

2. Больше воздуха! (Исследование Nokian Tyres) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://koleso.topof.ru/news.php>
3. Давление в шинах - национальная проблема США [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.unityre.kz/index.php?p=news>
4. Системы проверки давления в шинах: NHTSA [Электронный ресурс]. - [2007]. - Режим доступа: <http://alflash.com.ua/Learn/tpn.pdf>
5. Сычёв А.В. Проблемы давления в шинах в России и за рубежом / А.В. Сычёв, И.М. Рябов // Ежегодная XVIII международная. Интернет - конференция молодых учёных и студентов по современным проблемам машиноведения (МИКМУС-2006): тез. докл. конф., 27-29 дек. 2006 г. / Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН - М., 2006. - С. 24.
6. Красавин П.А., Смирнов А.О., Тимаев Д.М. О необходимости управления давлением воздуха в шинах легковых автомобилей. Известия МГТУ МАМИ, – М, 2013, Т. 1, № 1, с. 91-96.

Технология HIL как инструмент создания автомобильных многоприводных силовых агрегатов

Куликов И.

Университет машиностроения

8(495)223-05-23 (1204), i.kulikov.mami@gmail.com

Аннотация. В статье проведен анализ применения технологии аппаратно-программного моделирования технических систем (технология HIL) в разработке силовых агрегатов с индивидуальным приводом колес или осей. Приводится краткий обзор функций этих силовых агрегатов, характеризуются наиболее трудные задачи, решаемые в процессе их создания, и инструменты их решения, которые дает технология HIL. Описаны основные принципы аппаратно-программного моделирования автомобиля с помощью агрегатного стенда и технологии HIL. В качестве примеров приведены исследования и разработки ведущих зарубежных фирм (LuK, Froude Hofmann, Horiba), НТИЦ «Автомобили с КЭУ», ФГУП НАМИ и фирмы «НАМИ-Сервис» в областях индивидуального привода колес и HIL-систем.

Ключевые слова: Hardware-in-the-Loop, HIL, многоприводные автомобили, силовые агрегаты, управление моментами на осях и колесах, математическое моделирование.

Многоприводные системы с независимым управлением моментами на колесах или осях

Концепции привода отдельных осей и отдельных колес автомобиля от индивидуальных силовых агрегатов в последние годы становятся все более актуальными. Очевидно, что в первую очередь это связано с развитием технологии тягового электрического привода, который считается самым перспективным силовым агрегатом для автомобилей, предназначенных для пассажирских и коммерческих перевозок. Удельные (на 1 кВт мощности) массогабаритные показатели современных электродвигателей позволяют компоновать их в трансмиссии автомобиля в количестве, достаточном для привода не только каждой оси, но и нередко каждого колеса, обеспечивая при этом требуемые тяговые и скоростные характеристики автомобиля.

Электрические силовые агрегаты, обеспечивающие раздельное независимое управление моментами на колесах разных бортов и предназначенные для пассажирских и коммерческих автомобилей, в основном осуществляют функции активной безопасности. В качестве примера можно привести модуль электропривода фирмы LuK с устройством несимметричного управления тягой на правом и левом колесах (рисунок 1).

В этом модуле имеется одна силовая электромашина, планетарный дифференциал и соединенное с ним устройство несимметричной тяги, которое представляет собой планетарную

передачу со встроенным в нее «корректирующим» электродвигателем, создающим собственную несимметричность. В работе [1] описывается устройство модуля и следующие его функции:

- «assisted steering» – «подруливание», которое улучшает управляемость автомобиля, например, при обгоне, смене полосы движения или входе в поворот. В перспективных системах «автопилота», берущих на себя часть функций водителя, функция «подруливания» может быть использована для автоматического объезда препятствий;
- курсовая устойчивость – сохранение задаваемого водителем направления движения при действии внешних возмущений, которые могут это направление изменить. Основным видом таких возмущений являются разные условия сцепления правого и левого колес («микст»), другим примером возмущения можно считать сильный боковой ветер;
- улучшение субъективного ощущения динамики автомобиля;
- улучшение тяговых свойств – наиболее полная реализация мощности двигателя в контакте колес с опорной поверхностью в условиях ограниченного сцепления.

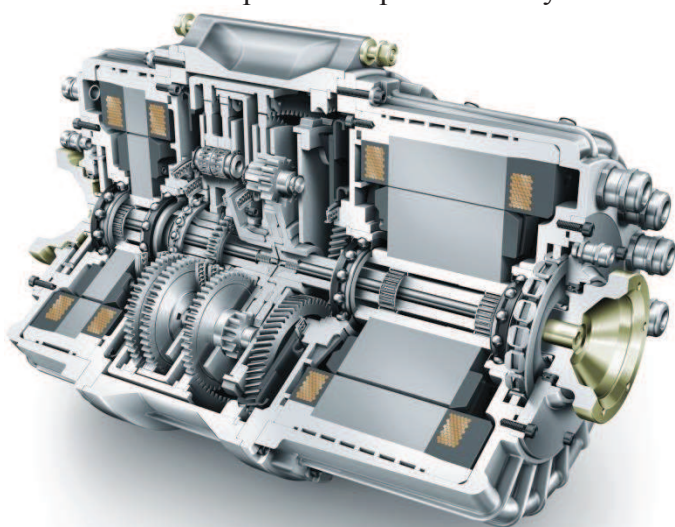


Рисунок 1. Активный дифференциал LuK (рисунок с сайта Schaeffler Group)

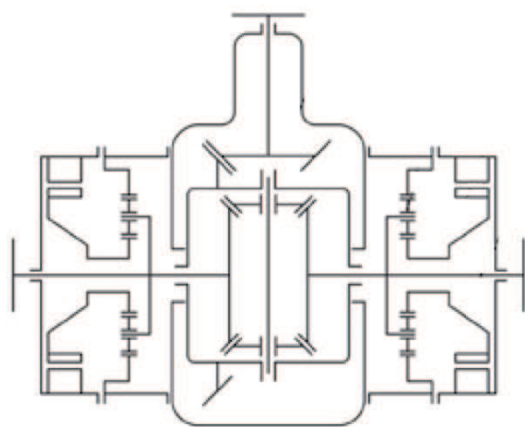


Рисунок 2. Гибридный несимметричный привод колес разработки НТЦ «Автомобили с КЭУ» [2]

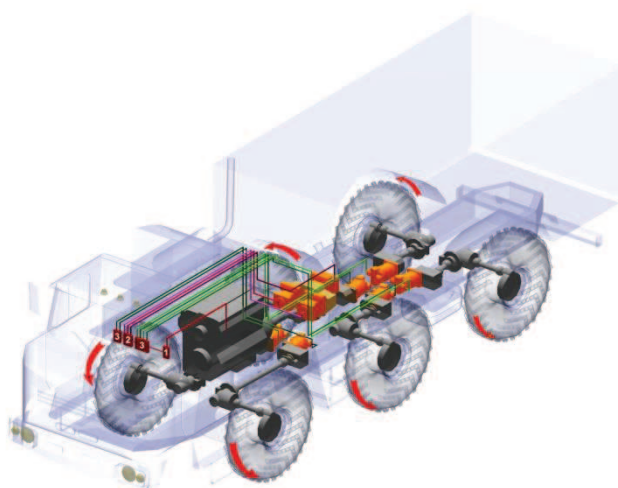


Рисунок 3. Полноприводный автомобиль фирмы НАМИ-Сервис

Очевидно, что более гибкая и полностью независимая для правого и левого колес реализация несимметричной тяги может быть достигнута с помощью двух одинаковых электродвигателей в приводах обоих колес. Причем эти двигатели не обязательно должны быть основными тяговыми агрегатами, а следовательно, могут иметь относительно небольшие мощность, массу, размеры и стоимость. Их назначением является помощь основному силовому

агрегату, рекуперация и создание несимметричности моментов. Такая система, в частности, разработана специалистами НТЦ «Автомобили с КЭУ» Университета машиностроения (рисунк 2) для гибридного автомобиля. Подробное описание ее конструкции и функций, а также анализ аналогичных по назначению систем приведены в работе [2].

Последняя из перечисленных выше функций – улучшение тяговых свойств за счет индивидуального распределения момента по колесам – наиболее актуальна для автомобилей повышенной проходимости. В этом секторе, помимо серийных пассажирских автомобилей, обращают на себя внимание специализированные автомобили, предназначенные для транспортной работы в труднопроходимой местности. Обычно такие автомобили многоосные и многоприводные. В качестве примера можно привести разработку фирмы «НАМИ-Сервис» (рисунк 3), описанную в статье [3]. Особенностью этого автомобиля является то, что в нем для привода каждого колеса используются не электрические двигатели, а гидромоторы, приводимые от двигатель-насосной установки.

Индивидуальный привод: задачи

Наиболее трудными задачами при создании силовой установки с индивидуальным приводом колес являются:

- разработка алгоритма управления установкой;
- разработка и настройка аппаратной части системы автоматического управления (САУ);
- реализация алгоритма управления в аппаратной части САУ и отладка его работы на автомобиле.

Первая задача подразумевает создание концептуальной основы алгоритма, формулировку его в виде системы логических правил и законов регулирования, имплементацию алгоритма в математической модели объекта управления, изучение взаимодействия алгоритма и объекта управления с помощью вычислительных экспериментов и корректировку алгоритма. Эти действия, как правило, выполняются итеративно, что делает процесс разработки алгоритма циклическим. Цикл завершается, если достигнута цель управления (например, улучшение курсовой устойчивости или проходимости в соответствии с определенными критериями). Некоторые составляющие этого процесса, прорабатываемые при создании многоприводного автомобиля высокой проходимости, описаны в работах [4] и [5]. Трудности первой задачи – это трудности теоретического плана: недостаточная проработка теории индивидуального привода колес, а также вопросы соотношения между сложностью математической модели, ее точностью и адекватностью отражения релевантных процессов.

Сложность второй задачи заключается в основном в том, что современная САУ состоит из большого числа электронных компонентов, исполнительных механизмов и датчиков, организация физического и информационного взаимодействия между которыми представляет собой весьма трудоемкую работу.

Третья задача, возможно, самая трудо- и ресурсозатратная из всех по следующим причинам. Во-первых, математическая модель, создаваемая при решении первой задачи, не может учитывать всех особенностей работы электроники и исполнительных механизмов системы управления. Среди этих особенностей есть такие важные свойства, как зашумленность сигналов, получаемых с датчиков, задержки реакций компонентов системы на управляющие воздействия, а также переходные характеристики исполнительных механизмов. Как следствие, поведение системы управления и объекта управления может в той или иной степени отличаться от поведения их математических моделей. Чем больше эти отличия, тем больший объем доводочных работ будет необходимо провести на автомобиле в условиях его дорожных или полигонных испытаний. С испытаниями связан второй аспект задачи. Системы индивидуального привода колес реализуют свои функции путем влияния на взаимодействие колес с опорной поверхностью. Т.е. для тестирования этих функций автомобиль должен испытываться на специально выбранной или подготовленной местности. Например, в работе [6] описываются испытания многоприводного автомобиля, проводившиеся для определения его способности преодолевать единичные «макропрепятствия» (такие, как рвы), а также для настройки САУ с целью улучшения профильной проходимости автомобиля. Испытания по-

требовали специально подготовленного участка полигона, на котором было выполнено несколько десятков заездов. Очевидно, что организация таких испытаний связана с рядом трудностей, в том числе обусловленных временем года и погодными условиями. Кроме того, доводка САУ вынужденно проводится либо в полевых условиях, либо уже после испытаний, так сказать «офлайн», со всеми вытекающими ограничениями.

Технология НПЛ

Технология аппаратно-программных испытаний, называемая английским термином Hardware-in-the-Loop (HIL), изначально являлась методом тестирования различных контроллеров (авиационных, автомобильных), в котором объект управления заменяется математической моделью, реализованной на ЭВМ и синхронизированной с реальным временем (ниже модель с этими признаками называется виртуальной). Контроллер через интерфейс (например, CAN) обменивается сигналами с моделью так, как это происходило бы в реальном техническом объекте. В таком виде использование технологии НПЛ предполагается, например, в методике сертификационных испытаний, которая разработана для новых Правил ЕЭК ООН, регламентирующих процедуры определения экологических и энергетических свойств коммерческих гибридных автомобилей и автобусов [7].

За последние десять лет технология НПЛ перешла на качественно новый уровень, который в западных работах нередко характеризуется не иначе как «новая парадигма» создания технических объектов и систем [8]. Главной особенностью этого перехода является то, что некоторые компоненты виртуальной модели стали заменяться соответствующими реальными агрегатами. Работа [8] рассказывает о созданной ее авторами НПЛ-системе, воспроизводящей прямолинейное движение автомобиля и состоящей из реального двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и его систем (охлаждение, очистка отработавших газов и т.д.), виртуальных моделей остальных частей силового агрегата и модели автомобиля. Стендовое оборудование для НПЛ такого типа выпускается производителями испытательных систем, например, Froude Hofmann [9]. С точки зрения испытаний ДВС, данные системы расширяют возможности исследователя: в дополнение к тестированию в статических режимах и в динамических режимах с задаваемыми оператором или программой нагрузочными или скоростными профилями динамометр позволяет воспроизводить работу ДВС в автомобиле (с возможностью выбора параметров автомобиля: массы, c_x , радиуса колеса, параметров трансмиссии и т.д.), который движется в интересующем исследователя режиме (весьма актуальны ездовые циклы). С точки зрения разработки силового агрегата и, в частности, его системы управления, большой объем работ по которой проводится на моделях, НПЛ-система полезна тем, что наиболее трудный для математического моделирования компонент – ДВС – представлен в ней своей самой точной «моделью» – реальным агрегатом и его системами. Это, в частности, значительно повышает адекватность оценки влияния управления силовым агрегатом на выбросы им вредных веществ как до, так и после нейтрализатора.

Взаимодействие между ДВС и виртуальной моделью в описанной выше НПЛ-системе осуществляется через механическую нагрузку, которая, как и в традиционных агрегатных стендах, создается нагружающим устройством, соединенным с валом ДВС. НПЛ предъявляет повышенные требования к данному устройству: обратимость – способность создавать как тормозной, так и тяговый момент; высокое быстродействие для воспроизведения динамических процессов; высокая точность отслеживания заданной частоты вращения или заданного момента. Перечисленными свойствами обладает, например, тяговый электропривод электромобилей, что позволяет использовать его в качестве нагружающего устройства в НПЛ-системе.

Управление НПЛ-системой осуществляется по принципу классического автоматического регулирования с отрицательными обратными связями, что иллюстрирует рисунок 4.

В терминах теории автоматического управления компоненты данного НПЛ-стенда будут называться: нагружающее устройство – объект управления; силовой агрегат (ДВС, тяговая электромашина, гидромотор или их сочетания; с трансмиссией или без нее) – источник возмущающего воздействия; виртуальная модель автомобиля – генератор сигнала уставки. Си-

стема работает следующим образом. Регулирование двигателя вызывает вращение его вала. Частота вращения (n_e) передается с датчика на валу в ЭВМ (обратная связь), где сравнивается с частотой вращения вала двигателя модели автомобиля (n_e^*). Неравенство этих величин создает ошибку регулирования (e), которая отправляется в регулятор, генерирующий сигнал компенсации ошибки – момент нагружающего устройства ($T_{нагр}$). Значение возникающего в результате момента на валу двигателя (T_e) отправляется с датчика в ЭВМ (обратная связь), где используется в качестве входной переменной для модели автомобиля, начинающей под действием этого, виртуального, момента движение. Охваченная таким образом двумя обратными связями, система НН замыкается. Данный принцип распространяется и на системы с большим числом агрегатов, в том числе приводящих разные колеса.

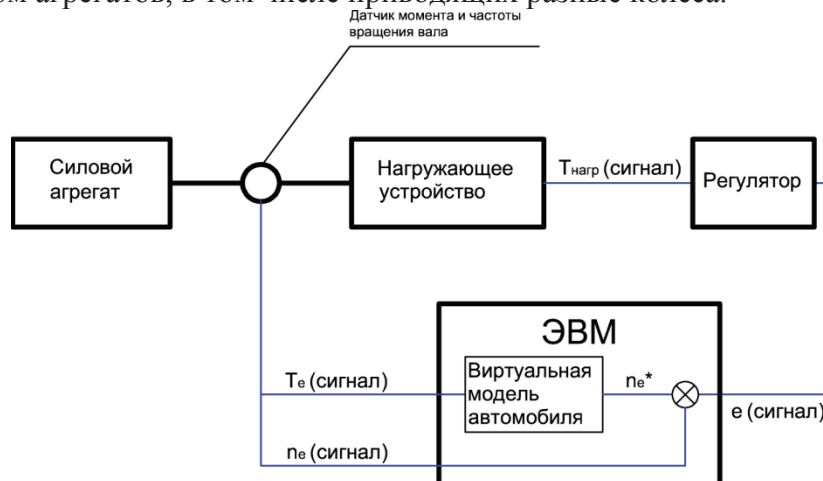


Рисунок 4. НН как система автоматического регулирования

Сложность математической модели автомобиля и компонентов силовой установки, работающих в ЭВМ НН-системы, зависят от целей исследователя или разработчика, а также от того, отразится ли, и если отразится, то каким образом, работа усложненной модели на работе реальных агрегатов НН-стенда. Например, для исследования показателей ДВС в ездовом цикле достаточно использовать простейшую одномассовую модель прямолинейного движения автомобиля. Если же требуется изучать работу силового агрегата при движении автомобиля в условиях ограниченного сцепления колес с опорной поверхностью, то необходима как минимум двухмассовая модель: одна масса для автомобиля и одна масса для приводной оси. В этом случае, скорее всего, одного только ДВС на стенде будет уже недостаточно: его режим работы не имеет однозначной связи с проскальзыванием ведущих колес. Желательно, чтобы «железная» часть стенда охватывала силовой привод вплоть до вала, имеющего постоянную связь с колесами (например, выходной вал коробки передач). Такая НН-система стендовых испытаний была запатентована фирмой Horiba [10].

В применении НН к созданию многоприводных силовых агрегатов и их систем управления модель автомобиля должна быть многомассовой, чтобы отражать динамику автомобиля и динамику отдельных колес. Каждый привод на стенде должен быть представлен своим основным силовым агрегатом «в металле». Виртуальная модель автомобиля и способ управления нагружающими устройствами для подобной системы были разработаны автором данной статьи в рамках проекта ФГУП НАМИ [11], в ходе которого создавался испытательный стенд, предназначенный для отработки системы управления комбинированной энергоустановкой (КЭУ) экспериментального автопоезда (заказчик работ ОАО «КамАЗ»). Данный стенд показан на рисунке 5. Он состоит из гибридного привода заднего моста тягача (дизель и автоматизированная коробка передач ZF с гибридным модулем, рисунок 5а) и отдельных электрических приводов правого и левого колес переднего моста тягача (рисунок 5б, электромашины справа).

По заданию заказчика стенд должен позволять тестировать систему управления КЭУ, включая функции противобуксования и несимметричного привода переднего моста в условиях различного сцепления колес с дорогой и при воспроизведении таких тестов на управля-

емость, как «переставка» и «вход в поворот». Для решения этих задач была разработана НПЛ-система, которая с помощью нагружающих устройств (асинхронные электромашин) обеспечивает взаимодействие КЭУ и виртуальной модели автопоезда. Нагружатели установлены: на выходном валу коробки передач (на рисунке 5а нагружатель не показан), на валах тяговых электромашин переднего привода (показаны слева на рисунке 5б). Виртуальная модель автопоезда позволяет воспроизводить движение во всех перечисленных условиях, получая входные сигналы с датчиков момента и частоты на валах КЭУ и выдавая уставки частот в качестве управляющих сигналов для нагружателей. Испытания данной системы запланированы на осень 2014 г.

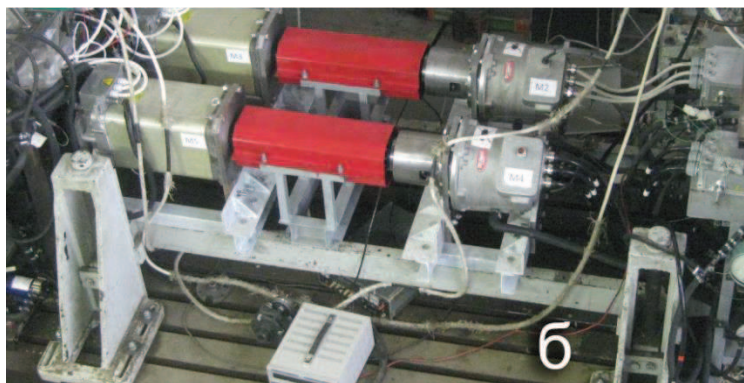
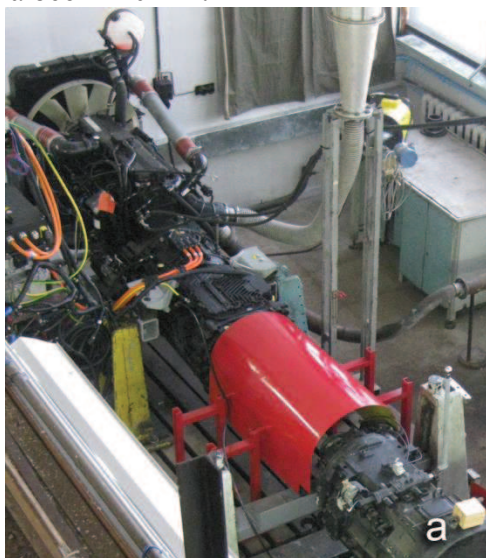


Рисунок 5. Система НПЛ для гибридной установки седельного тягача в лаборатории ФГУП НАМИ

Использование НПЛ-стенда с верифицированной виртуальной моделью, отражающей перемещение автомобиля в трехмерном пространстве, сцепные свойства его колес и свойства опорных поверхностей, дает исследователю или разработчику силового агрегата следующие возможности:

- измерение и онлайн обработка всех релевантных величин, в том числе тех, которые трудно или невозможно измерять в полевых условиях; воспроизводимость испытаний; независимость испытаний от времени года и погодных условий; возможность организации испытаний непосредственно в лаборатории разработчика, т.е. возможности лабораторных испытаний;
- воспроизведение всех интересующих исследователя условий работы автомобиля, включая физические свойства опорных поверхностей и макрорельеф местности; воспроизведение всех интересующих разработчика режимов движения автомобиля, таких как ездовые циклы, криволинейное движение, поддержание заданного курса и т.д., т.е. возможности виртуального моделирования.

Сочетание перечисленных возможностей делает технологию НПЛ мощным инструментом разработки силовых агрегатов, особенно многоприводных с индивидуальным управлением моментами на колесах или осях.

Возможности применения НПЛ в работах НТЦ «Автомобили с КЭУ»

В настоящее время НТЦ «Автомобили с КЭУ» ведет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по реализации КЭУ оригинальной последовательно-параллельной схемы в полноприводном исполнении (рисунок 6а) на малотоннажном коммерческом автомобиле УАЗ-Карго (рисунок 6б).

Разрабатывается инструментарий теоретического исследования свойств КЭУ и создания алгоритмов управления ей посредством теории оптимального управления [12] (работа проводится в рамках ФЦП Министерства образования и науки РФ). Проведен монтаж основ-

ных компонентов КЭУ на автомобиле. Вместе с тем, лаборатория НТЦ оснащена агрегатным стендом, который воспроизводит КЭУ последовательно-параллельного типа в заднеприводном варианте.

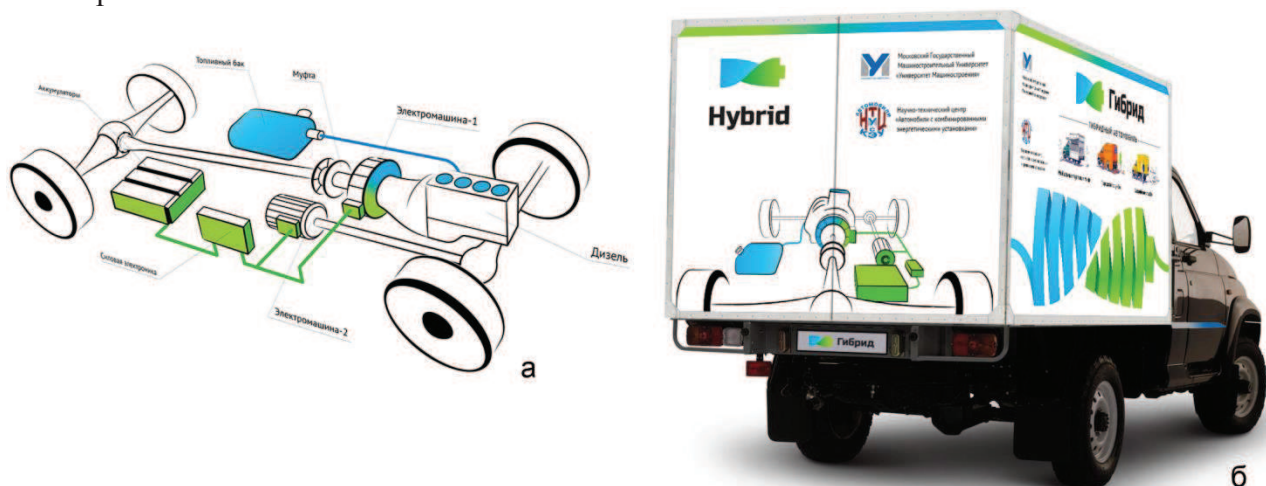


Рисунок 6. Малотоннажный грузовой автомобиль с КЭУ последовательно-параллельной схемы: а – схема КЭУ; б – автомобиль на выставке MIMS-2014

В этой связи прорабатывается возможность его преобразования в HIL-систему с реализацией полного привода. Создан и тестируется предварительный вариант виртуальной модели автомобиля. Это позволит не только тестировать алгоритмы управления КЭУ с реальными агрегатами (в т.ч. использование индивидуального электропривода осей для улучшения тяговых свойств и реализации функций активной безопасности), но и исследовать саму технологию HIL для совершенствования умения пользоваться ей.

Литература

1. T. Smetana, T. Biermann, B.-R. Höhn, F. Kurth, C. Wirth, «Schaeffler active eDifferential. The active differential for future drive trains», Schaeffler Symposium, 2010.
2. Бахмутов С.В., Круташов А.В., Маликов О.В. Расширение функциональных возможностей – необходимый шаг в развитии конструкции гибридных автомобилей. Журнал Автомобильных Инженеров, №6 (77), 2012.
3. Шухман С.Б., Анкинович Г.Г., Соловьев В.И., Прочко Е.И. Полноприводной автомобиль с гидрообъемной трансмиссией. Журнал Автомобильных Инженеров, № 6 (23), 2003.
4. Шухман С.Б., Бахмутов С.В., Коркин С.Н., Малкин М.А. Принципы автоматического управления гибкой трансмиссией полноприводного АТС. Автомобильная промышленность, № 2, 2007.
5. Бахмутов С.В., Лепешкин А.В., Шухман С.Б. Силовой привод колес многоосных машин: перспективы научного поиска оптимальных решений. Автомобильная промышленность, №3, 2005.
6. Малкин М.А. Метод повышения профильной проходимости полноприводного автомобиля за счет применения регулируемого силового привода колес. Дисс. к.т.н., 2010.
7. GRPE informal group on heavy-duty hybrids. Report of investigations. Working paper No HDH-09-15. 2012.
8. H.K. Fathy, Z.S. Filipi, J. Hagen, J.L. Stein, «Review of Hardware-in-the-Loop Simulation and Its Prospects in the Automotive Area», Proceedings SPIE Int. Soc. Opt. Eng., Vol. 6228, 2006.
9. http://www.froudehofmann.com/images/pdfs/FH_TEXCEL_V12_DATASHEET_REV_2_LOW_RES.pdf
10. D.B Johnson, N.M. Newberger, I.C. Anselmo, «Wheel Slip Simulation Systems and Methods», Patent US 8,631,693 B2, Horiba Instruments Inc. (US), 2014.
11. Куликов И.А., Коркин С.Н., Семикин С.Н., Бокарев А.И. Применение технологии HILS в разработке энергоустановки гибридного автопоезда. Труды НАМИ, Выпуск 257, 2014.
12. I.A. Kulikov, E.E. Baulina, A.I. Filonov, «Optimal Control of a Hybrid Vehicle's Powertrain

Эволюция концепт-артов и концептов в транспортном дизайне XX века

к.т.н. Лепешкин И.А., Круглов С.М., к.т.н. проф. Лепешкин А.В.

Университет машиностроения

8(495) 223-05-23 доб. 1329, luc-li@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается эволюция концептуальных разработок в сфере транспортных средств. Отчетливо можно проследить значимость данных разработок и влияние на их формирование со стороны различных сфер жизни человека. Концептуальный транспорт находит свое применение не только в сфере развлечений, таких как фантастические фильмы или компьютерные игры, но и имеет определяющее значение при проектировании новых промышленных объектов в автомобилестроении и в выборе стратегических направлений развития промышленности и каждого бренда в частности.

Ключевые слова: транспортный дизайн, концепт, концепт-арт, автомобиль, ретрофутуризм, футуродизайн

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках проекта «Дизайн, как фактор повышения конкурентоспособности продукции (транспортный дизайн)», № 14-33-01243.

После промышленной революции прототипы новых транспортных средств появлялись один за другим. Кареты уже перестали быть чем-то особенным, их внешний вид постепенно сливался с окружающим миром и воспринимался обыденно в городской среде. Им на смену спешили новые машины. Человечество включилось в гонку за скоростью и искало новые способы передвижения. Первым практически действовавшим паровым автомобилем считается «паровая телега» француза Никола-Жозефа Кюньо (1769), однако она была слишком ненадежна и неповоротлива. Изобретателями же первого автомобиля с бензиновым двигателем были признаны Готлиб Даймлер и Карл Бенц. Работали они в одно и то же время в соседних германских городах Маннгейме и Бад-Канштатте (пригород Штутгарта) на расстоянии часа езды на современном автомобиле. Оба построили действующие самодвижущиеся повозки в 1885 году и получили на них патенты. Однако первым серийным автомобилем принято считать автомобиль Бенца «Motorwagen» (рисунок 1).



Рисунок 1. Benz Patent Motorwagen



Рисунок 2. Cadillac La Salle (1927 г.)

С появлением первого автомобиля эволюция кузова находилась в постоянном процессе изменения, поиска своих «истинных» форм. К концу первого десятилетия 20 века автомобиль начал превращаться в более или менее надежное средство транспорта. Промышленные дизайнеры, правда, этого объекта продолжали сторониться, и внешний вид ранних автомобилей, если кого-либо и заботил, то исключительно их изобретателей и мастеров-каретников.