

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

Асп. КЛЮЧНИКОВ А. В.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы большое распространение получили трансмиссии с бесступенчатым регулированием скорости движения тягового или транспортного средства, которое может быть получено различными конструктивными решениями. Это могут быть механические, гидравлические, электрические и другие передачи как полно-, так и многопоточного исполнения. Основные преимущества подобных трансмиссий следующие:

- обеспечение широкого диапазона агротехнических скоростей агрегатов;
- повышение производительности тракторных агрегатов путем оптимизации технологических и действительных скоростей;
- снижение расхода топлива за счет обеспечения работы дизеля в экономичном режиме;
- уменьшение динамических нагрузок при изменении скорости;
- снижение уровня вредных выбросов дизеля за счет работы в ограниченном частотном диапазоне с минимальным расходом топлива;
- уменьшение физических нагрузок оператора при управлении трактором;
- приспособленность для автоматизации управления.

Электромеханическая трансмиссия, как и любая бесступенчатая передача, может быть выполнена как в полнопоточном исполнении с передачей всей мощности через вариатор, так и с разветвлением силового потока.

Учитывая высокий КПД современных электроприводов в широком диапазоне рабочих оборотов и нагрузки, вполне сравнимый с общим КПД двухпоточных передач, стоит обратить внимание на полнопоточные схемы электромеханической силовой передачи, которые, пусть и за счет незначительного снижения КПД, на некоторых режимах обладают такими преимуществами перед многопоточными передачами, как:

- отсутствие механической связи между дизелем и ходовой системой, что повышает ресурс дизеля и ходовой системы из-за исключения передачи динамических нагрузок от ходовой си-

стемы на дизель и неравномерности крутящего момента дизеля на узлы ходовой системы;

- повышение тягового КПД за счет меньшего буксования ведущих колес из-за отсутствия переменных нагрузок со стороны дизеля;

- возможность отбора всей мощности двигателя через электрическую ветвь на любых режимах и скоростях (за исключением работы с механическим ВОМ), что создает предпосылки к созданию навесных агрегатов и ВОМ с электроприводом;

- полнопоточная трансмиссия имеет полный реверс при одинаковом КПД переднего и заднего хода, что не требует установки дополнительного механизма реверсирования движения;

- возможность в будущем устанавливать подобные трансмиссии на тракторах, работающих на топливоэлементах, исключив двигатель внутреннего сгорания.

Рассмотрим наиболее простую из возможных схем: дизель – генератор – электромотор – согласующий одно- или многоступенчатый редуктор – ведущие мосты [1]. Эта схема, представленная на рис. 1, позволяет сохранить действующие ведущие мосты, а согласование параметров тягового электродвигателя и тяговой характеристики трактора осуществляется согласующим редуктором. Схема включает двигатель внутреннего сгорания 1, мотор-генератор 2, электрический ток которого передается на силовой преобразователь 3, соединенный с силовым преобразователем 4 тягового электродвигателя 5 шиной постоянного тока 6. Крутящий момент с ротора электродвигателя передается на согласующий редуктор 7, который соединен с задним ведущим мостом 8 и передним ведущим мостом 9. Редуктор может быть одно- и многоступенчатым с переключением ступеней как на остановленном тракторе, так и в движении под нагрузкой в зависимости от требований, предъявляемых к тяговому средству. Он одновременно выполняет функцию распределения мощности по мостам.

Данная схема достаточно просто конструктивно вписывается в действующие конструк-

ции тяговых средств, в том числе и тракторов, однако она имеет более низкий механический КПД, так как сохраняются имеющиеся передаточные механизмы и добавляется КПД генератора, силовых преобразователей и электродвигателя. Общая экономия топлива в данном случае возможна только за счет работы дизеля в наиболее экономичном режиме.

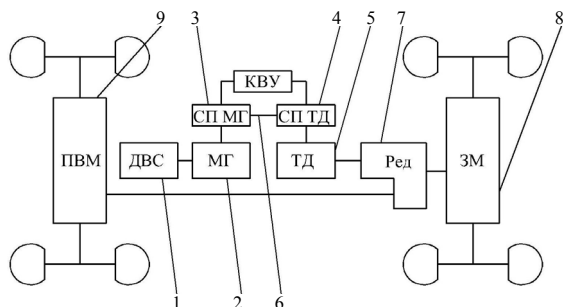


Рис. 1. Структурная схема трактора с последовательным расположением электромашин: ПВМ – передний ведущий мост; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; МГ – мотор-генератор; ТД – тяговый электродвигатель; Ред – согласующий редуктор; ЗМ – задний мост; СП МГ – силовой преобразователь мотора-генератора; СП ТД – силовой преобразователь тягового электродвигателя; КВУ – контроллер верхнего уровня

Схема (рис. 1) имеет наиболее простой алгоритм управления, так как основные функции распределения мощности и крутящего момента между колесами осуществляются стандартными механическими дифференциальными механизмами, а подключение переднего ведущего моста производится теми же механизмами, что и в механической трансмиссии. Иначе говоря, генератор – электромотор с соответствующими силовыми преобразователями и системой управления соответствуют бесступенчатой коробке передач [2, 3]. Также немаловажно отметить, что подобная схема имеет минимальное количество силовой электроаппаратуры, что делает ее наиболее простой и дешевой.

Следующей схемой является вариант, когда на задний и передний мосты установлены по отдельному двигателю. Параметры тяговых электродвигателей выбираются исходя из нагрузок на передний и задний мосты для обеспечения тягового усилия по сцеплению колес с почвой. Учитывая, что при приложении тяговой нагрузки на крюке трактора происходит перераспределение массы трактора по осям, и нагрузка на задний мост увеличивается по сравнению с распределением массы в статическом состоянии, мощность тягового электродвигателя заднего моста выбирается с учетом догрузки. При классическом распределении массы трактора (60 % – на задний мост и 40 % –

на передний) мощность электродвигателя должна быть увеличена по сравнению с расчетной в статическом состоянии для обеспечения работы трактора при сцепной массе на задний мост, равной 80 % от общей массы. Дальнейшая разгрузка переднего моста не допустима из условия обеспечения управляемости. Отсюда следует, что суммарная мощность тяговых электродвигателей по схеме рис. 2 должна быть больше, чем при последовательной схеме рис. 1.

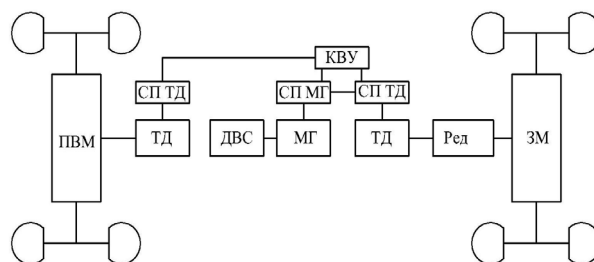


Рис. 2. Структурная схема трактора с приводом каждого моста отдельным электродвигателем (обозначения – на рис. 1)

Как вариант предыдущей схемы можно предложить схему, изображенную на рис. 3, со встроенными электродвигателями в корпуса мостов, что исключает коническое зацепление шестерен главной передачи для увеличения общего КПД, однако сохраняется дифференциал для деления момента на колеса.

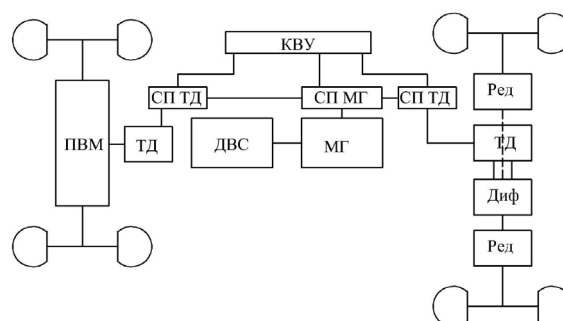


Рис. 3. Структурная схема трактора с двумя тяговыми электродвигателями и дифференциалом заднего моста (обозначения – на рис. 1)

Данную схему нельзя рассматривать в качестве модернизации или исполнения уже существующей механической трансмиссии, так как ее существенным недостатком является невозможность сохранения конструкции мостов. Кроме того, поскольку сельскохозяйственный трактор имеет широкий диапазон скоростей, необходимо подумать о разработке ступенчатых переключаемых колесных редукторов, так как установка заведомо переразмеренных электромашин, как правило, нецелесообразна.

Одним из вариантов электромеханической передачи может стать схема, представленная

на рис. 4, имеющая электродвигатель переднего моста и бортовые электромоторы колес заднего моста.

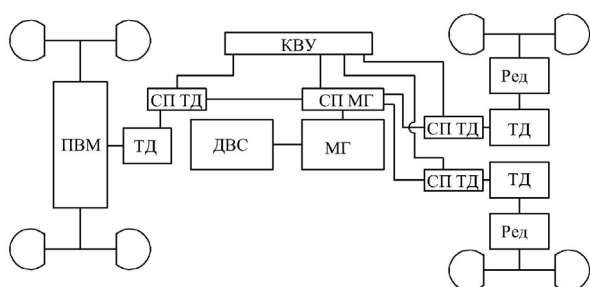


Рис. 4. Структурная схема трактора с тремя тяговыми электродвигателями (обозначения – на рис. 1)

Учитывая, что суммарная мощность двух электромоторов заднего моста – 80 % от мощности двигателя, а переднего – 40 %, возможно применение трех одинаковых электромашин с установленной мощностью 40 %, что уменьшит общую номенклатуру тягового оборудования.

Наиболее привлекательной с точки зрения потенциальных технических возможностей транспортного средства следует назвать схему (рис. 5) с установкой тяговых электродвигателей для привода каждого колеса.

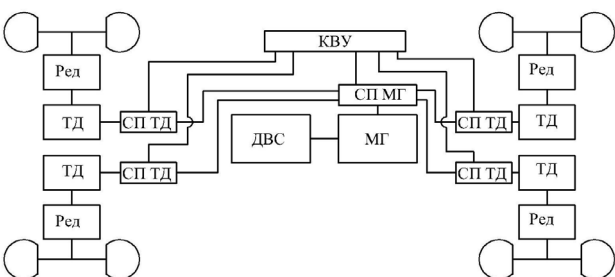


Рис. 5. Структурная схема трактора с приводом каждого колеса от электродвигателя (обозначения – на рис. 1)

Трансмиссия, выполненная по этой схеме, имеет наиболее высокий КПД, так как исключаются все узлы механической передачи, кроме колесных редукторов. Имеется также возможность управлять каждым колесом в отдельности по заданному алгоритму. Это повышает маневренность, обеспечивает необходимое распределение тяги по колесам, улучшает компоновочные решения, повышает возможности автоматизации управления.

При данной схеме суммарная мощность тяговых электродвигателей должна быть не меньше выходной мощности генератора плюс мощность электродвигателей заднего моста необходимо увеличить на 20 % в сравнении с расчетной (из условия нагрузки на мосты в статическом состоянии).

Стоит отметить, что для сельскохозяйственных тракторов, выполненных по компоновке

с шарнирно-сочлененной рамой и равной развесовкой по мостам для максимальной унификации узлов трансмиссии и простоты компоновки, наиболее целесообразно применять схемы с расположением электродвигателей непосредственно в мостах или бортовых редукторах (рис. 3, 5).

## ВЫВОД

Выбор структурной схемы помимо компоновочных решений должен определяться, прежде всего, на основании технико-экономического анализа применения той или иной схемы на конкретном тракторе. Приведенные выше схемы расположены в порядке их усложнения, а следовательно, и удорожания. На сегодняшний день элементы силового электропривода для сельскохозяйственных тракторов не являются серийной продукцией предприятий по выпуску электрооборудования, а, как правило, изготавливаются по заказу и, следовательно, имеют высокую стоимость, значительно превосходящую стоимость механических или гидравлических узлов трансмиссии трактора. В дальнейшем, с развитием электромеханических приводов ходовой части сельскохозяйственных машин, их стоимость значительно уменьшится и станет вполне конкурентоспособной. Однако можно сказать, что уже сейчас трансмиссии, выполненные по предложенным схемам, могут стать востребованы на тракторах больших мощностей (от 250 л. с. и выше) с высоким техническим уровнем, где стоимость трансмиссии в общей цене трактора имеет меньшую долю, а следовательно, ее удорожание не столь значительно скажется на общей стоимости продукции. А наиболее сложные из предложенных схем целесообразно использовать на тракторах мощностью порядка 500 л. с. и выше, где предложение на рынке тракторов чрезвычайно ограничено, отсутствует жесткая конкуренция и имеется возможность раньше остальных занять данную нишу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Beunk, H.** Stepless changing with diesel-electric power / H. Beunk // Profi International. – 1999. – № 12. – С. 28–30.
2. **Ксенович, И. П.** Механические трансмиссии с бесступенчатым регулированием передаточных чисел между смежными ступенями коробки передач / И. П. Ксенович // Мобильная техника. – 2004. – № 1. – С. 21–29.
3. **Ксенович, И. П.** Идеология проектирования электромеханических систем для гибридной мобильной техники / И. П. Ксенович, Д. Б. Изосимов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. – № 2. – С. 12–20.