

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТРЕХПОТОЧНОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

К.Т.Н. Падалкин Б.В., К.Т.Н. Стадухин А.А.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
ant.m9@ya.ru

Одним из серьезных недостатков электромеханических трансмиссий, сдерживающий их широкое применение на гусеничных машинах, является большой вес электродвигателей и накопителей энергии. В статье приводится схема трехпоточной трансмиссии с минимальным количеством электромашин, необходимым для обеспечения бесступенчатого разгона и поворота и с обязательным применением двигателя внутреннего сгорания и электрического накопителя. Уменьшение числа электромашин достигается за счет использования одних и тех же машин в качестве тяговых электродвигателей и генераторов в зависимости от режима работы. При этом подразумевается, что при движении со скоростями ниже средней, электромашины должны работать в качестве генератора, выше средней – в качестве тягового электродвигателя. Трансмиссия позволяет движение без использования электрических машин, но с пониженными эксплуатационными качествами. В статье рассмотрены пять режимов работы трансмиссии, определены удельные тяговые и мощностные характеристики для этих режимов. Учтены особенности использования кратковременных и длительных характеристик электрических машин в двигательном режиме. Обосновано применение двигателя внутреннего сгорания не только в номинальном режиме, но и в режиме максимальной мощности. Приведена и обоснована методика выбора передаточных чисел трансмиссии, характеристик двигателя внутреннего сгорания и электрических машин. Выполнен расчет для гусеничного транспорта сверхлегкой массовой категории. Приведено описание режимов рекуперативного торможения доступных трансмиссий, а также описание режима зарядки накопителя при стоянке. Обозначены научные проблемы оценки эффективности трансмиссии, необходимости исследования поворота гусеничной машины, в которую она установлена, разработки алгоритмов верхнего уровня для ее управления.

Ключевые слова: гусеничные машины, электромеханическая трансмиссия, планетарные механизмы, тяговый электродвигатель, энергоэффективность.

Введение

В составе гусеничной машины (ГМ) присутствует источник энергии (обычно в виде двигателя внутреннего сгорания – ДВС) и механические передачи – коробка переключения скоростей, механизм поворота, бортовые редукторы. Гусеничная машина с параллельной электромеханической трансмиссией (ЭМТ) дополнительно должна обладать такими тяжелыми и громоздкими элементами, как электрогенератор, тяговые электродвигатели и накопитель электрической энергии. Поэтому ГМ с ЭМТ всегда окажется тяжелее и сложнее аналога с механической трансмиссией, что может сделать использование тягового электропривода нецелесообразным.

В [1] проведен анализ схем последовательных ЭМТ, в которых используются от 3 до 4 электрических машин (при условии приме-

нения ДВС-генератора). Даже в параллельных ЭМТ [2] обычно применяется не менее 3 электромашин (ЭМ). При этом каждая из ЭМ в данных схемах обладает мощностью, не уступающей мощности ДВС, а значит является тяжелой и дорогостоящей.

Для увеличения эффективности в транспортных средствах с ЭМТ часто применяются параллельные схемы, где одна и та же ЭМ может применяться в качестве двигателя или генератора в зависимости от скорости и режима езды [3, 4].

Улучшения массо-габаритных характеристик ЭМТ можно добиться, сократив количество используемых электрических машин и их мощность за счет применения рациональной схемы, использования одних и тех же ЭМ в качестве двигателя и генератора. Так ЭМТ, изо-

браженная на рис. 1, содержит лишь две ЭМ, что является минимальным числом для обеспечения бесступенчатого поворота ГМ. При прямолинейном движении ГМ схема может обеспечить 5 режимов работы (таб. 1).

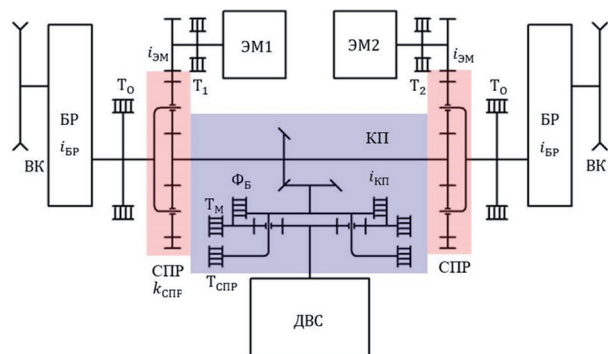


Рис. 1. Кинематическая схема трансмиссии:

ДВС – двигатель внутреннего сгорания, КП – коробка передач, ЭМ1 и ЭМ2 – электромашины, СПР – суммирующий планетарный ряд, БР – бортовой редуктор, ВК – ведущее колесо, T_1 и T_2 – тормоза электромашин, $T_{СПР}$ – тормоз вала эпициклов СПР, T_M – тормоз медленной ступени КП, Φ_B – фрикцион быстрой ступени КП, T_0 – остановочные тормоза

Таблица 1

Режимы электромеханической трансмиссии

Название режима	Включенные элементы управления	Источники энергии
ТЭД1	$T_{СПР}$	Батарея
Гибрид1	T_M	Батарея, ДВС
Гибрид2	M_B	Батарея, ДВС
ДВС1	T_M, T_1, T_2	ДВС
ДВС2	M_B, T_1, T_2	ДВС

Режим ТЭД1 допускает движение только с использованием энергии батареи. Режимы Гибрид1 и Гибрид2 позволяют заряжать накопитель на низких скоростях ГМ и потреблять энергию накопителя на высоких, при этом ДВС работает на фиксированной частоте вращения выходного вала. Режимы ДВС1 и ДВС2 обеспечивают движение за счет мощности ДВС и без существенного потребления электроэнергии. Поворот ГМ в этом случае возможен только с помощью тормозов T_1 , T_2 и T_0 (полностью идентично одноступенчатому планетарному механизму поворота).

Приведенная схема может обладать различными характеристиками в зависимости от выбранных параметров ДВС, ЭМ и передаточных отношений механических передач.

Цель исследований

В данной статье решалась проблема обеспечения экономичности движения с высокой средней скоростью гусеничного транспортера сверхлегкой массовой категории (например ГТ-СМ, «Ухтыш»). Параметры исследуемой ГМ приведены в таб. 2.

Таблица 2

Основные параметры исследуемой гусеничной машины

Название параметра	Значение параметра
Полная масса ГМ, m	4000 кг
Радиус ведущего колеса, $r_{ВК}$	0,3 м
Передаточное отношение бортового редуктора, $i_{БР}$	3
Конструктивный параметр СПР, $k_{СПР}$	1,5
Средняя скорость, $V_{ср}$	35 км/ч
Максимальная скорость, V_{max}	70 км/ч

Выбор параметров двигателя внутреннего сгорания

На рис. 2 (прямая 2) построен график зависимости угловой скорости вала ЭМ при прямолинейном движении ГМ с фиксированной угловой скоростью ДВС $\omega_{ДВС} = 250$ 1/с, передаточным отношением коробки передач $i_{КП2} = 1$, что соответствует режиму Гибрид2.

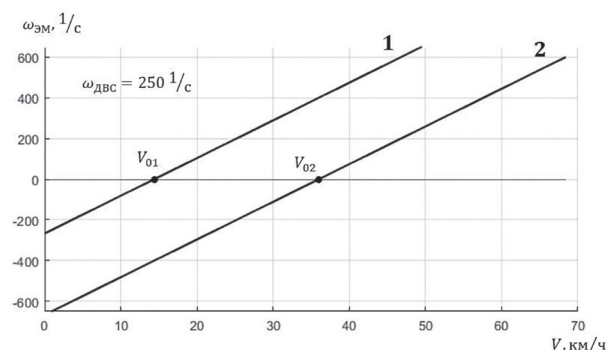


Рис. 2. Зависимости угловой скорости электромашин от скорости движения ГМ:
1 – режим Гибрид1; 2 – режим Гибрид2

При заданных параметрах на скорости $V_{02} = 36$ км/ч направление вращения вала ЭМ меняет знак. В случае разгона ГМ эта скорость

соответствует переходу ЭМ из генераторного режима в двигательный. То есть для обеспечения положительного энергобаланса при движении ГМ на наиболее вероятных скоростях необходимо выполнение соотношения $V_{02} > V_{cr}$. Если на борту ГМ нет мощных потребителей, работающих в движении (кроме ТЭД), то можно выбирать V_{02} близким к V_{cr} . Скорость V_{02} связана с другими параметрами ЭМТ следующей зависимостью.

$$V_{02} = \frac{\omega_{ДВС} \cdot r_{ВК}}{i_{БР} \cdot i_{КП2} \cdot (k_{СПР} + 1)},$$

где $i_{БР}$ – передаточное отношение коробки передач, $k_{СПР}$ – конструктивный параметр суммирующих планетарных рядов.

Так как на скорости V_{02} (рис. 2) режима Гибрид2 движение ГМ обеспечивается только ДВС, то определять его требуемую мощность следует именно в этой точке. Однако подбирать следует не максимальную мощность ДВС, а номинальную, соответствующую низкому удельному расходу топлива, малым выбросам вредных газов и высокому крутящему моменту. Например, для двигателя УМЗ 42164 подобный режим работы находится на внешней характеристике в диапазоне 2000...2500 об/мин (рис. 3).

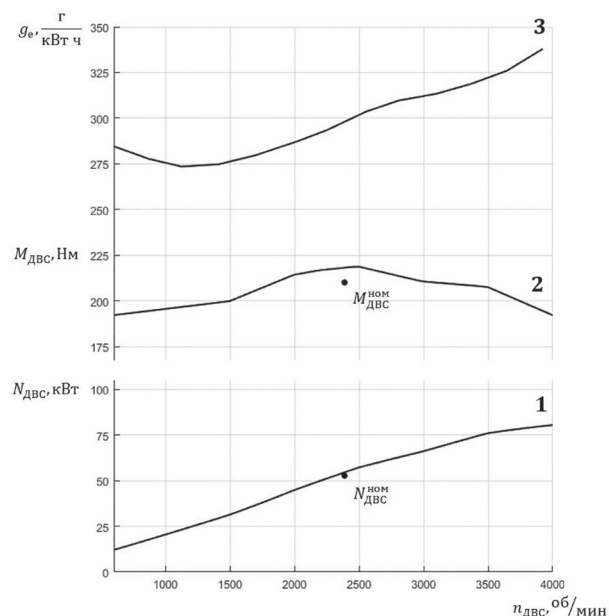


Рис. 3. Характеристики двигателя УМЗ 42164:

- 1 – мощность на внешней характеристике;
- 2 – моментная скоростная внешняя характеристика;
- 3 – удельный расход топлива на внешней характеристике

Режим Гибрид2 обеспечивает одинаковую тягу во всем диапазоне (если не учитывать потери и ограниченную мощность ЭМ), в том числе на максимальной скорости V_{max} и на скорости V_{02} . Для уверенного достижения максимальной скорости и движения в наиболее распространенных условиях необходимо иметь запас удельной тяги $f_{V_{02}} = 0,1$ [5, стр. 105]. Тогда требуемая сила тяги $P_{tV_{02}}$ в режиме Гибрид2 определяется следующим образом:

$$P_{tV_{02}} = \frac{f_{V_{02}} \cdot m \cdot g}{\eta_{гус} \cdot \eta_{тр}},$$

где $\eta_{гусV_{02}}$ – КПД гусеничного обвода на скорости V_{02} ; $\eta_{гус} = 0,95$ ($1 - 0,018 V$) [6]; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии, на данном этапе принято $\eta_{тр} = 0,96$.

Требуемая номинальная мощность, момент и угловая скорость коленчатого вала

ДВС (отмечены на рис. 3): $\omega_{ДВС}^{ном} = 250 \frac{1}{с}$;

$$N_{ДВС}^{ном} = P_{tV_{02}} \quad V_{02} = 5247 \cdot 10 = 52,47 \text{ кВт};$$

$$M_{ДВС}^{ном} = \frac{P_{tV_{02}} \cdot r_{ВК}}{i_{БР} i_{КП2} (k_{СПР} + 1)} = \frac{5247 \cdot 0,3}{3 \cdot 1(1,5 + 1)} = 209,9 \text{ Нм}.$$

Выбор параметров электродвигателей

Используя известные уравнения кинематических связей и равновесия планетарных рядов [7], получаем следующие зависимости между скоростью прямолинейного движения V , силой тяги ГМ P_t , параметрами ДВС и параметрами ЭМ для рассматриваемой ЭМТ:

$$\omega_{ЭМ} = \frac{i_{ЭМ}}{k_{СПР}} \cdot \left(\frac{V \cdot i_{БР} \cdot (k_{СПР} + 1)}{r_{ВК}} - \frac{\omega_{ДВС}}{i_{КП}} \right), \quad (1)$$

$$M_{ЭМ} = \frac{P_t \cdot k_{СПР} \cdot r_{ВК}}{2 \cdot i_{БР} \cdot i_{ЭМ} \cdot (k_{СПР} + 1)}, \quad (2)$$

$$M_{ЭМ} = \frac{M_{ДВС} \cdot i_{КП} \cdot k_{СПР}}{2 \cdot i_{ЭМ}}. \quad (3)$$

Здесь $i_{ЭМ}$ – передаточное отношение редукторов электродвигателей, $\omega_{ЭМ}$ – угловая скорость коленчатого вала ДВС, $i_{КП}$ – передаточное отношение коробки передач, $M_{ДВС}$ – момент, развиваемый ДВС.

Максимальной скорости ГМ соответствуют максимальные угловые скорости роторов электромашин. Современные тяговые электродвигатели, применяемые на транспорте, способны обеспечить эффективную работу на частоте

вращения вала более 600 1/с (рис. 4). Исходя из этого, используя выражение (1), можно подобрать передаточное отношение редуктора ЭМ:

$$i_{\text{ЭМ}} = \frac{k_{\text{СПР}} \cdot \omega_{\text{ЭМ}}}{\frac{V \cdot i_{\text{АВ}} \cdot (k_{\text{СПР}} + 1)}{r_{\text{ВК}}} - \frac{\omega_{\text{ДВС}}}{i_{\text{КП2}}}} = \frac{1,5 \cdot 630}{\frac{70 / 3,6 \cdot 3 \cdot (1,5 + 1)}{0,3} - \frac{250}{1}} \approx 4.$$

Уверенное достижение максимальной скорости ГМ обеспечивается запасом удельной тяги $f_{V_{\text{max}}} = 0,03 \dots 0,05$ [8]. Отсюда, с помощью выражения (1) и (2) вычисляется точка 1 требуемой моментной характеристики ЭМ (рис. 4):

$$M_{\text{ЭМ}}^1 = \frac{P_{V_{\text{max}}} \cdot k_{\text{СПР}} \cdot r_{\text{ВК}}}{2 \cdot i_{\text{БР}} \cdot i_{\text{ЭМ}} \cdot (k_{\text{СПР}} + 1)},$$

$$P_{V_{\text{max}}} = \frac{f_{V_{\text{max}}} \cdot m \cdot g}{\eta_{\text{Гус}} \cdot \eta_{\text{тр}}},$$

$$\omega_{\text{ЭМ}}^1 = \frac{i_{\text{ЭМ}}}{k_{\text{СПР}}} \cdot \left(\frac{V_{\text{max}} \cdot i_{\text{БР}} \cdot (k_{\text{СПР}} + 1)}{r_{\text{ВК}}} - \frac{\omega_{\text{ДВС}}}{i_{\text{КП2}}} \right).$$

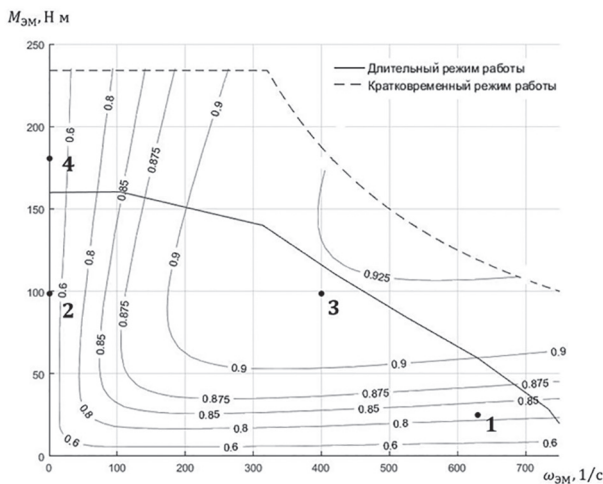


Рис. 4. Моментная скоростная характеристика электродвигателя UQM PP75:

контурные линии обозначают КПД;

1, 2, 3, 4 – требуемые точки работы двигателя

Тяга в режиме Гибрид2 может оказаться недостаточной для интенсивного разгона или поворота в тяжелых условиях. Поэтому в ЭМТ предусмотрен режим с повышенной тягой – Гибрид1, получаемый пониженной передачей в КП. Известно, что в реальных условиях веро-

ятность движения транспортной машины с потребной удельной тягой более $f_{\text{тр}} = 0,3$ крайне мала [8]. В таком случае максимальная требуемая сила тяги в режиме Гибрид1:

$$P_{\text{тр}} = \frac{f_{\text{тр}}}{\eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{Гус0}}},$$

где $\eta_{\text{Гус0}}$ – КПД гусеничного обвода на низких скоростях, $\eta_{\text{Гус0}} = 0,95$.

Для реализации тягового усилия $P_{\text{тр}}$ в режиме Гибрид1 необходимо следующее передаточное отношение коробки передач:

$$i_{\text{КП1}} = \frac{P_{\text{тр}} \cdot r_{\text{ВК}}}{i_{\text{БР}} \cdot (k_{\text{СПР}} + 1) \cdot M_{\text{ДВС}}^{\text{ном}}}.$$

При этом ЭМ должны развивать следующий момент (выражение (3), точка 2 на рис. 4):

$$M_{\text{ЭМ}}^2 = M_{\text{ДВС}}^{\text{ном}} \cdot \frac{i_{\text{КП1}} \cdot k_{\text{СПР}}}{2 \cdot i_{\text{ЭМ}}}.$$

Для обеспечения высокой подвижности ГМ желательна возможность движения с полным использованием ДВС по крайней мере до скорости V_{02} . Тогда, используя выражение (1), определяем точку 3 на моментной характеристике электродвигателя (рис. 4):

$$M_{\text{ЭМ}}^3 = M_{\text{ЭМ}}^2,$$

$$\omega_{\text{ЭМ}}^3 = \frac{i_{\text{ЭМ}}}{k_{\text{СПР}}} \cdot \left(\frac{V_{02} \cdot i_{\text{БР}} \cdot (k_{\text{СПР}} + 1)}{r_{\text{ВК}}} - \frac{\omega_{\text{ДВС}}}{i_{\text{КП1}}} \right).$$

Для рассматриваемого класса ГМ режимы движения с потребной удельной силой тяги более $f_{\text{max}} = 0,56$ (подъем 30 градусов) встречаются редко и непродолжительны. В сложных условиях движение ГМ осуществляется в режиме ТЭД1 при работе электромашин на кратковременной характеристике. Это дает возможность определить точку 4 на моментной характеристике ЭМ (рис. 4):

$$M_{\text{ЭМ}}^4 = \frac{P_{\text{max}} \cdot k_{\text{СПР}} \cdot r_{\text{ВК}}}{2 \cdot i_{\text{БР}} \cdot i_{\text{ЭМ}} \cdot (k_{\text{СПР}} + 1)},$$

$$P_{\text{max}} = \frac{f_{\text{max}}}{\eta_{\text{тр}} \eta_{\text{Гус0}}}.$$

Параметры, вычисленные по приведенным формулам, сведены в табл. 3.

Таблица 3

Вычисленные характеристики ЭМТ

Название параметра	Значение параметра
Передаточное отношение высшей передачи КП, $i_{\text{КП2}}$	1
Передаточное отношение пониженной передачи КП, $i_{\text{КП1}}$	2,5
Скорость с нулевым энергобалансом режима Гибрид2, V_{02}	10 м/с (36 км/ч)
Скорость с нулевым энергобалансом режима Гибрид1, V_{01}	4 м/с (14,4 км/ч)
Номинальная угловая скорость коленчатого вала ДВС, $\omega_{\text{ДВС}}$	250 1/с (2387 об/мин)
Номинальная мощность ДВС, $N_{\text{ДВС}}^{\text{ном}}$	52,47 кВт
Номинальный момент ДВС, $M_{\text{ДВС}}^{\text{ном}}$	210 Нм
Передаточное отношение редуктора ЭМ, $i_{\text{ЭМ}}$	4
Выбранный ДВС	УМЗ 4216
Выбранные ЭМ	2 x UQM PP75

Анализ тяговой скоростной характеристики

На рис. 5 построены удельные тяговые скоростные характеристики всех режимов ЭМТ (параметры взяты из таблиц 2 и 3). Характеристики построены для номинального режима ДВС ($\omega_{\text{ДВС}} = 250$ 1/с, $M_{\text{ДВС}} \leq 210$ Нм) и для ЭМ, работающих на внешней характеристике, но при поддержании равновесия СПР в соответствии с выражением (3).

На рис. 5 видно, что для многих скоростей движение возможно в нескольких режимах. Решение о том, какой режим выбрать для движения следует принимать исходя из текущей скорости, уровня заряда батареи и управляющего воздействия водителя, то есть необходимы специальные алгоритмы управления верхнего уровня, являющиеся темой отдельного исследования. На рис. 6 построены графики мощности для одной электромашины в режимах ТЭД1, Гибрид1 и Гибрид2. Отрицательное значение мощности ЭМ соответствует выработке электроэнергии, положительное значение – расходу.

Графики на рис. 5 и 6 демонстрируют, что с выбранными параметрами трансмиссии ГМ будет обладать высокой подвижностью в пря-

молинейном движении. При этом работа ДВС на частоте вращения близкой к номинальной обеспечит одновременно высокую экономичность. Для данной ЭМТ возможна также зарядка электрических накопителей на стоянке (например, в режиме Гибрид1 со включенными остановочными тормозами T_0).

Недостаток работы ДВС только на номинальной частоте вращения коленчатого вала заключается в том, что используется не более 60 % мощности двигателя. Вместе с этим дли-

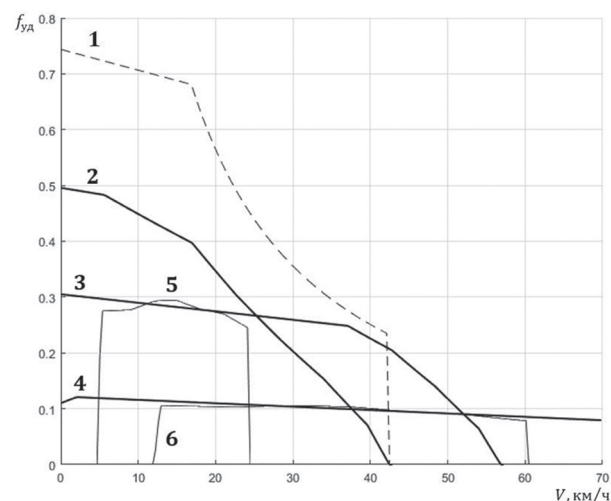


Рис. 5. Удельная тяговая характеристика ГМ с исследуемой ЭМТ:

- 1 – режим ТЭД1, кратковременная характеристика;
- 2 – режим ТЭД1, длительная характеристика;
- 3 – режим Гибрид1; 4 – режим Гибрид2;
- 5 – режим ДВС1; 6 – режим ДВС2

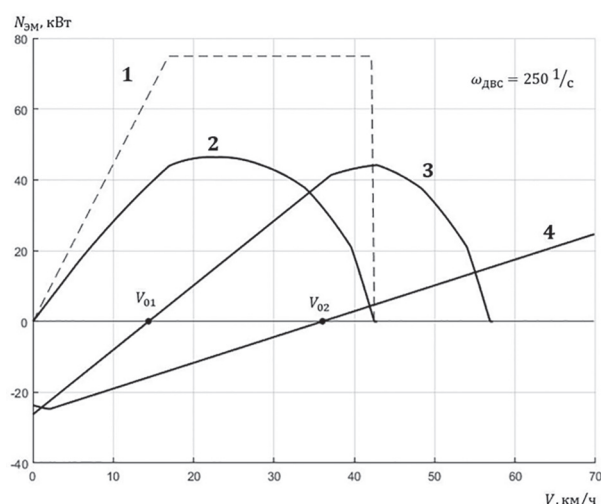


Рис. 6. Графики мощности электромашины в различных режимах ЭМТ:

- 1 – режим ТЭД1, кратковременная характеристика;
- 2 – режим ТЭД1, длительная характеристика;
- 3 – режим Гибрид1; 4 – режим Гибрид2

тельное движение в сложных условиях или на больших скоростях может привести к глубокому разряду батареи, что потребует уменьшения скорости движения ГМ. Целесообразно предусмотреть в ЭМТ режим повышенной мощности, заключающийся в выводе ДВС на повышенную частоту вращения коленчатого вала. На графике рис. 7 показана мощность ЭМ при двух различных фиксированных частотах вращения ДВС.

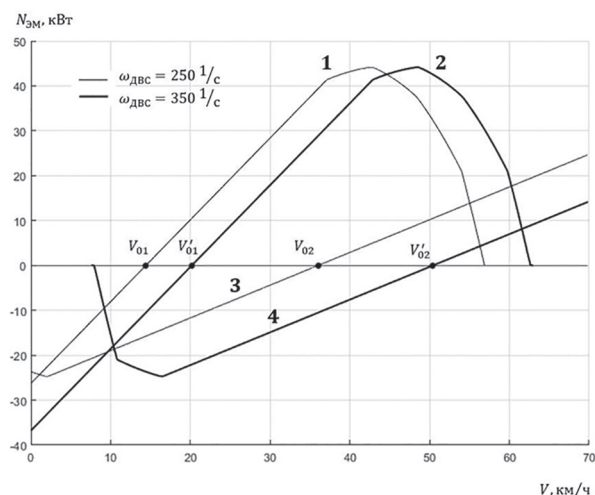


Рис. 7. Графики мощности электромашины в различных режимах ЭМТ:

- 1 – режим Гибрид1 при номинальной частоте ДВС;
- 2 – режим Гибрид1 при повышенной частоте ДВС;
- 3 – режим Гибрид2 при номинальной частоте ДВС;
- 4 – режим Гибрид2 при повышенной частоте ДВС

Как видно при работе на повышенной частоте вращения коленчатого вала ДВС, машина сможет двигаться со скоростью до 50 км/ч с одновременной зарядкой накопителя.

Рекуперативное торможение

Торможение ГМ желательно производить только с использованием электромашин, что позволит запасти энергию торможения и уменьшит износ механических тормозов. Для обеспечения максимального рекуперативного торможения рассматриваемая ЭМТ должна перейти в режим ТЭД1. При высокой мощности торможения ЭМ могут не обеспечить требуемое замедление, кроме того, большой ток заряда может уменьшить ресурс батареи. В этом случае целесообразно совместно тормозить ЭМ и механическими тормозами.

При торможении на скорости более 40 км/ч переход в режим ТЭД1 приведет к резкому увеличению угловой скорости ЭМ и элементов

СПР. Во избежание повреждения элементов ЭМТ при высоких скоростях следует тормозить на текущей передаче КП с использованием ЭМ, механических тормозов и двигателя внутреннего сгорания с отключенной подачей топлива.

Заключение

Как можно судить по представленным тяговым скоростным характеристикам предложенная методика выбора параметров ЭМТ для рассмотренной схемы позволяет получить высокую подвижность ГМ, а также следующие преимущества:

- на низких скоростях движения ДВС «догружается» электромашинами, вырабатывающими энергию для зарядки электрического накопителя;
- при высокой потребной мощности движения используется суммарная мощность ДВС и ЭМ, питающихся от электрического накопителя;
- обеспечивается бесступенчатый поворот и разгон до максимальной скорости;
- обеспечивается заряд электрических накопителей или питание внешних потребителей при стоянке;
- обеспечивается рекуперативное торможение с любой скорости.

Рациональное использование ДВС в данной ЭМТ позволит добиться высоких динамических качеств при низком расходе топлива, однако точная оценка эффективности данной ЭМТ в различных режимах является задачей отдельного исследования, так же как и разработка алгоритмов управления ЭМТ верхнего уровня (отвечающих за переключение режимов и передач).

Данная ЭМТ в повороте способна обеспечивать рекуперацию мощности с отстающего борта на забегающий как электрическим, так и механическим путем. Поворот ГМ с ЭМТ рассматриваемой схемы также нуждается в отдельном подробном исследовании.

Литературы

1. Падалкин Б.В., Харитонов С.А., Котиев Г.О. Анализ схем построения электрических трансмиссий гусеничных машин // Труды МГТУ. 2018. № 617. С. 228–244.
2. Electric Drive Study: Technical report (final) / U.S. Army Tank-Automotive Command Research, Development & Engineering Center; General Dynamics Land Systems Division. – Warren, Michigan, 1987. – 396 p.

3. Котиев Г.О., Харитонов С.А., Нагайцев М.В. Обзор кинематических схем построения гибридных трансмиссий // Журнал автомобильных инженеров. 2010. № 4 (63). С. 40–47.
4. Анализ и проектирование гибридных трансмиссий транспортных средств на основе планетарных механизмов / С.А. Харитонов [и др.]. М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2010. 92 с.
5. Савочкин В.А., Дмитриев А.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1993. 320 с.
6. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1967. 356 с.
7. Красеньков В.И., Вашец А.Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. М.: Машиностроение, 1986. 272 с.
8. Чобиток В.А. Теория движения танков и БМП. М.: Воениздат, 1984. 264 с.
- Development & Engineering Center; General Dynamics Land Systems Division. Warren, Michigan, 1987. 396 p.
3. Kotiev G.O., Haritonov S.A., Nagajcev M.V. Review of kinematic schemes for constructing hybrid transmissions. *ZHurnal avtomobil'nyh inzhenerov*. 2010. No 4 (63), pp. 40–47.
4. Haritonov S.A. *Analiz i projektirovanie gibridnyh transmissij transportnyh sredstv na osnove planetarnykh mekhanizmov* [Analysis and design of hybrid vehicle transmissions based on planetary mechanisms]. Moscow: MGTU im. N.EH. Bauman Publ., 2010. 92 p.
5. Savochkin V.A., Dmitriev A.A. *Statisticheskaya dinamika transportnyh i tyagovyh gusenichnyh mashin* [Statistical dynamics of transport and traction tracked vehicles]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1993. 320 p.
6. Zabavnikov N.A. *Osnovy teorii transportnyh gusenichnyh mashin* [Fundamentals of the theory of transport tracked vehicles]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1967. 356 p.
7. Krasnen'kov V.I., Vashec A.D. *Proektirovanie planetarnykh mekhanizmov transportnyh mashin* [Design of planetary mechanisms of transport vehicles]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1986. 272 p.
8. CHobitok V.A. *Teoriya dvizheniya tankov i BMP* [Theory of movement of tanks and infantry fighting vehicles]. Moscow: Voenizdat Publ., 1984. 264 p.

References

SELECTION OF PARAMETERS OF A THREE-FLOW PARALLEL ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION OF A TRACKED VEHICLE

PhD in Engineering **B.V. Padalkin**, PhD in Engineering **A.A. Staduhin**
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
ant.m9@ya.ru

One of the serious shortcomings of electromechanical transmissions, restraining their widespread use on tracked vehicles, is the large weight of electric motors and energy storage devices. The article provides a three-flow transmission scheme with the minimum number of electric machines necessary to ensure stepless acceleration and rotation with the obligatory use of an internal combustion engine and electric drive. Reducing the number of electric machines is achieved by using the same machines as traction motors and generators, depending on the mode of operation. This implies that when driving at speeds below average, electric machines should work as a generator, above average – as a traction motor. Transmission allows movement without the use of electric machines, but with reduced performance. The article discusses five modes of transmission, the specific traction and power characteristics for these modes. The features of the use of short-term and long-term characteristics of electric machines in the engine mode are taken into account. The use of the internal combustion engine is substantiated not only in the nominal mode, but also in the maximum power mode. A method for selecting transmission ratios, characteristics of the internal combustion engine and electric machines is presented and justified. The calculation is made for the track conveyor of the ultra-light mass category. A description of the regenerative braking modes available for transmission, as well as a description of the mode of charging the drive when parked are given. The scientific problems of evaluating the efficiency of the transmission, the need to study the rotation of the tracked vehicle where it is installed, the development of top-level algorithms for its control are indicated.

Keywords: tracked vehicles, electromechanical transmission, planetary mechanisms, traction motor, energy efficiency.