

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКТНОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Флорентцев С.Н., д.т.н., проф.

ООО «Русэлпром – Электропривод» (Россия)

ул. Нижегородская, 32/15, 109029, Москва, Россия

E-mail: florentsev@ruselprom.ru

Рассмотрены вопросы проектирования и оптимизации компонентов тягового электрооборудования: электрических машин, силовой и управляющей электроники, вспомогательных систем питания и охлаждения. Приведены характеристики разработанных и внедренных в условиях концерна «Русэлпром» комплектов тягового электрооборудования электромеханических трансмиссий для различных транспортных средств.

Ключевые слова: тяговое электрооборудование, электродвигатели, силовая электроника, электромеханическая трансмиссия.

Введение. Российский электротехнический Концерн «РУСЭЛПРОМ» – ведущее объединение предприятий РФ по производству электротехнического оборудования и электрических машин. В Концерне создано подразделение ООО «Русэлпром - Электропривод», приоритетное направление которого (используя современные технологии проектирования производства, современную элементную базу силовой и управляющей электроники) – обеспечить разработки, изготовление и испытания, а также освоение в серийном производстве комплекта тягового электрооборудования (КТЭО) для различных транспортных средств.

Цель работы. Представление научных исследований и направлений, их практической реализации в среде тягового электрического оборудования – электромеханических трансмиссий транспортных средств.

Анализ предыдущих исследований. Анализ мировых тенденций развития транспортных систем показывает, что совершенствование техники осуществляется в направлении энергосбережения, ресурсосбережения и создания машин с экологически безопасными параметрами.

Основным критерием создания новой отечественной транспортной техники становится ее конкурентоспособность по отношению к традиционным и гибридным транспортным средствам зарубежных производителей. Из анализа множества альтернативных вариантов следует:

- реальной возможностью в настоящее время создать экологически чистое (или, по крайней мере, мало загрязняющее окружающую среду) конкурентоспособное транспортное средство является использование комбинированной энергоустановки (КЭУ) на базе двигателя внутреннего сгорания, генератора, тягового электропривода с буферным накопителем. В комбинированных энергоустановках удастся совместить положительные свойства отдельных источников: высокую удельную энергию источника энергии и высокую удельную мощность буферного источника. Приоритетными являются комбинированные энергоустановки с тепловыми

двигателями, а в перспективе – энергоустановки на основе топливных элементов. Эффективность применения КЭУ с буферным накопителем, в принципе, тем выше, чем чаще повторяются разгоны и торможения в типовом движении транспортного средства.

Материал и результаты исследований. Типичным примером транспортного средства, движение которого характеризуется повторяющимися разгонами и торможениями, является городской маршрутный автобус, который при движении в городе останавливается не только по сигналу светофоров, но и на остановках для посадки и посадки пассажиров. Эффективность применения КЭУ обусловлена:

- большим различием средней и пиковой мощности, требуемой для движения (отношение мощностей до 1:5 и выше);

- большим различием удельных показателей энергии и мощности имеющихся на борту источников, составляющих КЭУ.

Результатам разработки и внедрения КТЭО городского гибридного автобуса посвящен 1 раздел настоящей статьи.

Концерном «РУСЭЛПРОМ» совместно с производственным объединением «Минский тракторный завод» создан энергонасыщенный колесный сельскохозяйственный трактор классической компоновки с электромеханической трансмиссией переменного-переменного тока «Беларус - 3023».

Применение электромеханической трансмиссии позволило:

- улучшить технико-экономические показатели трактора;

- снизить динамические нагрузки на узлы трактора и дизеля,

- уменьшить буксование колес, снизить расход топлива на единицу выполненной работы (до 30%);

- обеспечить бесступенчатое регулирование скорости движения агрегата;

- снизить эксплуатационные затраты на техническое обслуживание, ремонт и расходные материалы;

- повысить надежность работы трактора в целом.

Опытная партия тракторов «Беларус - 3023» прошла испытания на машиноиспытательных станциях в России и Беларуси. Широкому потребителю трактор «Беларус - 3023» представлен на крупнейшей сельскохозяйственной выставке AGRITECHNICA-2009, которая состоялась в Ганновере 8 – 14 ноября 2009 г. Трактор удостоен серебряной медали организатора этого показа – немецкого сельскохозяйственного общества DLG.

В настоящее время ведется подготовка серийного производства тракторов «Беларус – 3023», и на 2010 год РУП «МТЗ» запланировал выпуск первой серийной партии тракторов с КТЭО производства концерна «РУСЭЛПРОМ».

Результатам разработки и внедрения КТЭО электромеханической трансмиссии сельскохозяйственного трактора посвящен 2 раздел настоящей статьи.

1. ГИБРИДНЫЙ АВТОБУС ЛИАЗ 5292XX

На Международном автотранспортном форуме (Москва) 9 – 12 сентября 2008 г. "Группа ГАЗ" представила городской автобус ЛИАЗ 5292XX с гибридной энергоустановкой. По итогам форума этот автобус был признан лучшим автобусом года в России. Автобус ЛИАЗ 5292XX – результат совместной работы концерна «РУСЭЛПРОМ» и Ликинского автобусного завода. Это первый российский автобус с гибридным приводом, аналогов которого нет ни у одного отечественного производителя.

Получены основные ожидаемые преимущества гибридного привода городского автобуса:

- снижение в 10 раз уровня выбросов при езде в городском цикле (Евро-5);
- работа в оптимальных по топливной эффективности режимах работы ДВС;
- экономия топлива на 25 ÷ 50 %;
- возможности пуска ДВС от накопителей без стартера;
- возможность генерации и рекуперации электроэнергии;
- снижение мощности ДВС на 25÷30 % при сохранении тягового момента на колесах;
- повышение комфортабельности (шум, вибрация, управляемость);
- повышение надежности и ресурса работы;
- наиболее комфортный проезд (более плавные старт и торможение), так как отсутствует прерывание потока мощности от энергоустановки до ведущих колес.

Для достижения требуемых характеристик при движении в городе (цикл НАМИ II) тяговое оборудование автобуса должно обеспечивать следующие показатели (оценки тягово-динамических расчетов): средняя мощность, требуемая для городского движения составляет 33 кВт; максимальная (пиковая) мощность составляет около 250 кВт; при скоростном движении (90 км\ч) требуется тяговое усилие –

5000 Н, мощность 115 кВт; при движении на подъеме 20% (12⁰) 10 км\ч (масса 13 т, 30 с) тяга составляет 29000 Н, мощность 80 кВт.

Комплект тягового электрооборудования выполнен по последовательной схеме (рис. 1). Выбор последовательной схемы обусловлен мировым опытом, минимальной стоимостью и сроками разработки, внедрения и окупаемости проекта. Обоснование выбора всех компонентов тягового электрооборудования дано в [1]. Основные характеристики силового оборудования КТЭО автобуса ЛИАЗ 5292XX приведены в табл. 1.

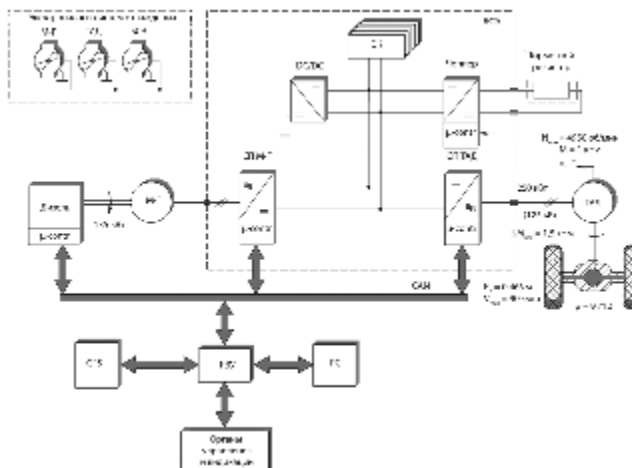


Рисунок 1 – Блок-схема КТЭО автобуса

Таблица 1- Основные характеристики силового оборудования КТЭО автобуса ЛИАЗ 5292XX

№ п/п	Наименование параметра	Величина
1	Мощность на выходе генератора, кВт, не более	132,5
2	Максимальный момент на валу МГ, Нм (n=2200)	575
3	Максимальная скорость вращения вала МГ, об/мин.	2200
4	Номинальное напряжение звена постоянного тока, В	750
5	Максимальная мощность на валу ТАД, кВт, не более	250
6	Длительная мощность на валу ТАД, кВт, не более	125
7	Максимальный пусковой момент на валу ТАД, Нм	1500
8	Максимальный длительный момент на валу ТАД, Нм	1000
9	Максимальная скорость вращения ТАД, об/мин (при скорости автобуса 90 км/час)	4975
10	Накопитель: Емкость, Ф Напряжение, В Энергоемкость, Вт*ч Ток разряда, А Максимальный ток разряда, А Масса, кг Габариты, мм (Д x Ш x В каждого из 12 модулей)	21,0 400 – 800 1220 300 1500 700 762x425x265

Любопытно, что характеристики силового оборудования КТЭО автобусов ЛИАЗ 5292ХХ, Scania и MAN Lion's City, имеющих подобные технические данные по пассажироместности, массе и габаритам, практически совпали. Отметим в этой связи, что тягово-динамические расчеты, выбор кинематической схемы, определение основных характеристик силовых устройств КТЭО, проектирование и изготовление агрегатов автобуса ЛИАЗ 5292ХХ завершились в Концерне РУСЭЛПРОМ до того, как были опубликованы данные зарубежных аналогов, что свидетельствует об объективности полученных оценок.

Комплект тягового электрооборудования автобуса ЛИАЗ 5292ХХ (рис. 1) включает:

- МГ (асинхронный двигатель);
- ТАД (асинхронный двигатель);
- СП МГ, СП ТАД (силовые преобразователи с микропроцессорной системой управления);
- буферный накопитель;
- контроллер верхнего уровня (КВУ) для управления потоками мощности и тягой с органами управления и отображения информации в кабине водителя;
- системы охлаждения электрических машин и силовых преобразователей;
- системы питания собственных нужд.

Силовые преобразователи выполнены на интегральных интеллектуальных силовых преобразователях SKAI фирмы SEMIKRON. Максимальный эффективный фазный ток каждого модуля 300 А (длительно), максимальное напряжение звена постоянного тока 900 В. Управление ТАД и МГ реализовано на контроллерах на базе процессоров серии TMS 320 (векторная система управления).

Тяговый электродвигатель (ТАД) развивает кратковременную мощность 250 кВт, что превышает мощность штатного дизеля серийного прототипа – автобуса ЛиАЗ 5292 (180 кВт), обеспечивая тем самым достойную динамику при разгоне. Долговременная мощность ТАД соответствует долговременной мощности МГ и ДВС – 125 кВт. Пониженная (по сравнению с прототипом) мощность используемого в гибридном автобусе дизеля (Cummins ISBe4+185, 136кВт, ЕВРО - 4) достаточна для движения в городском цикле и равномерного движения на скоростях вплоть до 80 – 90 км/ч, а недостаток мощности при разгоне восполняется ёмкостным накопителем. В то же время снижение мощности дизеля – одна из составляющих экономии топлива.

Другой составляющей экономии топлива, возможной для последовательной схемы, является оптимизация статического режима работы дизеля. В соответствии с необходимой для ТАД мощностью выбирается такое соотношение момента ДВС и скорости его вращения, которое

обеспечивает наилучшую топливную экономичность. Распределение энергии осуществляется алгоритмом управления потоками мощности, который обеспечивает основную экономию топлива за счёт следующих факторов:

- во-первых, необходимая для ТАД мощность

разделяется на быстропеременную и медленно меняющуюся составляющие, первая из которых поставляется накопителем, вторая – ДВС; тем самым обеспечивается работа ДВС в режиме, близком к стационарному. При этом минимизируется также токсичность выхлопа.

- во-вторых, накопитель может принимать энергию рекуперации при торможении, обычно теряемую в механических тормозах; это особенно существенно для маршрутных транспортных средств с относительно частыми остановками (городские автобусы).

Управление потоками мощности является функцией КВУ, он же осуществляет управление движением, включая логическую обработку входных сигналов кабины водителя, датчиков, измерение аналоговых сигналов, управление режимами движения автобуса, а также обработку и фиксацию аварийных ситуаций. КВУ имеет четыре независимых CAN интерфейса передачи данных, широко применяемого в автомобильной промышленности. Два из CAN интерфейсов работают по протоколу CANOpen и осуществляют связь с контроллерами мотор - генератора, тягового двигателя, накопителя и табло водителя. По ним КВУ получает всю необходимую информацию и осуществляет управление элементами электрической трансмиссии. Третий канал CAN работает по протоколу SAE J1939. Контроллер верхнего уровня включен в общую сеть J1939 автобуса и имеет возможность получать всю информацию о состоянии ДВС, контроллеров ABS и ASR. По данному каналу связи КВУ посылает задание частоты вращения ДВС.

Специалистами ООО «Русэлпром-электропривод» разработано специальное программное обеспечение для сопровождения, наладки и диагностики ошибок – сервисная вычислительная система (СВС), которое предназначено для визуализации параметров рабочих характеристик КТЭО; предоставления и обработки графической информации; загрузки, сохранения и отображения в графической и табличной форме файлов аварийных логов КВУ, МГ и ТАД. СВС предназначено для визуализации параметров рабочих характеристик КТЭО.

Вид экрана СВС приведен на рис. 2.

СВС позволяет в значительной мере упростить процесс наладки и контроля КТЭО, а также анализ аварийных логов, что позволяет ускорить поиск и устранение неисправностей.

До установки на автобус штатный комплект тягового электрооборудования прошел наладку и всестороннее исследование на полноразмерном стенде с расширенным составом измерительных приборов. Описание стенда и результаты отдельных испытаний приведены в [2, 3].

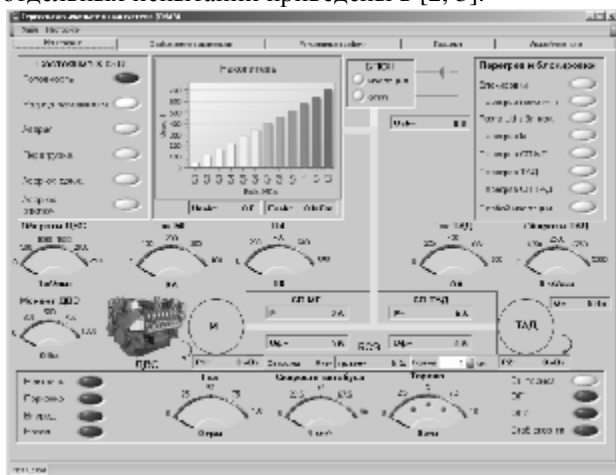


Рисунок 2 – Экран сервисной вычислительной системы

Специалистами ООО «Русэлпром - Электропривод» проведены тягово-динамические расчеты и оценки характеристик основных силовых узлов КТЭО для ряда различных городских автобусов, выпускаемых предприятиями России и Беларуси:

- 9м - ПАЗ-3237, Богдан;
- 12м - 4202А (Белкоммунмаш), МАЗ-203;
- 15м - 627006 (Волжанин);
- 18м - ЛиАЗ-6292, МАЗ-205.

Выполнено проектирование всех компонентов тягового электрооборудования: электрических машин, силовой и управляющей электроники, вспомогательных систем питания и охлаждения для указанных выше различных автобусов. Предприятия концерна готовы к изготовлению комплектных КТЭО.

Что касается вариантов систем буферных накопителей, то отметим, во-первых, что «РУСЭЛПРОМ» проработал вариант использования отечественных суперконденсаторов.

Во-вторых, в РУСЭЛПРОМ имеются проработки использования в качестве буферного накопителя Li-ion аккумуляторной батареи.

Таким образом, концерн «РУСЭЛПРОМ» готов к разработке, изготовлению и поставкам комплектного тягово-энергетического оборудования для различных городских автобусов и развозных грузовиков в комплектации, отвечающей требованиям заказчиков. Имеющихся наработок достаточно не только для выполнения отдельных инновационных проектов, но и для модернизации, что представляется необходимым ввиду многообразия требований и условий применения транспортных средств. Сопоставляя характеристики, структуру и состав КТЭО отечественных гибридных автобусов и их

зарубежных аналогов, можно с полным основанием утверждать, что отечественные предприятия – производители транспортной техники в состоянии в кратчайшие сроки выйти на передовые рубежи в создании современного общественного городского транспорта нового поколения. Внедрение гибридной транспортной техники может являться достойным примером инновационного выхода отрасли транспортного машиностроения из экономического кризиса. Существенно, что создание энергосберегающих, щадящих окружающую среду транспортных средств возможно на коммерческой основе, без привлечения средств инновационной поддержки, хотя, разумеется, финансовая и организационная помощь государственных органов не была бы излишней.

2. ТРАКТОР С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Концептуальный макет трактора (рис. 3) с комплектом тягово-энергетического оборудования (КТЭО) прошёл испытания в 2008 г. Макет подвергся всесторонним стендовым и полигонным испытаниям, включая сопоставительную пахоту.



Рисунок 3 – Концепт трактора МТ3302Э с электромеханической трансмиссией

В табл. 2 приведены результаты сравнительных испытаний опытного трактора с электромеханической трансмиссией «Беларус – 3023» и серийного трактора «Беларус – 3022ДВ» с трансмиссией с переключением передач под нагрузкой.

Испытания показали, что за счёт бесступенчатого регулирования скорости движения трактора и прогрессивной системы управления двигателем производительность пахотного агрегата на базе трактора «Беларус – 3023» на 2% выше агрегата на базе трактора «Беларус – 3022ДВ» при меньшем расходе топлива на 18%.

По результатам успешных испытаний концепта в 2009 году была выпущена установочная серия тракторов (с модернизацией КТЭО), проведены эксплуатационные и сертификационные испытания.

Параметры асинхронных генератора (МГ) и тягового двигателя (ТАД), устанавливаемых на трактор «Беларус - 3023», приведены в табл. 3.

Таблица 2 - Результаты сравнительных испытаний

Показатели	Значения показателей	
	Беларус-3023	Беларус-3022ДВ
Условия проведения испытаний		
Типоразмер шин: -заднего моста -переднего ведущего моста	580/70R42 580/70R30	
Масса эксплуатационная трактора, кг	12440	11385
Марка плуга	ВВ-100-8	
Вид работы	Вспашка пласта многолетних трав	
Тип почвы и название по механическому составу	Дерново-подзолистая, легкий суглинок	
Рельеф	Ровный, с уклоном до 2°	
Предшествующая обработка	Не проводилась	
Влажность почвы, % по слоям, см:		
0-10	23,9	
10-20	26,8	
Установочная ширина захвата, см	45	
Длина гона, м	870	
Результаты испытаний		
Средняя глубина пахоты, см	22,4	22,5
Средняя ширина захвата, м	3,47	3,47
Средняя рабочая скорость, км/ч	9,37	8,34
Производительность за час основного времени, га/ч	2,93	2,89
Часовой расход топлива, кг/ч	31,7	38,2
Удельный расход топлива, кг/га	10,81	13,2

МГ и ТАД имеют жидкостное охлаждение, расход охлаждающей жидкости составляет 40 л/мин. Силовые преобразователи МГ и ТАД объединены в блок силовой электроники (БСЭ). Силовые преобразователи выполнены на базе интегральных трехфазных инверторов напряжения SKAI фирмы SEMIKRON, максимальный фазный ток составляет 300 А, номинальное напряжение в звене

постоянного тока 850 В. Для управления используются процессорные контроллеры TMS 320 (частотное управление). БСЭ имеет жидкостное охлаждение, расход охлаждающей жидкости 20 л/мин.

В тракторе «Беларус – 3023» применены модернизированные узлы КТЭО макетного образца трактора с центральным приводом, включая асинхронные электрические машины (МГ и ТАД), блок силовой электроники, блок коммутаций, КВУ и табло. Блок – схема КТЭО приведена на рис. 4.

Таблица 3 - Параметры асинхронных генератора (МГ) и тягового двигателя (ТАД)

№ п/п	Наименование параметра	МГ, значение	ТАД, значение
1	Тип	Асинхронный с короткозамкнутым ротором	Асинхронный с короткозамкнутым ротором
2	Число фаз	3	3
3	Мощность, кВт	220	183
4	Номинальная частота вращения, об/мин	1750	1450
5	Диапазон частот вращения, об/мин	800 - 2500	-3600 :- + 3600
6	КПД (совместно с силовым преобразователем)	0,93	0,93
7	Габариты (длина/диаметр), мм	630\545	630\545
8	Масса, кг	650	650

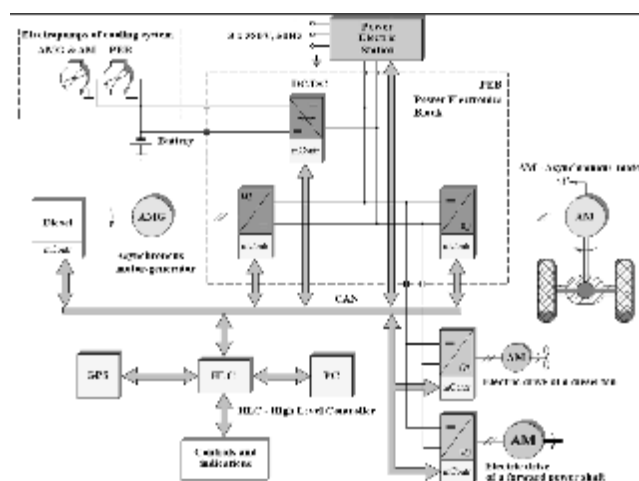


Рисунок 4 – Блок-схема КТЭО трактора «Беларус – 3023»

График зависимости суммарного КПД (от вала ДВС до выходного вала ТАД) от частоты вращения ТАД при максимальном моменте и максимальной

мощности, полученный экспериментально, приведен на рис. 5.

ООО «Русэллпром - Электропривод», в дополнение к основному оборудованию КТЭО, разработало и поставляет в качестве опций автономную станцию электроснабжения (АСЭ), электропривод переднего вала отбора мощности (ВОМ) и электропривод вентилятора радиатора.

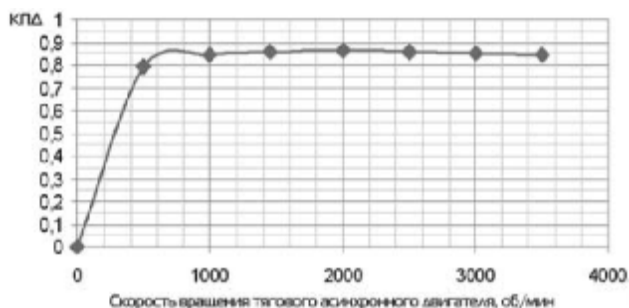


Рисунок 5 – График зависимости КПД от скорости вращения тягового асинхронного двигателя (трактора)

Наличие на тракторе электрического привода вентилятора системы охлаждения позволяет точно регулировать поток воздуха через радиатор, не допуская перегрева дизеля при его работе в режимах, оптимальных по топливной эффективности (при снижении оборотов дизеля), и, при необходимости, включать режим реверса для продувки и очистки радиатора. Максимальная мощность электропривода вентилятора – 20 кВт.

Преимущества, достигнутые в тракторе с КТЭО:

- эффективная, простая и надёжная бесступенчатая автоматическая трансмиссия;
- всего два режима, выбираемых вручную (поле или дорога);
- автоматическое переключение фрикционной муфтой, обеспечивающей эффективный разгон на транспорте;
- возможность работы с высоким КПД во всём диапазоне скоростей движения;
- эффективное управление режимами работы дизеля в зависимости от потребляемой мощности;
- наличие режимов электроторможения с передачей энергии движения в дизель;
- система удержания трактора на подъеме и спуске;

- возможность точного перемещения на заданное малое расстояние;

- эффективное жидкостное охлаждение электрических машин и силовой электроники.

Дополнительные опции:

- электропривод вентилятора ДВС;
- электропривод переднего ВОМ;
- автономная станция электроснабжения.

Преимущества с точки зрения комфорта и удобства управления движением:

- простота и удобство органов управления коробкой передач;
- наличие нескольких режимов управления трансмиссией:
 - задание скорости движения от педали;
 - задание скорости движения от джойстика с возможностью грубой и точной настройки;
 - удержание трактора на месте с возможностью управлять в этом режиме оборотами дизеля от педали;
 - точное поддержание скорости трактора благодаря наличию GPS;
 - возможность автоматического и принудительного управления оборотами дизеля при работе с ВОМ;
 - лёгкость изменения направления движения.

Разработки тракторов с электромеханической трансмиссией в РУП МТЗ не ограничиваются моделью трактора с дизельным двигателем мощностью 300 л.с. Достаточно упомянуть ведущиеся в настоящее время работы концерна «РУСЭЛПРОМ» и заказчиками по колесным и гусеничным сельскохозяйственным и промышленным тракторам мощностью 150, 160, 450 л.с. Эти тракторы имеют отличающуюся от описанной выше компоновку, содержат ряд принципиально новых технических решений. Концерн «РУСЭЛПРОМ» готов выступить контрагентом у производителей в части разработки, изготовления и испытаний опытных образцов, серийного производства полного комплекта тягового электрооборудования для автоматической электромеханической трансмиссии колесных и гусеничных, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, бульдозеров, строительно-дорожной техники с бесступенчатой автоматической электромеханической трансмиссией на базе комплекта тягового электрооборудования.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика различных видов трансмиссий

Характеристика	Электромеханическая	Гидро-механическая	Гидро-объемная
Экономичность	КПД до 90%, мало зависит от скорости движения и нагрузки	КПД около 90%, сильно зависит от скорости движения и нагрузки	КПД около 85 %, мало зависит от скорости движения и нагрузки
Техническое обслуживание	Обслуживание минимально (контроль охлаждающей жидкости, сопротивления утечки,..)	Замена масла и фильтров. Опасно загрязнение масла.	Замена масла и фильтров. Загрязнение масла критично.
Чувствительность к окружающей	Прогрев не требуется. Контроль за перегревом электрических машин и силовой	При качественном масле перегрев не опасен. Требуется прогрев,	При качественном масле перегрев не опасен. Требуется прогрев,

температуре	электроники при повышенной температуре.	возможна аварийная ситуация.	возможна аварийная ситуация.
-------------	---	------------------------------	------------------------------

Продолжение таблицы 4

Характеристика	Электромеханическая	Гидро-механическая	Гидро-объемная
Экономичность	КПД до 90%, мало зависит от скорости движения и нагрузки	КПД около 90%, сильно зависит от скорости движения и нагрузки	КПД около 85 %, мало зависит от скорости движения и нагрузки
Техническое обслуживание	Обслуживание минимально (контроль охлаждающей жидкости, сопротивления утечки)	Замена масла и фильтров. Опасно загрязнение масла.	Замена масла и фильтров. Загрязнение масла критично.
Чувствительность к окружающей температуре	Прогрев не требуется. Контроль за перегревом электрических машин и силовой электроники при повышенной температуре.	При качественном масле перегрев не опасен. Требуется прогрев, возможна аварийная ситуация.	При качественном масле перегрев не опасен. Требуется прогрев, возможна аварийная ситуация.
Ремонто-пригодность	Ремонт только быстрой заменой блоков. Быстрый, без разборки узлов. Стоимость определяется стоимостью заменяемых блоков.	Ремонт возможен с разборкой узлов.	Ремонт только заменой блоков. Быстрый, но несколько дешевле, чем электромеханика.
Совместная работа с дизелем (ДВС)	ДВС при всех нагрузках и скоростях работает в оптимальном режиме, что экономит топливо.	С изменением нагрузки и скорости изменяется нагрузка на ДВС	ДВС при всех нагрузках и скоростях работает в оптимальном режиме, что экономит топливо.
Опасные факторы	Высокое напряжение в закрытых электрических машинах и силовой электронике.	Не отмечено	Высокое давление жидкости – 400 атм.
Оптимальность тяговой характеристики	Оптимальна для любых машин из-за реализации регулирования и стабилизации момента и скорости.	Для сельхоз. тракторов не оптимальна: скорость движения зависит от нагрузки.	Оптимальна для любых машин, возможна работа в режиме «автомат» и с фиксированным передаточным числом.
Компонуемость	Свободная компоновка приводных машин дает хорошую развесовку.	Жесткая связь между узлами ограничивает свободу компоновки	Свободная компоновка приводных машин дает хорошую развесовку.
Степень готовности	Разработки, опытная эксплуатация.	Серийное производство	Серийное производство компонентов
Ориентировочная стоимость	Электротрансмиссия дороже гидромеханической и примерно на 20 % дороже гидрообъемной. С уменьшением цен на силовую и управляющую электронику цены сравниваются, а, возможно, будут меньше. Малые эксплуатационные затраты.	Наиболее дешевая в условиях крупносерийного производства. Значительные эксплуатационные затраты.	Трансмиссия дороже гидромеханической примерно на 15 %. Значительные эксплуатационные затраты.

Выводы. Содружество РУП «МТЗ» и концерна «РУСЭЛПРОМ» позволило в достаточно сжатые сроки получить весьма осязаемые практические результаты. Существенно, что при этом намечен широкий фронт продолжения и расширения совместных работ.

Применение электрической трансмиссии в тракторах имеет много преимуществ. Особенно это касается мощных, энергонасыщенных тракторов. В таких тракторах обычная механическая трансмиссия сложна и дорога, особенно в производстве. Только в коробке передач число передач в мощных тракторах

доходит до нескольких десятков. Не менее сложным является управление трактором при наличии такого количества передач. Электромеханическая трансмиссия полностью решает эту проблему: наличествует всего два режима работы (две передачи): рабочий и транспортный. Немаловажным обстоятельством для тракторных заводов является получение комплекта устройств КТЭО в качестве комплектующих, что существенно упрощает производственный и сборочный процесс.

Альтернативой электромеханической трансмиссии является гидравлическая (различных

типов). Однако следует отметить, что гидротрансмиссия требует при изготовлении точной механической обработки, требуется высококачественное масло и жесткая процедура проведения технического обслуживания, КПД гидротрансмиссии ниже, чем электромеханической, наконец, ресурс работы гидротрансмиссии невелик. В табл. 4 приведены сравнительные показатели трансмиссий, применяемых в сельскохозяйственных тракторах. В совокупности все эти факторы однозначно свидетельствуют в пользу применения в тракторах более простой конструктивно, более надежной, не требующей больших эксплуатационных затрат, имеющей большой ресурс и, следовательно, более перспективной электромеханической трансмиссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флоренцев С. Экономичный, экологичный городской гибридный автобус / [Станислав Флоренцев, Лев Макаров, Владимир Менухов, Игорь Варакин]. // Электронные компоненты. - № 12, 2008 г. – С. 1 – 9.
2. Флоренцев С. Н. Городской маршрутный автобус ЛИАЗ 5292XX с комбинированной энергоустановкой. Часть I. Общие характеристики автобуса ЛИАЗ 529XX / [Флоренцев С. Н., Гаронин Д. Л., Воробьев И. К., Гордеев Л. И.] // Электротехника. – № 7, 2009 г. – С. 20 - 25.
3. Изосимов Д. Б. Городской маршрутный автобус ЛИАЗ 5292XX с комбинированной энергоустановкой. Часть II. Стендовые испытания комплекта тягово-энергетического оборудования автобуса ЛИАЗ 529XX. / [Изосимов Д. Б., Журавлев С. В., Байда С. В., Белоусов А. А.]. // Электротехника. - № 8, 2009 г. – С. 2 - 7.
4. Флоренцев С. Н. Тяговый электропривод в гибридных транспортных средствах. Идеология проектирования комплектного тягово-энергетического оборудования для гибридных транспортных средств / С. Н. Флоренцев, Д. Б. Изосимов. // Электронные компоненты. - Ч. 1, №11, 2009. – С. 13–18. - Электронные компоненты. – Ч. 2, №12, 2009. - С. 69 – 73.
5. Тяговый электропривод в гибридных транспортных средствах. Часть 3. Разработки КТЭО для гибридных транспортных средств в концерне «РУСЭЛПРОМ» / С. Н. Флоренцев, Д. Б. Изосимов и др. // Электронные компоненты. - № 1, 2010. - С. 62 – 65.
6. S. N. Florentsev. Traction Electric Equipment Set for AC Electric Transmission Various Vehicles // Proceedings of International Exhibition & Conference “Power Electronics, Intelligent Motion. Power Quality (PCIM-2009). 12 – 14 May 2009. Nuremberg. Germany. P. 625 – 627.
7. Stanislav N. Florentsev. From Russia with Automotive. AC electric drive-train of a hybrid city bus // Power System Design Europe (PSDE), July/August 2009. P.50 -51.
8. Флоренцев С. Н. Серебряная медаль сельскохозяйственной выставки AGRITECHNICA-2009 – трактору с электромеханической трансмиссией переменного тока / С. Н. Флоренцев, Д. Б. Изосимов, Л. Н. Макаров. // Электротехника. - № 1, 2010. – С. 43 - 49.
9. S. N. Florentsev. Powwering Agriculture. Tractor with AC/AC electric drive-train // Power System Design Europe (PSDE), March 2010. P.22 -24.

ДОСВІД РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКТНОГО ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Флоренцев С.Н., д.т.н., проф.

ВАТ «Руселпром –Електропривод» (Росія)

вул. Ніжегородська, 32/15, 109029, Москва, Росія

E-mail: florentsev@ruselprom.ru

Розглянуто питання проектування й оптимізації компонентів тягового електрообладнання: електричних машин, силової та керуючої електроніки, допоміжних систем живлення й охолодження. Наведено характеристики розроблених і впроваджених в умовах концерну «Руселпром» комплектів тягового електрообладнання електромеханічних трансмісій для різних транспортних засобів.

Ключові слова: тягове електрообладнання, електродвигуни, силова електроніка, електромеханічна трансмісія.

EXPERIENCE OF DEVELOPMENT AND INTRODUCTION OF COMPLETE HAULING ELECTRICAL EQUIPMENT OF ELECTROMECHANICS TRANSMISSIONS OF TRANSPORT VEHICLES

Florentsev S.N., Doc. Sc. (Tech.), Prof.

VAT "Ruselprom-Elektroprivod" (Russia)

Nizhegorodskaya st, 32/15, 109029, Moscow, Russia

E-mail: florentsev@ruselprom.ru

Questions of designing and optimisation of all components of a traction electric equipment are considered: electric machines, power and control electronics, auxiliary power supply systems and cooling. Characteristics of the developed and introduced complete sets of a traction electric equipment of electromechanical transmissions for various vehicles executed in concern "RUSELPROM" are resulted.

Key words: traction electric equipment, electric motor, power electronics, electromechanical transmission.