеханической трансмиссии и гибридной силовой установки.

Приведено описание и результаты экспериментальных исследований опытного образца системы управления электромеханической трансмиссией, выполненный по бортовой схеме с дифференциальной связью бортов и тепловым двигателем мощностью 1109 кВт.

Разработанный алгоритм позволяет энергоэффективно распределять потоки мощности в агрегатах трансмиссии в различных режимах движения.

Ключевые слова: электромеханическая трансмиссия; гибридная силовая установка; военная гусеничная машина; алгоритм управления; органы управления

¹ 198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, д. 2

В настоящее время в конструкциях военных гусеничных машин (ВГМ) используют трансмиссии различного типа (механические, гидро- и электромеханические, гидрообъемные, комбинированные). С увеличением грузоподъемности, полной массы, числа осей существует тенденция перехода от механических трансмиссий к другим типам трансмиссий. Связано это, во-первых, с тем, что при возрастании числа осей трансмиссия существенно усложняется в механическом и гидромеханическом вариантах. Во-вторых, использование электромеханического привода позволяет решить задачи, связанные с рационализацией и оптимизацией распределения мощности, подводимой от источника энергии к ведущим колесам, что напрямую определяет энергоэффективность движения ВГМ [3, 4, 5].

В различных условиях и режимах движения перераспределение мощности, подводимой к колесам разных бортов и осей, должно быть рациональным. Еще более сложной задачей перераспределения мощности по двигателям становится при возрастании количества двигателей [4, 5].

В работе [6] рассмотрены условия перераспределения подводимой мощности между ведущими колесами полноприводных колесных машин, обеспечивающие снижение потерь мощности и достижение максимума тяговых возможностей за счет индивидуального силового привода колес при движении по деформируемой грунтовой поверхности.

В работе [7] описываются алгоритмы распределения мощности, подводимой к колесам полноприводных автомобилей, и рассмотрены два варианта алгоритма управления движением: движение с минимальными затратами мощности (обеспечение экономичного режима движения в заданных условиях) и движение с максимальными сцепными свойствами (обеспечение высокой проходимости в заданных условиях).

Однако для практической реализации вышеперечисленных алгоритмов требуется знание коэффициента сопротивления качению от вертикальной нагрузки, типа опорного основания, что затруднительно в изменяющихся внешних условиях движения.

Несмотря на то, что данной проблеме посвящены многочисленные исследования как отечественных, так и зарубежных исследователей, анализ теоретических и практических разработок показал, что в настоящее время не существует единых критериев оценки схем трансмиссий и законов распределения мощности как по ведущим колесам, так и гусеничным двигателям.

Алгоритмы управления моторно-трансмиссионными установками (МТУ) ВГМ с механическими и гидромеханическими трансмиссиями во всех аспектах хорошо отработаны, в том числе и системы автоматического управления переключением передач.

Электромеханические трансмиссии (ЭМТ) с гибридной силовой установкой (ГСУ) в силу своей специфики требуют особого алгоритма управления, и, прежде всего, значительно большей автоматизации практически всех режимов работы трансмиссии и ГСУ.

Рассматриваемая система управления двухуровневая: первый уровень обеспечивает формирование команд и контроль для осуществления всех режимов работы ЭМТ, встречающихся в эксплуатации ВГМ; второй уровень включает совокупность подсистем управления отдельными агрегатами ЭМТ и ГСУ в соответствии с командами системы первого уровня и признаками текущего состояния.

Задачей данной статьи является описание структуры и алгоритма функционирования системы первого уровня.

Принципиальная структурная схема управления ЭМТ с последовательными потоками энергии приведена на рисунке, где использованы следующие обозначения: ТД – тепловой двигатель; РГ – редуктор генератора; Г – генератор; ЭД1, ЭД2 – тяговые электродвигатели;

МП – механическая передача (механические узлы силовой части трансмиссии); ВК – ведущее колесо; НЭ – накопители энергии; ПВА – электропривод вспомогательных агрегатов; СУМТУ – система управления МТУ; СУЭА – система управления электрическими агрегатами; ГСУМ – гидросистема управления и смазки; ОУД – органы управления движением; В – механик-водитель.

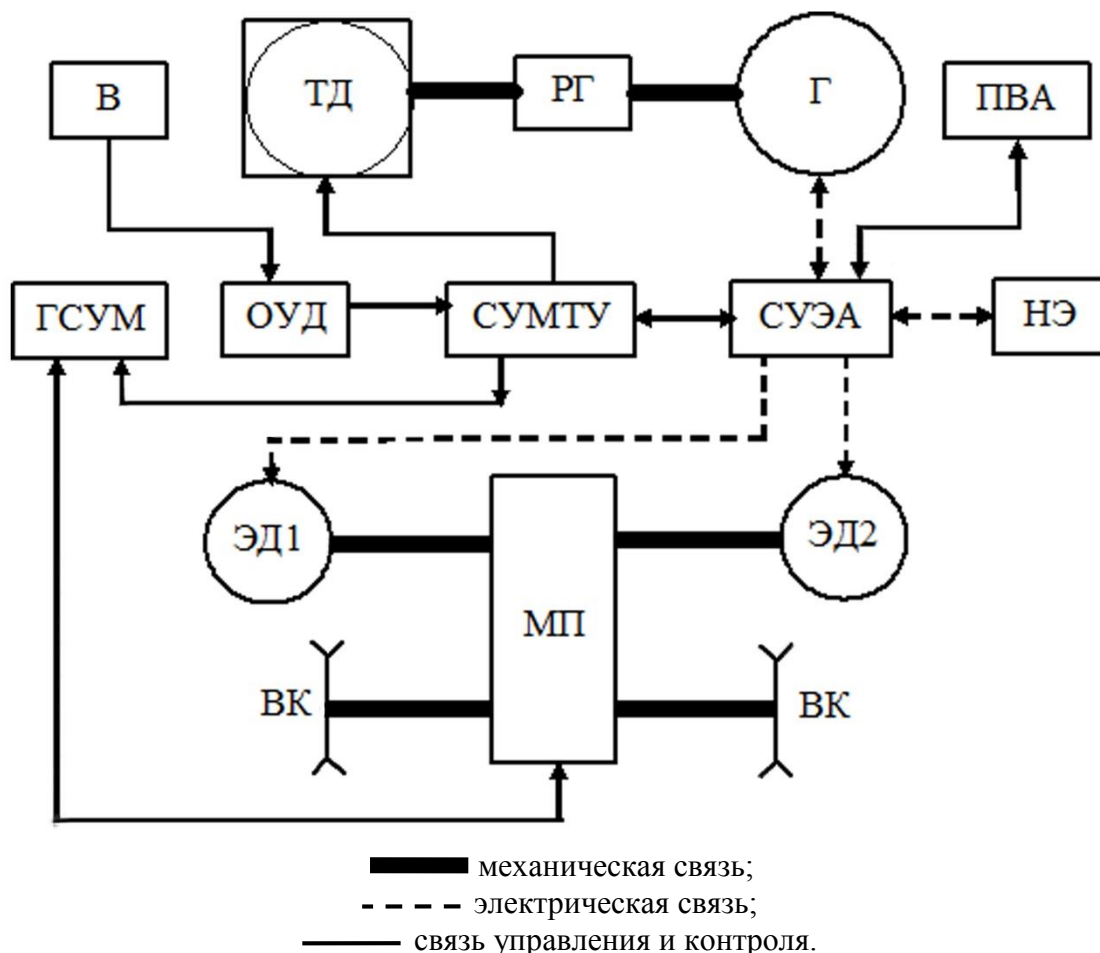


Рисунок 1. Структурная схема системы управления ЭМТ, выполненной по схеме с последовательными потоками энергии (составлено автором)

Все узлы и агрегаты ЭМТ и ГСУ управляются СУМТУ, которая должна обеспечивать следующие режимы работы: подготовка ЭМТ и ГСУ к работе; пуск и остановка теплового двигателя; установка направления движения ВГМ при нулевой скорости вращения; управление агрегатами гидросистемы управления ЭМТ; управление тепловым двигателем на экономичном и форсированном режимах его работы; работа ЭМП на «Нейтрали», включая и заряд НЭ; включение любого диапазона в коробке диапазонов (КД) при нулевой скорости движения; переключение диапазонов в КД в процессе движения по команде водителя; разгон на переднем и заднем ходу с экономичным и форсированным режимами работы теплового двигателя; прямолинейное движение ВГМ с заданной скоростью, включая и с зарядом НЭ; снижение скорости движения ВГМ на переднем и заднем ходу без торможения электродвигателями (выбег) и с рекуперативным торможением; поворот ВГМ при любой скорости движения на переднем или заднем ходу; поворот ВГМ на месте вокруг центра масс; индикация параметров текущего режима работы агрегатов ЭМТ и ГСУ; диагностика технического состояния ЭМТ и ГСУ.

Функционирование СУМТУ заключается в формировании команд и признаков режимов работы по определенным алгоритмам в зависимости от сигналов средств измерения,

установленных в МТУ или на органах управления движением. Органами управления движением являются:

- педаль управления скоростью движения машины с датчиком перемещения и кнопкой «клик-даун» в конце хода;
- штурвал управления поворотом машины с датчиком перемещения;
- тормозная педаль с датчиком перемещения;
- переключатели реверса (направления движения), номера диапазона в КД, режимов работы теплового двигателя и накопителей энергии;
- кнопка выбора режима работы индикации текущих показателей работы ЭМТ и ГСУ.

В ЭМТ и ГСУ установлены следующие средства измерения:

- датчик частоты вращения вала теплового двигателя, n_{td} ;
- датчик частоты вращения левого n_1 и правого n_2 вала электродвигателя;
- датчик частоты вращения левого $n_n = n_3$ и правого $n_n = n_4$ выходного вала ЭМТ;
- датчики текущего положения органов управления (ε_{kd} – номер включенного диапазона; ε_{db} – направление движения машины; ε_{zv} – режим работы насосов гидросистемы; ε_{td} – режим работы теплового двигателя; ε_{HE} – режим работы накопителей энергии; α_d – положение педали управления скоростью прямолинейного движения; α_n – положение штурвала управления поворотом машины; α_t – положение тормозной педали; α_{kd} – положение кнопки «клик-даун»);
- датчики напряжения генератора U_g и электродвигателей U_1 и U_2 ;
- датчики силы тока генератора I_g и электродвигателей I_1 и I_2 ;
- датчики текущего состояния накопителей энергии (α_{en} – степень заряда емкостных накопителей (ЕН); α_{ab} – степень заряда аккумуляторных батарей (АБ));
- датчики давления масла в гидросистеме управления $P_{ypr 0}$ и в системе смазки P_{sm} ;
- датчики давления масла в бустерах i -х фрикционных узлов КД $P_{ypr i}$;

- датчики температуры масла и охлаждающей жидкости T_i ;
- сигнализатор засоренности масляного фильтра ε_{fil} .

В СУЭМТ режимы работы и текущее состояние отдельных узлов ЭМТ и ГСУ формализуются с помощью следующих признаков:

ε_{kd} – номер включенного диапазона в КД;

$\varepsilon_{гв}$ – признак работы гидросистемы ($\varepsilon_{гв} = 0$ – гидросистема не работает; $\varepsilon_{гв} = 1$ – гидросистема работает);

ε_{nd} – признак переключения диапазонов в процессе движения ($\varepsilon_{nd} = 0$ – переключение не требуется; $\varepsilon_{nd} = 1$ – необходимо переключать на номер ниже; $\varepsilon_{nd} = 2$ – необходимо переключать на номер выше);

β_1, β_2 – признак режима работы электродвигателя ($\beta_i = 0$ – режим холостого хода; $\beta_i = 1$ – номинальный режим двигателя; $\beta_i = 2$ – максимальный режим двигателя; $\beta_i = -1$ – режим генератора);

δ_1, δ_2 – признак направления вращения вала электродвигателя ($\delta_i = 1$ – прямой ход; $\delta_i = -1$ – обратный ход);

ε_g – признак режима работы генератора ($\varepsilon_g = 0$ – режим холостого хода; $\varepsilon_g = 1$ – нагрузочный режим; $\varepsilon_g = 2$ – стартерный режим);

ε_{HE} – признак работы НЭ ($\varepsilon_{HE} = 0$ – НЭ отключены; $\varepsilon_{HE} = 1$ – НЭ включены на разряд; $\varepsilon_{HE} = 2$ – НЭ включены на заряд); в том числе:

ε_{en} – признак работы ЕН ($\varepsilon_{en} = 0$ – ЕН отключены; $\varepsilon_{en} = 1$ – ЕН включены на разряд; $\varepsilon_{en} = 2$ – ЕН включены на заряд);

ε_{ab} – признак работы АБ ($\varepsilon_{ab} = 0$ – АБ отключены; $\varepsilon_{ab} = 1$ – АБ включены на разряд; $\varepsilon_{ab} = 2$ – АБ включены на заряд);

ε_{td} – признак режима работы теплового двигателя ($\varepsilon_{td} = 0$ – двигатель остановлен; $\varepsilon_{td} = 1$ – подготовка двигателя к пуску; $\varepsilon_{td} = 2$ – пуск двигателя и подготовка его к работе под нагрузкой; $\varepsilon_{td} = 3$ – работа двигателя в автоматическом режиме).

В алгоритме СУМТУ параметры α_d , α_n и α_t используются как относительные величины, отнесенные к максимальному ходу органа управления.

Для управления подачей топлива в тепловой двигатель используется условное положение рейки топливного насоса α_r , характеризующее текущую регуляторную характеристику ($\alpha_r = 0$ – крайняя левая регуляторная характеристика; $\alpha_r = 1$ – двигатель работает на предельной правой характеристике).

Для управления режимами работы ЭМТ используются требуемые значения частоты вращения валов электродвигателей n_{1k} и n_{2k} , об./мин.

Величины n_{1k} и n_{2k} в СУМТУ вычисляются непрерывно по следующим зависимостям:

- при прямолинейном движении ($\alpha_n < 0,02$)

$$n_{1k} = n_{2k} = \alpha_d \cdot n_{ed \max};$$

- при криволинейном движении ($\alpha_n > 0,02$ и $\alpha_d > 0,01$)

для первого электродвигателя ($i = 1$)

$$\left\{ \begin{array}{l} n_{11}, \text{ если } |n_{11}| \leq n_{ed \max} \text{ и } |n_{12}| \leq n_{ed \max}; \\ n_{1k} = n_{12}, \text{ если } |n_{11}| \leq n_{ed \max} \text{ и } |n_{12}| > n_{ed \max}; \\ n_{ed \max} \cdot \text{sign}(n_{12}), \text{ если } |n_{12}| > n_{ed \max}; \end{array} \right.$$

для второго электродвигателя ($i = 2$)

$$\left\{ \begin{array}{l} n_{21}, \text{ если } |n_{21}| \leq n_{ed \max} \text{ и } |n_{11}| \leq n_{ed \max}; \\ n_{2k} = n_{22}, \text{ если } |n_{21}| \leq n_{ed \max} \text{ и } |n_{11}| > n_{ed \max}; \\ n_{ed \max} \cdot \text{sign}(n_{21}), \text{ если } |n_{21}| > n_{ed \max}; \end{array} \right.$$

- при повороте вокруг центра масс ($\alpha_n > 0,02$ и $\alpha_d < 0,01$)

$$n_{ik} = (2i - 3) \cdot \alpha_n \cdot n_{ed \max},$$

где: i – номер электродвигателя; j – номер диапазона; c_{nj} – кинематический коэффициент; $n_{ed \max}$ – максимальная частота вращения вала электродвигателя, об./мин;

$$n_{i1} = \alpha_d \cdot \varepsilon_{db} \cdot n_{ed \max} \cdot [1 + (2i - 3) \cdot C_n \cdot f(\alpha_n)];$$

$$n_{i2} = \alpha_d \cdot n_{ed \max} \cdot [1 + (2i - 3) \cdot C_n \cdot f(\alpha_n)] / [1 - (2i - 3) \cdot C_n \cdot f(\alpha_n)];$$

ε_{db} – сигнал датчика направления движения ($\varepsilon_{db} = 1$ при движении вперед, $\varepsilon_{db} = -1$ при движении назад); C_n – кинематический коэффициент ЭМТ при повороте;

$$C_n = (2 \cdot p_{ds} + 1) \cdot \text{sign } \alpha_n;$$

P_{ds} – параметр планетарного ряда дифференциальной связи бортов в ЭМТ; $f(\alpha_n)$ – передаточная функция штурвала.

В качестве $f(\alpha_n)$ может быть принята зависимость

$$f(\alpha_n) = B \cdot \alpha_n^2 / (2 \cdot R_{\min j}),$$

где B – колея машины, м; $R_{\min j}$ – минимальный теоретический радиус поворота, реализуемый на j -м диапазоне, м.

Управление электродвигателями заключается в регулировании их токов и напряжений, которое осуществляет СУЭА по сигналам СУМТУ. Управление каждым электродвигателем осуществляется независимо друг от друга и должно обеспечивать равенство текущих n_i и требуемых n_{ik} значений частот вращения с точностью использования средств измерений (до 0,5% или с точностью ± 10 об./мин, если 0,5% менее 10 об./мин) вне зависимости от изменения нагрузок на валах электродвигателей.

Если равенство текущих и требуемых частот вращения с заданной точностью не обеспечивается при разгоне ($n_i < n_{ik}$ и $|\alpha_n| < 0,02$), то СУЭА должна обеспечить работу электродвигателей на номинальной (если $\alpha_{kd} = 0$) или максимальной (если $\alpha_{kd} = 1$) внешней характеристике. В последнем случае по команде $\varepsilon_{HE} = 1$ СУЭА должна подключить накопители энергии.

Стадия выбега, или режим снижения скорости движения без торможения, определяется по условию $n_i > n_{ik}$, $\alpha_t < 0,01$ и $|\alpha_n| < 0,02$. При наступлении этой стадии движения СУЭА снимает напряжение с обоих электродвигателей на период выполнения стадии выбега.

Режим электродинамического торможения машины должен реализовываться при нажатии на педаль тормоза, т.е. при $\alpha_t > 0,01$. При этом СУЭА переводит работу электродвигателей в генераторный режим по команде $\delta_i = -1$, задает режим заряда НЭ по команде $\varepsilon_{en} = 2$ и $\varepsilon_{ab} = 2$ и снимает напряжение с генератора по команде $\varepsilon_s = 0$ (питание привода ПВА при этом осуществляется за счет энергии электродвигателей). Значение мощности N_t , вырабатываемой при торможении электродвигателей, определяется положением педали тормоза α_t

$$N_t = (N_{HEТ} + N_{BA}) / \eta_{ed},$$

где: N_{HET} – мощность, идущая на заряд НЭ, кВт; N_{BA} – текущее значение мощности, необходимой для ПВА, кВт; η_{ed} – текущее значение КПД электродвигателя;

$$\left| \begin{array}{l} N_{\text{HET max}} \cdot \alpha_t / 0,3, \text{ если } \alpha_t \leq 0,30; \\ N_{\text{HET}} = N_{\text{HET max}}, \text{ если } \alpha_t > 0,30. \end{array} \right.$$

Энергия торможения распределяется СУЭА между НЭ в соответствии с их текущей степенью заряда α_{en} и α_{ab} . На весь период торможения тепловой двигатель автоматически переходит на режим холостого хода.

При повороте машины с ЭМТ бортовой схемы [1] управление электродвигателями осуществляется по особому алгоритму. Условием такого режима является $|\alpha_n| > 0,02$ и $\alpha_d > 0,01$.

На стадии входа в поворот, когда $n_i \neq n_{\text{ik}}$, СУЭА обеспечивает работу электродвигателя на забегающем борту по команде $\beta_i = 1$ на максимальной внешней характеристике, а электродвигатель на отстающем борту переводится в режим электродинамического торможения по команде $\beta_i = -1$. При крутых поворотах электродвигатель отстающего борта при достижении нулевой скорости вращения переводится в активный режим по команде $\beta_i = 1$ и $\delta_i = -1$ с реверсом.

При достижении заданного параметром α_n режима поворота, т.е. равенства с требуемой точностью значений n_i и n_{ik} , СУЭА поддерживает этот режим вне зависимости от изменения внешней нагрузки.

При выходе из поворота электродвигатель забегающего борта переводится в режим электродинамического торможения по команде $\beta_i = -1$, а электродвигатель отстающего борта в тяговый режим по команде $\beta_i = 1$. Если в начале выхода из поворота электродвигатель работал в режиме реверса, то до перехода через ноль частоты вращения на нем устанавливается режим холостого хода $\beta_i = 0$. Условием выхода из поворота является $n_1 = n_2$ при $|\alpha_n| < 0,02$.

Режим поворота вокруг центра масс выполняется при задании $|\alpha_n| > 0,02$ и $\alpha_d \leq 0,01$. При этом в ЭМТ должен быть включен первый или второй диапазон. Пока $n_i < n_{\text{ik}}$ СУЭА обеспечивает работу обоих электродвигателей на номинальной внешней характеристике с направлением вращения валов, определяемым направлением поворота (по знаку α_n). При выходе из поворота СУЭА переводит работу электродвигателей в режим электродинамического торможения $\beta_i = -1$.

Работа СУМТУ в процессе пуска теплового двигателя и подготовки его к работе под нагрузкой зависит от применяемого двигателя и может быть полностью или частично автоматизирован. При этом общим является:

- перед пуском должна быть выполнена работа по включению гидросистемы управления и смазки по команде $\varepsilon_{cy} = 1$;
- пуск двигателя осуществляется генератором по команде $\varepsilon_{td} = 1$ и $\varepsilon_s = 2$, работающего в режиме стартера до разгона двигателя до частоты вращения вала устойчивой работы на холостом ходу $n_{xx \min}$, т.е. до выполнения условия $n_{td} = n_{xx \min}$;
- после выполнения всех работ по подготовке двигателя к работе под нагрузкой СУМТУ формирует сигнал $\varepsilon_{td} = 3$, согласно которому генератор может работать в нагрузочном режиме, снимается запрет на заряд НЭ и питание ПВА, а СУМТУ переходит в автоматический режим управления двигателем.

Автоматический режим управления двигателем может быть двух видов: экономичный (основной $\alpha_{kd} = 0$) и форсированный (кратковременный $\alpha_{kd} = 1$). При экономичном режиме работы в СУМТУ постоянно определяется мощность генератора N_g , необходимая для текущей работе электроагрегатов, и требующаяся мощность теплового двигателя N_{td}

$$N_{td} = N_g / \eta_g,$$

где η_g – КПД генератора на текущем режиме работы.

По величине N_{td} определяется частота вращения вала двигателя n_{tdk} по аналитической зависимости, описывающей принятый вариант управления тепловым двигателем [2]

$$n_{tdk} = f(N_{td}).$$

Если фактическое текущее значение частоты вращения вала двигателя $n_{td} < n_{tdk}$, то выдается команда α_q на увеличение подачи топлива, если $n_{td} > n_{tdk}$ – то на уменьшение, если $n_{td} = n_{tdk}$ – подача топлива не изменяется.

При форсированном режиме работы ($\varepsilon_{td} = 3$ и $\alpha_{kd} = 1$) СУЭА переводит работу электродвигателей по максимальной внешней характеристике ($\beta_i = 2$), подключается дополнительное питание электродвигателей от НЭ ($\varepsilon_{en} = 1$ и $\varepsilon_{ab} = 1$), а управление подачей топлива в двигатель производится в зависимости текущего значения частоты вращения валов электродвигателей

$$n_{ed} = (n_1 + n_2) / 2.$$

Если $n_{ed} < n_{edn} / k_f$, то система управления переводит подачу топлива в положение

$$\alpha_q = \alpha_{q \min} + k_f \cdot (\alpha_{q \max} - \alpha_{q \min}) \cdot n_{ed} / n_{edn},$$

где: $\alpha_{q \min}, \alpha_{q \max}$ – значения подачи топлива, соответствующие работе на крайне левой и крайне правой регуляторной характеристике при принятом варианте управления тепловым двигателем; n_{edn} – номинальная частота вращения вала электродвигателя, об/мин; k_f – коэффициент форсирования режима; $k_f \approx 1,3$ (может уточняться в зависимости от параметров ГСУ).

Если $n_{ed} \geq n_{edn} / k_f$, то система управления удерживает подачу топлива при крайне правой регуляторной характеристике, пока $\alpha_{kd} = 1$.

Форсированный режим управления прекращается, если кнопка «кик-даун» выключается, т.е. устанавливается $\alpha_{kd} = 0$, и управление переходит на экономичный режим.

Для глушения теплового двигателя по команде $\varepsilon_{id} = 0$ СУЭА снимает нагрузку с генератора, производится подготовка двигателя к остановке и остановка его. По алгоритму работы гидросистемы ЭМТ выключаются ее маслonaсосы ($\varepsilon_{sv} = 0$).

При подаче водителем с помощью ОУД сигнала $\varepsilon_{HE} = 1$ СУМТУ определяет текущую степень заряда ЕН и АБ. Если степень заряда ЕН $\alpha_{en} > \alpha_{en0}$, то выдается признак $\varepsilon_{en} = 1$. Если степень заряда АБ $\alpha_{ab} > \alpha_{ab0}$, то выдается признак $\varepsilon_{ab} = 1$. Величины α_{en0} и α_{ab0} – степень максимального заряда ЕН и АБ соответственно, которые можно принять равными $\alpha_{en0} = 0,5$ и $\alpha_{ab0} = 0,75$.

Согласно признакам ε_{en} и ε_{ab} происходит подключение НЭ к питанию электродвигателей. По признакам $\beta_i = 2$, если $\varepsilon_{en} = 1$ или $\varepsilon_{ab} = 1$, электродвигатель начинает работать на максимальной внешней характеристике. Признаки $\beta_i = 2$ сохраняются до тех пор, пока $\varepsilon_{HE} = 1$ и $\alpha_{en} > \alpha_{en0}$ или $\alpha_{ab} > \alpha_{ab0}$.

При подаче водителем с помощью ОУД сигнала $\varepsilon_{HE} = 2$ СУМТУ определяет текущую загрузку теплового двигателя по частоте вращения его вала n_{td} . Если величина $n_{td} < n_{td0}$ (n_{td0} – частота вращения, соответствующая при принятом варианте управления мощности двигателя, равной 55% от максимальной), то выдается признак $\varepsilon_{en} = 2$ и $\varepsilon_{ab} = 2$, или один из

них, если один из НЭ не разряжен. По признаку $\varepsilon_{en} = 2$ и $\varepsilon_{ab} = 2$ СУЭА подключает НЭ для их заряда.

Режим заряда НЭ прекращается, и выдаются признаки $\varepsilon_{en} = 0$ и $\varepsilon_{ab} = 0$ в следующих случаях:

- частота вращения вала теплового двигателя достигает максимального значения $n_{d \max}$ и удерживается на этом значении в течение 3 с;
- произошел полный заряд НЭ, т.е. $\alpha_{en} = 1$ и $\alpha_{ab} = 1$;
- водитель снял сигнал $\varepsilon_{HE} = 2$ с помощью ОУД.

Включение электропривода маслонасосов гидросистемы ЭМТ производится по сигналу $\varepsilon_{sv} = 1$. После появления давления масла P_{sm} не менее чем через 2 с снимается запрет на пуск теплового двигателя. Выключение электропривода маслонасосов производится по сигналу $\varepsilon_{sv} = 0$, который подается водителем не ранее 5 с после остановки теплового двигателя.

Включение диапазона в КД и направления движения машины производится на стоянке по сигналам ε_{kd} и ε_{db} , которые подает водитель через ОУД. По сигналу ε_{kd} СУМТУ подает команду на включение электромагнитов гидросистемы заданного диапазона (включение «Нейтрали» соответствует сигналу $\varepsilon_{kd} = 0$).

Переключение диапазонов в КД при движении возможно по команде водителя с помощью признака ε_{nd} и только при прямолинейном движении, т.е. при условии $|\alpha_n| < 0,02$. Если это условие не выполняется, то процесс переключения задерживается на время поворота.

СУМТУ по признаку ε_{nd} производит переключение диапазонов по специальному алгоритму, включающему синхронизацию частот вращения входных и выходных звеньев КД путем специального управления электродвигателями и регулирования давления масла в бустерах при включении фрикционных узлов.

Выводы

1. Представлены необходимые органы управления и датчики, используемые для организации управления движением ВГМ с ЭМТ и ГСУ.

2. Разработаны алгоритмы управления основными агрегатами ЭМТ и ГСУ при движении ВГМ на установившихся и переходных режимах. Представленный алгоритм управления является основой для проектирования электронной системы управления моторно-трансмиссионной установки (МТУ) с электромеханической трансмиссией (ЭМТ). Изготовленный опытный образец системы управления ЭМТ, выполненный по бортовой схеме с дифференциальной связью бортов и работающий с тепловым двигателем мощностью 1109 кВт, был протестирован на имитационном макете МТУ и показал нормальное функционирование на всех основных режимах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. О.А. Усов, М.Н. Гусев, Г.С. Белоутов, Р.Н. Корольков, А.В. Лойко. Основные варианты схемы электромеханической трансмиссии гибридного типа и методика определения параметров ее агрегатов для военных гусеничных машин / Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды семнадцатой Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (1 - 4 апреля 2014 г.) Т.3. Бронетанковая техника и вооружение. М.: РАРАН, 2014. С. 111-122.
2. О.А. Усов, А.В. Лойко. Основные варианты управления дизельным двигателем военных гусеничных машин с электромеханической трансмиссией. Труды XXXV Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий, посвященной 70-летию Победы. г. Миасс Челябинской обл. 2015 г.
3. Горелов В.А., Жилейкин М.М., Ловцов А.Н., Шинкаренко В.А. Закон управления с функцией систем активной безопасности для электромеханических трансмиссий многоосных колесных машин // Известия вузов. Машиностроение (М.). – 2013. – №9. – С. 56-66.
4. Горелов В.А., Котиев Г.О., Мирошниченко А.В. Синтез системы управления тяговыми электродвигателями для индивидуального привода ведущих колес автомобиля [Электронный ресурс] // Электрон. журн. «Наука и образование: электронное научно-техническое издание». 2011. Выпуск 12, №77–30569/282533 – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/282533.html>, свободный.
5. Патент 2 426 660 RU МПК В 60 L 15/20, Н 02 Р 5/46 «Способ управления многоприводной электрической трансмиссией многоосной колесной машины» // Шеломков С.А., Купреянов А.А. // Опубликовано 20.08.2011, бюл. №23.
6. Маляревич В.Э., Эйдман А.А., Прочко В.И. Повышение эксплуатационных свойств полноприводных автомобилей за счет индивидуального силового привода колес // Журнал автомобильных инженеров, №5 (34), 2005. – С. 30 – 33.
7. Плиев И.А., Сайкин А.М., Коршунов Г.В., Архипов А.В. Алгоритмы управления мощностями, подводимыми к колесам полноприводных автомобилей // Журнал автомобильных инженеров, №3 (74), 2012. – С. 16–18.
8. Горелов В.А., Котиев Г.О., Мирошниченко А.В. Алгоритм управления индивидуальным приводом колесных движителей транспортных средств // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. – 2011. – Специальный выпуск «Энергетическое и транспортное машиностроение». – С. 39–58.
9. Esmailzadeh E., Goodarzi A., Vossoughi G.R. «Optimal yaw moment control law for improved vehicle handling». Mechatronics 13, pp. 659-675, 2003.
10. Abe M., Kano Y., Suzuki K., Shibahata Y., Furukawa Y. "Side-slip control to stabilize vehicle lateral motion by direct yaw moment". JSAE Review 22, pp. 413-419, 2001.

Usov Oleg Aleksandrovich

Public joint-stock company Russian Mobile_Vehicle Engineering_Institute, Russia, Saint Petersburg
E-mail: usov496@mail.ru

The control algorithm for electromechanical transmission with hybrid powerplant

Abstract. The article discusses the functionality of the control system of the engine-transmission unit with electromechanical transmission, its structure and modes of military tracked vehicle, which it provides.

A list of parameters and controls, tools, and rhenium-measurable signs of forming modes, and the current state of the electromechanical transmission and hybrid power plant.

The description of the heat engine control algorithms, traction motors, energy storage, hydraulic transmission in the start-up mode and the engine is stopped, the acceleration and deceleration of the machine, turn the machine on the move and on the site, switching speed ranges, as well as the management of the heat engine in motion, providing his work on economical and forced modes.

The analytical dependence used in the algorithm of electronic control units electromechanical transmission and hybrid power plant.

The description and results of experimental studies of prototype electro-mechanical transmission control system, made on-board circuit with differential connection beads and the heat-sexually engine producing 1109 kW.

The developed algorithm allows to distribute energy efficient power flows in the transmission units in various driving modes.

Keywords: electromechanical transmission; hybrid powerplant; military tracked vehicle; control algorithm; operating control

REFERENCES

1. O. Usov, M. Gusev, G. Beloutov, R. Korolkov, A. Loyko. The main options of the scheme of hybrid electromechanical transmission and the method of determining parameters of its units for military tracked vehicles. RPC of Special materials. Proceedings of 17th All-Russian conference Armored vehicles and armament. Volume 3. 2014.
2. O. Usov, A. Loyko. The main options for engine control of caterpillar military vehicles with electromechanical transmission // Proceedings of XXXV All-Russian conference on problems of science and technology, devoted to the 70 anniversary of the Victory. Miass, Chelyabinsky region. 2015.
3. Горелов В.А., Жилейкин М.М., Ловцов А.Н., Шинкаренко В.А. Закон управления с функцией систем активной безопасности для электромеханических трансмиссий многоосных колесных машин // Известия вузов. Машиностроение (М.). – 2013. – №9. – С. 56-66.
4. The V.A. Gorelov, Kotiyev G.O., A.V. Miroshnichenko Synthesis of control traction motor for individual drive vehicle wheels [Electronic resource] // Electronics. Zh. "Science and education: e-science and technology publication." 2011. Issue 12, №77-30569 / 282533 - Access: <http://technomag.edu.ru/doc/282533.html>, free.
5. Patent 2426660 RU IPC B 60 L 15/20, H 02 P 5/46 «A method of controlling a multi-axis multidrive electric powertrain co-forest machines» // Shelomkov S.A., A.A. Kupreyanov // Posted 20.08.2011, Bull. №23.
6. Malyarevich V.E., Eydman A.A. Prochko V.I. Increased exploitation-insulation properties wheel drive vehicles by individual B-mal drive wheels // Journal of Automotive Engineers, №5 (34), 2005. - P. 30 - 33.
7. Pliev I.A. Saykin A.M., Korshunov G.V. Arkhipov A.V. Algorithms Capacity Management delivered to the wheels, all-wheel drive for car Biley // Journal of Automotive Engineers, №3 (74), 2012. - P. 16-18.
8. Gorelov V.A. Kotiyev G.O., A.V. Miroshnichenko Power Management Algorithm-of an individual drive wheel propulsion vehicles // Vestnik MSTU. NE Bauman. Mechanical Engineering. - 2011. - Spezial-tion issue of "Energy and transport engineering." - S. 39-58.
9. Esmailzadeh E., Goodarzi A., Vossoughi G.R. «Optimal yaw moment control law for improved vehicle handling". Mechatronics 13, pp 659-675, 2003.
10. Abe M., Kano Y., Suzuki K., Shibahata Y., Furukawa Y. "Side-slip control to stabilize vehicle lateral motion by direct yaw moment". JSAE Review 22, pp. 413-419, 2001.