

## **Научный симпозиум, посвященный проектированию полноприводных колесных машин**

Симпозиум был организован кафедрой “Колесные машины” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Заседание открыл руководитель НУК “Специальное машиностроение” В.В. Зеленцов. Он кратко рассказал о научных школах в МГТУ им. Н.Э. Баумана, которому в этом году исполняется 175 лет, и о научных работах и достижениях всех 13 кафедр комплекса.

Выступивший затем профессор кафедры “Колесные машины” А.А. Полуныч рассказал об успехах кафедры за ее почти 70-летнюю историю в совершенствовании учебного процесса, постоянно ведущихся научных исследованиях в подготовке инженерных кадров, а также о проводимых научно-исследовательских работах по заданиям промышленных предприятий. Многие из выпускников кафедры, основанной в 1936 г. академиком Е.А. Чудаковым, впоследствии стали крупными учеными — академик РАН К.С. Колесников, известные профессора А.А. Лапин, Н.К. Куликов, А.К. Фрумкин; руководителями крупных конструкторских коллективов — главные конструктора П.К. Ципулин (АМО-ЗИЛ), А.А. Липгарт (ГАЗ), Б.Л. Шапошник (МАЗ), Р.А. Розов (Брянский автозавод), С.Г. Вольский (СКБ ЗИЛ), генеральный директор Крюковского вагонного завода (г. Кременчуг, Украина) В.И. Приходько, директор Дмитровского автополигона В.И. Котляренко, заместитель генерального конструктора МИТа В.П. Ефимов; крупные государственные деятели Н.Г. Егорычев, Б.Н. Мирошников и др. В настоящее время ведутся научные работы по многим направлениям: моделирование динамических процессов и прогнозирование динамической нагруженности колесных машин; создание элементов колесных машин из композиционных полимерных материалов; снижение вибраций и шума колесных машин; разработка адаптивных систем поддрессоривания и конструкций внедорожных колесных машин нетрадиционных типов; работы по совершенствованию управляемости, устойчивости и маневренности многосвязных большегрузных автопоездов.

На кафедре большое значение придается работе над учебниками и учебными пособиями. Только за последние 10 лет было издано 7 фундаментальных учебников.

Участников симпозиума поздравила Е.В. Кисарева из Совета Федерации РФ. В ее выступлении были обозначены основные направления дальнейшего развития автомобильной отрасли в России. Затем выступил И.А. Плиев — заместитель генерального директора НАМИ по научной работе.

В докладе, посвященном сравнительному анализу параметров отечественных и зарубежных автомобилей многоцелевого назначения, были приведены зависимости от полной массы автомобиля таких основных его параметров, как максимальная и удельная мощность, удельная грузоподъемность, условное среднее давление на грунт и максимальная скорость. Полученные зависимости являются результатом обработки массива данных 36 автомобилей классов грузоподъемности 4–15 т, как стоящих на вооружении передовых

стран Европы, Америки и Азии, так и находящихся в разработке, а также 13 автомобилей отечественного производства. В выступлении отмечалось, что отечественные автомобили, по которым сравнительно недавно закончились ОКР (например, семейство автомобилей “Мустанг”), находятся по рассмотренным показателям на уровне мировых аналогов, а по условному среднему давлению на грунт, которое определяет опорную проходимость, в большинстве превышают мировой уровень.

В докладе доцента кафедры СМ-10 В.И. Рязанцева были рассмотрены вопросы повышения устойчивости и улучшения управляемости автомобиля за счет непрерывного автоматического регулирования угла схождения колес в процессе движения автомобиля. Как отметил докладчик, при проектировании автомобиля конструктор располагает довольно ограниченными возможностями для организации пассивного регулирования угла схождения колес в движении. В связи с этим дальнейшее развитие систем, обеспечивающих направленное изменение угла схождения при движении автомобиля, может быть реализовано только применением активных систем регулирования, которые способны обеспечить наилучшие углы схождения на всех или на подавляющем большинстве режимов движения автомобиля.

Рассматривая возможные алгоритмы работы систем регулирования, докладчик обозначил два критерия, по которым осуществляется регулирование. Первый — это нулевые боковые реакции при прямолинейном движении по горизонтальной поверхности, второй критерий — пропорциональность горизонтальных и вертикальных реакций на левое и правое колеса оси. Полученная математическая модель системы автоматического регулирования угла схождения колес совместно с моделью движения автомобиля позволили провести вычислительные эксперименты для оценки эффективности их применения на автомобиле, которые показали, что автомобиль, оборудованный данной системой, имеет лучшую устойчивость и управляемость. В.И. Рязанцев сделал вывод о целесообразности разработки систем регулирования угла схождения колес для перспективных автомобилей.

В выступлении Н.С. Вольской, доцента Московского государственного индустриального университета, была рассмотрена методика определения показателей проходимости колесной машины (КМ) при движении по неровным грунтовым поверхностям. Было отмечено, что при проведении расчетов по проходимости КМ на стадии проектирования необходимо учитывать следующие важные процессы: изменение параметров колебаний автомобиля из-за деформации грунта; возникновение дополнительных динамических нагрузок, действующих на оси колес из-за колебаний; взаимодействие колес с грунтом с учетом действия колебательных нагрузок.

Для моделирования взаимодействия грунта и колесного движителя разработана методика представления характеристик грунтовых поверхностей, основанная на модели деформируемости грунта, разработанной Я.С. Агейкиным. В этой модели в составляющие процесса взаимодействия колеса с грунтом — задавливание и сдвиг — в качестве параметров, определяющих эти характеристики процесса, входят независимые инварианты: модуль деформации, внутреннее сцепление в грунте, угол внутреннего трения грунта. Деформационные свойства грунта также определяет толщина мягкого слоя. Для перехода от физических характеристик грунта (влажности, предела текучести, относительной влажности грунта, плотности грунта, плотности скелета

грунта) к указанным механическим характеристикам предложены соответствующие зависимости. По предложенной методике возможно получение принципиального вида вероятностно-статической базы механических независимых характеристик грунтов, по которой можно проводить расчеты колесного движителя специального транспортного средства.

Генеральный директор проектного центра “Спектр” компании “Лойл нефтехим” А.Б. Ненахов в своем докладе привел расчетную систему, разработанную в центре и ориентированную на использование в процессе проектирования пневматических шин. Так, система позволяет оценить напряженно-деформированное состояние шины, потери механической энергии в материале, распределение температуры по профилю шины, параметры контакта шины с опорной поверхностью с учетом рисунка протектора. Для моделирования резинокордной структуры шины использовались различные типы конечных элементов, в том числе объемные изотропные элементы, отдельно выделяющие нити корда и резиновую матрицу.

Созданная система методов расчета позволяет прогнозировать основные эксплуатационные характеристики шин: работоспособность, износостойкость, скоростные свойства, сцепные свойства шины на различных покрытиях, показатели шумового воздействия. Разработанная методология проектирования использовалась при создании конструкций легковых, легкогогрузовых и грузовых шин, а также грузовых шин с регулируемым давлением для производства их на шинных предприятиях России и стран СНГ.

Заместитель генерального директора — директор по научной работе ОАО НИИСтали А.И. Егоров посвятил свой доклад проблемам защиты боевых машин и повышения их живучести. Он отметил, что в условиях современных локальных войн приоритетной проблемой совершенствования и развития боевых машин становятся защищенность и боевая живучесть машин легкой категории (БМП и БТР), что обуславливает совершенно новые требования к этим машинам. В связи с этим необходимо создать современную концепцию БМП и БТР как класса “транспортно-боевые машины”, отличающегося от класса “боевые машины”. Главным при формулировке тактико-технических требований (ТТТ) к комплексу защиты экипажа, боекомплекта и жизненно важных узлов и агрегатов этих машин является четкое определение места и роли конкретного образца техники в боевой операции, характерной для современных условий применения ограниченных контингентов вооруженных сил в локальных конфликтах. По мнению докладчика, ТТТ к комплексу защиты транспортно-боевой машины должны разделяться на три группы: 1) для полномасштабных боевых действий; 2) для антитеррористических операций и локальных конфликтов; 3) общее повышение боевой живучести машины. Для достижения максимальной эффективности комплекса защиты и мероприятий по повышению боевой живучести машины, учитывая разные приоритеты в защищенности машин для разных условий их применения, наиболее целесообразным представляется принцип “модульного” построения комплекса защиты, который дает возможность гибкой адаптации защитных устройств комплекса к конкретным условиям планируемой боевой операции, т.е. уровень защиты машины может меняться непосредственно перед боем в войсковых условиях путем изменения числа компонентов, входящих в состав комплекса. А.И. Егоров продемонстрировал фотографии некоторых компонентов такой защиты, разработанных в ОАО НИИСтали.

Еще с одним докладом, посвященным прогнозированию параметров опорной проходимости колесных машин, выступил доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана В.В. Ларин. Им предложена математическая модель взаимодействия эластичного колесного движителя с деформируемым грунтовым основанием.

Модель колесного движителя учитывает геометрические параметры (свободный радиус, высоту и ширину профиля шины, ширину и радиус беговой дорожки, насыщенность и высоту грунтозацепов протектора), позволяет определять нормальные деформации шины, сопротивление качению и продольную (тяговую) реакцию в контакте с опорной поверхностью при изменении нормальной нагрузки, давления воздуха в шинах, коэффициента общего продольного скольжения (упругого, обусловленного нормальной и окружной деформациями шины, и непосредственного, обусловленного скольжением шины относительно опорной поверхности). Также в модели учитывается фрезерование грунта при буксовании, образование зоны пустот и возможной дополнительной вертикальной осадки штампа при ограничении несущей способности одного грунтозацепа.

Достоверность расчетной модели проверена сравнением экспериментальных и расчетных параметров опорной проходимости при движении различных колесных транспортных средств по деформируемым опорным поверхностям. Анализ полученных результатов показывает близкое совпадение экспериментальных и расчетных значений параметров взаимодействия колесного движителя с грунтом.

Доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана Л.Ф. Жеглов в своем докладе рассказал о методах экспериментального прогнозирования шума, создаваемого автомобильной шиной. Он отметил, что оптимального снижения шума, обусловленного автотранспортом, можно добиться, применяя соответствующие шины и дорожные покрытия. Сегодня эти два фактора оказывают наибольшее влияние на внешний шум автомобилей. Проблема создания малошумных шин и контроля их акустических характеристик является чрезвычайно важной.

Для обоснования выбранного метода прогнозирования были рассмотрены основные способы измерения акустических показателей шины. С этой целью был разработан комплекс устройств для стендовых и лабораторно-дорожных испытаний шин, состоящий из передвижной акустической камеры, трейлера, стенда с беговым барабаном и измерителя шероховатости дорожной поверхности. Выполненные исследования позволили разработать схему и технические условия на создание акустической камеры с базовым стендовым оборудованием для контрольного определения шумовых показателей шин.

Профессор В.Г. Анопченко (Красноярский ГТУ) выступил с докладом о колесно-шагающем транспортном модуле (ТМ) для робота. В условиях высоких температур, агрессивных и взрывоопасных сред, где высока вероятность уничтожения мобильных роботов, целесообразно использовать дешевые и технологичные устройства, окупающие себя или приносящие минимальные убытки даже при разрушении в первом заезде. После анализа известных компоновочных схем шасси колесных машин в робототехнике автором была разработана на уровне изобретения ромбовидная компоновка ТМ. Изучение движения экспериментального образца ТМ показало эффективность разработанных технических решений, направленных на повышение проходимости в условиях природного и техногенного бездорожья. Докладчик отметил, что сочетание ромбовидной компоновки с колесно-шагающими движи-

телями обуславливает возможность создания сравнительно дешевых и технологичных в эксплуатации и ремонте транспортных модулей для работы в условиях с высокой вероятностью повреждения или уничтожения.

Доклад ведущего специалиста ОАО “НАМИ-Сервис” Е.И. Прочко был посвящен основным принципам построения гидрообъемной трансмиссии для многоколесного полноприводного автомобиля. При создании интеллектуальной “гибкой” трансмиссии с подводом к каждому колесу требуемого крутящего момента предложено использовать гидрообъемную трансмиссию (ГОТ) с регулируемыми аксиально-плунжерными насосами и регулируемыми аксиально-поршневыми высокооборотными гидромоторами, снабженными индивидуальной электропропорциональной системой управления от бортовой ЭВМ. В предложенной трансмиссии использован принцип построения нескольких (по числу осей) блокированных силовых контуров, каждый из которых включает в себя один насос и два гидромотора для привода колес одной условной оси, и предложены способы оптимальной загрузки осевых контуров ГОТ, исключающие циркуляцию мощности, с помощью бортовой ЭВМ. В заключении докладчик изложил предварительные результаты испытаний автомобиля 49061 ГОТ “Гидроход” с гидрообъемной трансмиссией и продемонстрировал видеоролик об его испытаниях.

Тему управления гидрообъемной трансмиссией продолжил заведующий отделом научно-производственных программ ОАО “НАМИ-Сервис” В.Э. Маляревич. В докладе он рассмотрел вопросы минимизации потерь мощности при прямолинейном движении полноприводного автомобиля за счет перераспределения продольных сил колес путем соответствующего регулирования крутящих моментов, подводимых к колесам, а также привел вывод закономерности, отражающей условие минимума потерь мощности, и структурную схему автоматической системы управления гидрообъемной трансмиссией автомобиля типа 6 × 6 “Гидроход”, реализующая разработанные принципы перераспределения крутящих моментов по колесам.

Старший преподаватель Челябинского высшего военного автомобильного командного инженерного училища А.В. Келлер посвятил свой доклад теоретическим основам повышения эффективности колесных машин оптимизацией распределения мощности. В общем виде основные положения последовательности поиска оптимального распределения мощности докладчик сформулировал следующим образом: 1) определение числа колес, к которым необходимо подводить крутящий момент для обеспечения в данных условиях эксплуатации требуемых (максимально возможных) показателей эксплуатационных свойств; 2) определение расположения колес, к которым необходимо подводить крутящий момент, чтобы обеспечить в данных условиях эксплуатации требуемые (максимально возможные) показатели эксплуатационных свойств; 3) определение характера распределения мощности между ведущими осями, обеспечивающего в данных условиях эксплуатации требуемые (максимально возможные) показатели эксплуатационных свойств. Проведенный анализ позволил выделить две группы однородных свойств, каждую из которых можно оценивать по одному критерию. Докладчик отметил, что такой подход к оптимизации распределения мощности позволяет превратить многокритериальную задачу в задачу двухкритериальной оптимизации, которую можно решить на основе принципа компромисса, т.е. используя минимальный критерий.

Начальник отдела исследований ОАО “Специальное конструкторское бюро машиностроения” (СКБМ) М.В. Вязников выступил с докладом об исследовании проблем управляемости многоцелевых гусеничных машин. Он отметил, что в реальных дорожных условиях реализация высоких скоростных показателей современных гусеничных машин во многом ограничивается их управляемостью. При этом критериями управляемости и устойчивости являются: условие вписываемости в динамический коридор; движение без бокового заноса; параметры реакции машины на управляющее воздействие, определяющие качество переходных процессов входа в поворот и выхода из него.

Для решения проблемы повышения управляемости гусеничных машин на высоких скоростях движения требуется создание автоматизированной системы управления, выполняющей функции непрерывного контроля и корректировки параметров движения при их отклонении от заданных.

В результате проведенных работ с привлечением методов математического моделирования были разработаны общие подходы к формированию структуры многофункциональной системы управления движением гусеничной машины, обеспечивающей обратную связь по заданным параметрам движения. Также была разработана структура алгоритма для систем управления, обеспечивающего распознавание и оценку действий водителя, выбор основного управляемого параметра, адаптацию к заданной цели и внешним возмущающим воздействиям. Основными объектами приложения разработанных интеллектуальных технологий являются перспективные образцы многоцелевых гусеничных машин с современными системами управления на базе программируемой микропроцессорной техники, разрабатываемые в настоящее время ведущими отечественными конструкторскими бюро, в том числе ОАО “СКБМ”.

С докладом, посвященным проблемам пассивной безопасности легкового автомобиля при фронтальном столкновении с препятствием, выступил начальник бюро инженерного анализа автомобиля ОАО “Ижмаш-Авто” Н.М. Филькин. Он указал, что для поиска наиболее рациональных решений, позволяющих повысить способность кузова автомобиля поглощать энергию фронтального и бокового ударов, следует применять математические методы инженерного анализа конструкций, реализованные в виде специализированных комплексов программных средств. Например, для решения проблем прочностного анализа автомобиля и его деталей в ОАО “ИжАвто” используется программный комплекс ANSYS, а для эффективного решения проблем численного моделирования краш-тестов и анализа поведения конструкции автомобиля при действии ударных нагрузок используется специализированный программный комплекс ANSYS/LS-DYNA, с помощью которого был выполнен ряд исследований по проблемам повышения пассивной безопасности и прочностного анализа различных автомобилей семейства “ИЖ”. По результатам этих исследований можно сделать вывод, что расчетные конечно-элементные методы ANSYS/LS-DYNA в комплексе с современной компьютерной техникой — это тот инструмент, который необходим разработчикам при конструировании современной безопасной автомобильной техники.

Доцент Курганского государственного университета И.А. Тараторкин познакомил участников симпозиума с докладом “Моделирование динамики и оптимизация конструкции элементов дотрансформаторной зоны гидромеханических трансмиссий транспортных машин”.

Доцент Московской государственной академии приборостроения и информатики А.В. Спицын выступил с докладом “Комплексный подход к выбору элементов динамической модели трансмиссии”.

Далее работу симпозиума продолжили аспиранты. Из МГТУ “МАМИ” выступил С.А. Морозов с докладом об устойчивости автомобиля на криволинейной траектории. Он сделал вывод о целесообразности оптимизации зависимости наклона плоскостей управляемых колес от угла их поворота в целях повышения устойчивости автомобиля против опрокидывания. Аспирант С.В. Корнеев из МАДИ (ГТУ) рассказал о разработанной методологии оценки потребительских свойств легкового автомобиля.

Аспиранты кафедры “Автомобили и тракторы” Тольяттинского государственного университета, приехавшие на симпозиум с заведующим кафедрой Н.С. Соломатиным, сделали доклады об исследованиях, проводимых совместно с ОАО “АВТОВАЗ”. Д.С. Храпов рассказал о моделировании случайного возмущающего воздействия микропрофиля дороги; А.А. Васильев — об оптимизации автомобиля на топливных элементах; Н.Н. Гусев — о модели колеса для исследования управляемого движения автомобиля с позиции назначения требований к рулевому управлению; С.С. Русаков привел методику деления систем “двигатель–трансмиссия–автомобиль” на функциональные группы; Д.А. Рогачев рассказал о разработке математической модели шасси переднеприводного автомобиля для согласования силового агрегата с автомобилем по критерию виброускорений; Л.А. Орлов — о влиянии современных требований безопасности на переднюю часть автомобиля; А.В. Прасалов — о формировании технических требований к трансмиссии автомобиля ВАЗ-21214М; Е.У. Исаев — об оптимизации компоновки схемы вместимости по эргономическим критериям посадки водителя различных уровней репрезентативности; А.А. Заплатин — о методе ускоренной оценки адекватности различных режимов испытаний деталей подвески по критерию усталостной долговечности.

В заключение симпозиума выступили аспиранты кафедры “Колесные машины”

МГТУ им. Н.Э. Баумана. О нелинейной математической модели управления пространственными колебаниями автомобиля рассказал А.А. Алексеев. Доклад, посвященный разработке алгоритма управления длинноходовой подвеской, сделал И.В. Федотов. Аспирант Д.С. Вдовин познакомил собравшихся с методикой оптимизации сварных точечных соединений в тонкостенных кузовных конструкциях колесных машин с использованием конечно-элементного моделирования. Аспирант Н.В. Чернышев представил доклад на тему “Прогнозирование характеристик криволинейного движения быстроходных колесных машин с бортовым способом поворота”.

В заключительном слове заведующий кафедрой “Колесные машины” Г.О. Котиев отметил высокий уровень и научную ценность выступлений, представленных докладов и поблагодарил всех участников симпозиума.

*Доцент кафедры “Колесные машины”  
МГТУ им. Н.Э. Баумана А.А. Смирнов*