

Разработка стенда для исследовательских испытаний автотранспортных средств с комбинированными энергоустановками

к.т.н. Нагайцев М.В.
ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»
8 (499) 154-13-01, admin@nami.ru

Аннотация. В статье изложены основы создания и конструктивное исполнение стенда для проведения исследовательских испытаний полноприводных автотранспортных средств с комбинированными энергоустановками. Предложен и реализован модульный принцип построения стенда. Изложен состав измеряемых параметров и пример реализации испытаний по ездовому циклу.

Ключевые слова: автотранспортное средство с комбинированной энергоустановкой, исследовательский стенд, модульная конструкция, измеряемые параметры, ездовой цикл.

В настоящее время отмечается тенденция расширения практического использования комбинированных энергетических установок (КЭУ) в автотранспортных средствах (АТС) различного назначения. В частности, мировыми производителями исследуется возможность повышения эксплуатационных характеристик магистральных автопоездов, оснащенных КЭУ. Очевидно, что для многоосных АТС структурная схема КЭУ усложняется, что требует (в том числе на начальном этапе реализации) создания исследовательского стендового оборудования для отладки разрабатываемых алгоритмов работы КЭУ, оценки эффективности работы КЭУ и ее компонентов, например, в условиях того или иного испытательного цикла и решения других задач. При этом желательно создание комбинированного стенда, в котором АТС, как «целостный объект» не требуется. Достаточно установить отдельные подсистемы КЭУ, а синхронизация их работы и нагрузочных устройств стенда выполняется на базе методов математического моделирования. Стенды такого типа обладают широкими возможностями по имитации различных условий и режимов движения, а также и высокой степенью универсальности по отношению к широкому классу объектов испытаний, что позволяет с минимальными конструктивными изменениями переходить от одного объекта исследования к другому.

В рамках ГК № 12411.0810200 от 24.07.2012 г. ФГУП «НАМИ» совместно с ОАО «КАМАЗ» разработали и реализовали исследовательский испытательный стенд, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1.

Двигатель внутреннего сгорания (1) связан с автоматизированной коробкой передач (2), имеющей встроенную обратимую электромашину, и через тензометрическую муфту (29) нагружается обратимой электромашинной (12). Последняя способна имитировать сопротивление движению АТС, а также работу тормозной системы АТС. Топливо в ДВС подается от топливного бака (15) через расходомер (30). Электромашин (3) привода переднего моста соединяются с нагружающими устройствами (9) через тензометрические муфты (29). Питание испытываемых электродвигателей осуществляется с помощью инверторов (5,7), подключенных к аккумуляторной батарее (4). Управление электромашин КЭУ производится через устройства управления (6,8) по CAN-сети. Питание нагружающих электромашин (9, 12), имитирующих сопротивление движению АТС, осуществляется с помощью инверторов (10, 13), подключенных к внешней сети. Устройства управления инверторами также включены в CAN-сеть.

Электромашин привода переднего моста, их инверторы, а также аккумуляторная батарея, имеют системы охлаждения с индивидуальными контурами. В каждом контуре имеется датчик температуры и расхода жидкости (19, 20, 27). Кроме того, перед каждым радиатором установлен датчик расхода и температуры воздуха (21, 28). Также имеются датчики температур электромашин (23) и инверторов (22), измерители постоянного (25) и переменного (24) тока и напряжения. Информация о состоянии двигателя и коробки передач снимается с блоков управления соответствующими агрегатами по CAN-сети.

Сигналы от датчиков поступают на измерительную аппаратуру стенда, где происходит их обработка и сохранение.

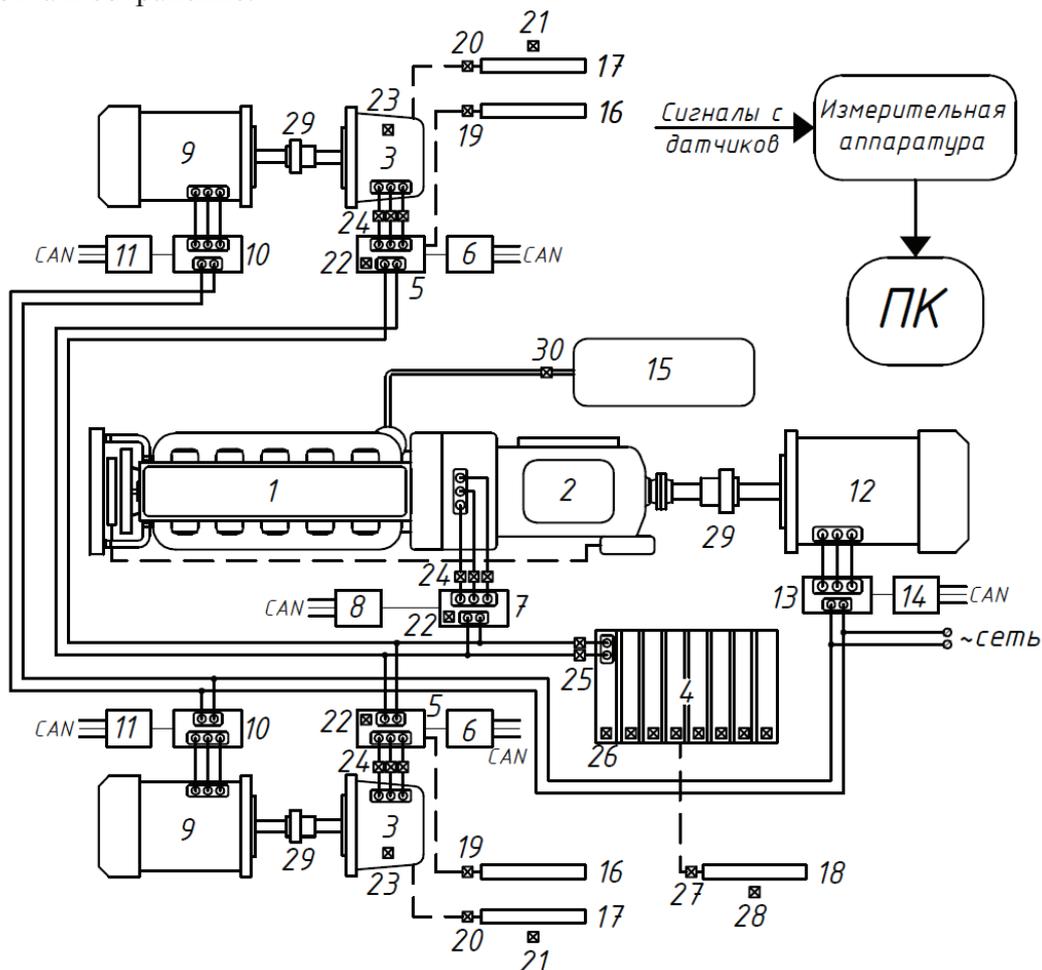


Рисунок 1. Принципиальная схема испытательного стенда:

1 – ДВС; 2 – автоматическая коробка передач со встроенной обратимой электромашинной; 3 – электромоторы привода переднего моста; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – инверторы электромашин привода переднего моста; 6 – устройства управления инверторами электромашин привода переднего моста; 7 – инвертор электромашин привода мостов задней тележки; 8 – устройство управления инвертором электромашин привода мостов задней тележки; 9 – тормозные электромашинные, имитирующие нагрузку привода переднего моста; 10,13 – инверторы тормозных электромашин соответственно для переднего моста и задней тележки; 11,14 – устройства управления инверторами тормозных электромашин для переднего моста и задней тележки; 12 – тормозная электромашинная для задней тележки; 15 – топливный бак; 16,17 – радиаторы систем охлаждения электромашин переднего моста и их инверторов; 18 – радиатор системы охлаждения АКБ; 19,20 – датчики температуры и расхода охлаждающей жидкости в системах охлаждения электромашин переднего моста и их инверторов; 21,28 – датчики температуры и расхода воздуха; 22 – датчики температуры инвертора; 23 – датчики температуры электромашин переднего моста; 24 – датчики переменного тока и напряжения; 25 – датчики постоянного тока и напряжения на АКБ; 27 – датчики температуры и расхода охлаждающей жидкости в системе охлаждения АКБ; 29 – соединительные тензометрические муфты с датчиками частоты вращения; 30 – датчик расхода топлива

Практическая реализация испытательного стенда представлена в виде 3D моделей на рисунках 2 – 4. Компоненты КЭУ магистрального тягача колесной формулой 6×6 физически разделены на два модуля: первый связан с приводом переднего моста; второй – с приводом мостов задней тележки.

Управление испытываемыми агрегатами осуществляется по CAN-сети блоком управления автомобилем (VCU), на вход которого подаются сигналы с органов управления (педаль управления ДВС и тормозами).

Параметры нагружающих электромашин обеспечивают испытание компонентов КЭУ на всех нагрузках и во всем диапазоне частот вращения ДВС и приводных электромашин.

Важно отметить, что все нагружающие электромашинны позволяют имитировать как внешнее сопротивление движению, так и действие рабочей тормозной системы АТС.

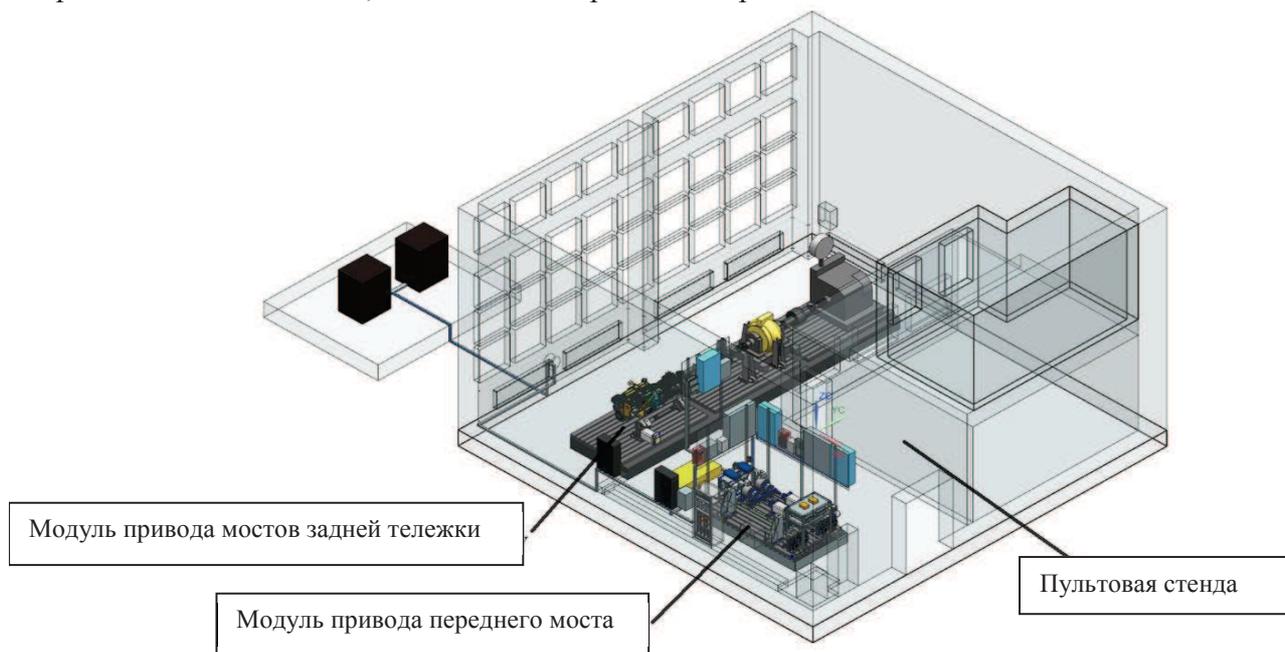


Рисунок 2. Общая компоновка стенда для исследовательских испытаний КЭУ магистрального тягача с колесной формулой 6×6

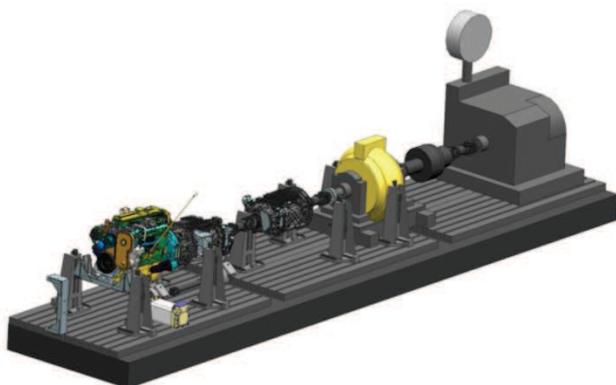


Рисунок 3. Общий вид модуля привода мостов задней тележки

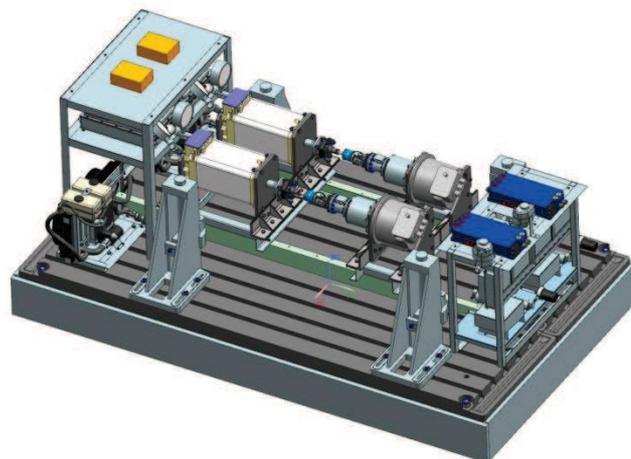


Рисунок 4. Общий вид модуля привода переднего моста

Программное обеспечение нагружающих электромашин обеспечивает управление крутящим моментом и частотой вращения. В ходе испытаний обеспечивается равенство частот вращения нагружающих электромашин колес переднего моста, а также постоянное соотношение между их частотой вращения и частотой вращения колес задней тележки. При нарушении этого соотношения выполняется перераспределение приводных моментов в сторону уменьшения момента на забегающем звене.

Измерительная аппаратура стенда обеспечивает возможность измерения и записи следующих параметров:

- крутящих моментов и частот вращения валов электромашин привода передних колес и выходного вала коробки передач;
- расхода топлива ДВС;
- температуры жидкости и воздуха в системах охлаждения электромашин привода передних колес, их инверторов, а также аккумуляторной батареи;
- расхода жидкости и воздуха в системах охлаждения электромашин привода передних колес, их инверторов, а также аккумуляторной батареи;

- величин токов и напряжений на выходе инверторов, а также на выходе АКБ;
- времени.

Сигналы от датчиков поступают на многоканальную измерительно-регистрирующую аппаратуру с программным обеспечением для измерения, регистрации и анализа данных. Дополнительно к указанной аппаратуре используется комплекс Lab View с программным обеспечением Signal Express на базе National Instruments.

Методика предварительных (отладочных) испытаний компонентов КЭУ предусматривает следующие имитационные процедуры: разгон АТС с полной нагрузкой от нулевой скорости до заданного значения; движение АТС с постоянной скоростью с последующим торможением до полной остановки; движение АТС по ездовому циклу; движение в режиме буксования колес задней тележки.

В качестве примера рассмотрим реализацию методики стендовых испытаний магистрального тягача с колесной формулой 6×6 в ездовом цикле ЕТС (для грузовых автомобилей и автобусов) в соответствии с методикой Правил ООН №49.

На подготовительном этапе было проведено виртуальное моделирование испытаний, которое позволило оценить режимы работы агрегатов стенда (как реальных, так и имитируемых), а также определить расчетные значения основных эксплуатационных показателей, которые должны быть получены на испытательном стенде. Моделирование выполнено в среде MATLAB/Simulink с помощью разработанной ранее модели АТС с КЭУ.

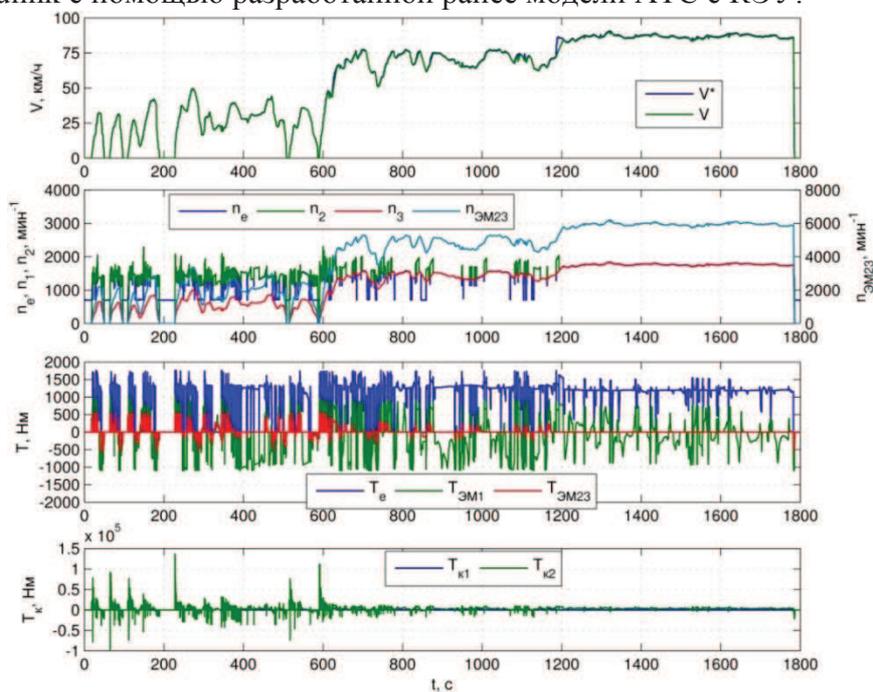


Рисунок 5. Движение автомобиля в ездовом цикле ЕТС. «Показатели-1»

В ходе виртуальных испытаний (помимо расчетной V [км/ч] и требуемой V^* [км/ч] скоростями движения автомобиля в ездовом цикле) рассчитывались следующие параметры, разделенные на три группы:

- группа «Показатели-1»:
 - частота вращения вала ДВС, n_e [мин⁻¹];
 - частота вращения входного вала АКП, n_2 [мин⁻¹];
 - частота вращения выходного вала АКП, n_3 [мин⁻¹];
 - частота вращения вала электромашин привода передних колес, $n_{ЭМ23}$ [мин⁻¹];
 - крутящий момент ДВС, T_e [Нм];
 - момент электромашин привода колес задней тележки, $T_{ЭМ1}$ [Нм];
 - суммарный момент электромашин привода передних колес, $T_{ЭМ23}$ [Нм];
 - момент на колесах переднего моста (без момента механических тормозов), $T_{к1}$ [Нм];
 - момент на колесах задней тележки (без момента механических тормозов), $T_{к2}$ [Нм];

- группа «Показатели-2»:
 - мгновенный расход топлива ДВС, G_t [г/с];
 - состояние заряда батареи, SOC [0...1];
- группа «Показатели-3»:
 - положение педали акселератора, Акс [0...1];
 - положение педали тормоза, Торм. [%];
 - состояние сцепления, 0 – выключено, 1 – включено;
 - включенная передача.

Результаты представлены ниже на рисунках 5 – 7.

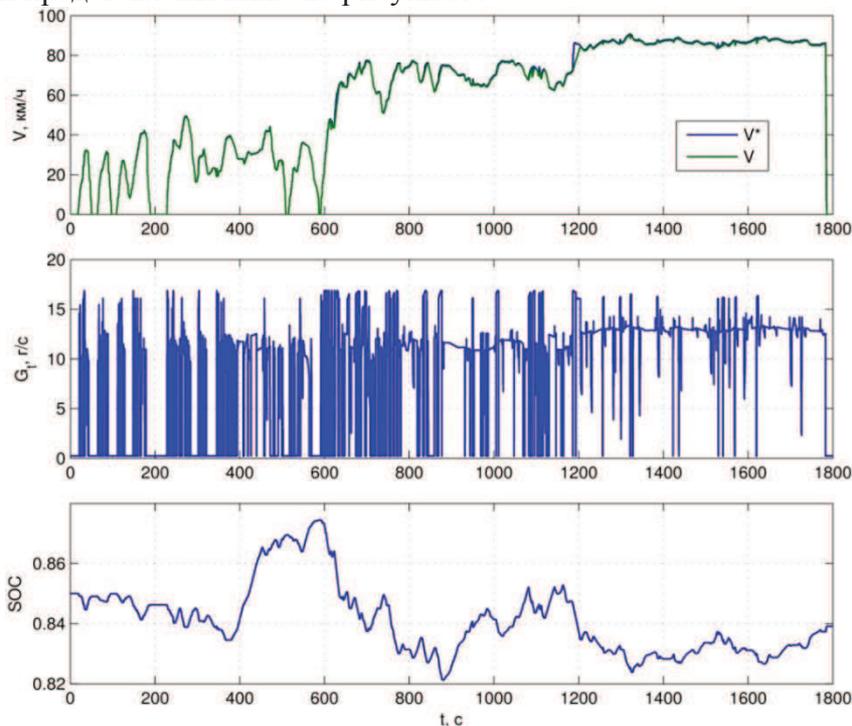


Рисунок 6. Движение автомобиля в ездовом цикле ЕТС. «Показатели-2»

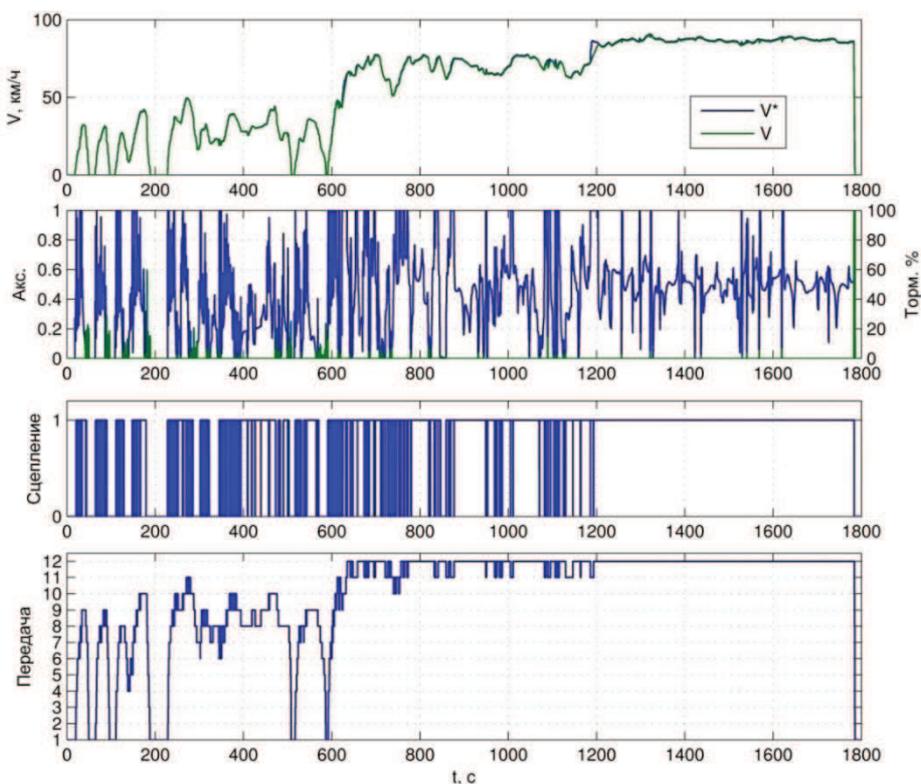


Рисунок 7. Движение автомобиля в ездовом цикле ЕТС. «Показатели-3»

Показатели по группе 1, полученные в результате вычислительных экспериментов, использовались для определения режимов работы нагружающих устройств стенда. Показатели по группе 2 (путевой расход топлива $Q_s = 69.26$ л/100 км с отрицательным дисбалансом SOC 1.09%) использовались для оценки адекватности разработанной математической модели АТС.

Литература

1. Корнилов Г.С., Козлов А.В., Теренченко А.С., Коркин С.Н. Динамические и топливно-экономические показатели магистрального автопоезда с полноприводным тягачом, оснащенным комбинированной энергоустановкой. «Автомобильная промышленность» 2013, №10, с.14-16.
2. Нагайцев М.В., Кутенёв В.Ф., Эйдинов А.А. Перспективы развития конструкций комбинированных энергоустановок автотранспортных средств. Сборник научных статей «Труды НАМИ», 2013, выпуск № 254, с. 5-19.