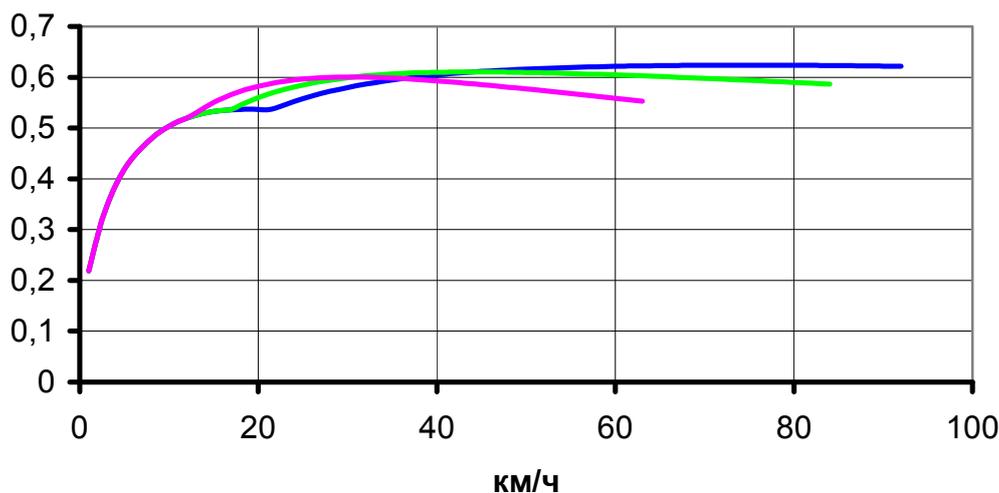


гидромашин. Соответствующие характеристики представлены на рис. 3.



- КПД гидрообъемной трансмиссии при максимальной нагрузке и полном регулировании
- КПД гидрообъемной трансмиссии при максимальной нагрузке и частичном (0,8) регулировании
- КПД гидрообъемной трансмиссии при максимальной нагрузке и частичном (0,6) регулировании

**Рис. 3. КПД ГОТ при равномерном движении**

Количественная оценка уменьшения расхода топлива на частичных законах регулирования по сравнению с полным показывает, что однозначного преимущества того или иного закона регулирования на всех режимах движения не существует. В зависимости от условий или задач движения может быть рекомендован тот или иной закон управления рабочими гидромашинами. Следует также отметить, что в зависимости от параметров гидрообъемной трансмиссии скоростной диапазон, в котором наблюдается преимущество частичного регулирования, а также величина этого преимущества могут быть увеличены.

#### **Вывод**

Таким образом, параметры регулирования гидрообъемной трансмиссии следует выбирать, руководствуясь целью достижения наивысших показателей эффективности машины, критерии которой изменяются в зависимости от условий движения. Результаты проведенного сравнительного анализа указывают на необходимость использования методов многокритериальной оптимизации при определении законов управления гидрообъемной трансмиссией полноприводной колесной машины.

#### **Экспериментальная оценка влияния распределения мощности по осям полноприводного многоосного автомобиля на показатели управляемости и устойчивости**

д.т.н., проф. Бахмутов С.В., Гусаков Д.Н.  
МГТУ «МАМИ»

*Статья посвящена обзору и сравнительному анализу результатов экспериментального исследования полноприводного автомобиля бхб, оснащенного гидрообъемной трансмиссией. Предложена методика экспериментальной оценки управляемости и устойчивости многоосного полноприводного автомобиля. Сделаны выводы о необходимости создания автоматизированной системы управления.*

При проектировании многоосного автомобиля с возможностью индивидуального при-

вода каждого из ведущих колес неизбежно возникает проблема автоматического управления трансмиссией. Важной задачей проектирования становится создание системы управления с обратной связью и возможностью самодиагностики, что подразумевает тщательное изучение законов движения автомобиля в различных условиях. Одной из конечных целей осуществляемого исследования является разработка методов многокритериального оптимального проектирования трансмиссий многоосных полноприводных автомобилей по показателям активной безопасности автомобиля.

В связи с этим был проведен ряд исследований, направленных на:

- разработку методики экспериментальной оценки управляемости и устойчивости многоосного полноприводного автомобиля;
- оценку влияния параметров трансмиссии на управляемость и устойчивость;
- получение первичных данных для разработки законов управления полноприводной гидрообъемной трансмиссии с возможностью индивидуального регулирования мощности на каждом из ведущих колес;
- проведение экспериментальной программы и оценку полученных результатов с точки зрения возможности оптимизационного решения.

Существует два класса задач, которые необходимо решать при оптимизации параметров трансмиссии с позиций показателей устойчивости и управляемости. Первый представляет собой "статическую" задачу, когда моделируется движение автомобиля на режимах, при которых динамические процессы выражены слабо или отсутствуют ("круг", "спираль", и т. д.). На втором этапе исследуется поведение автомобиля при таких маневрах, как "рывок руля", "змейка", где динамические процессы играют важную роль.

В данной работе представлены методика и результаты исследовательских испытаний (рис. 1, 2) трехосного полноприводного автомобиля «Гидроход»<sup>3</sup>, оснащенного полноточной гидрообъемной трансмиссией<sup>4</sup>.

Произведена оценка влияния распределения мощности по осям автомобиля на статические и динамические показатели управляемости и устойчивости автомобиля.

#### **Методика испытаний**

Условия проведения испытаний.

*Варианты регулирования гидрообъемной трансмиссии:*

- для разобщенных контуров трансмиссии (имитация блокировки межосевого дифференциала, каждый контур соответствует одной оси) регулировать рабочие объемы гидромашин в каждом контуре таким образом, чтобы при заданном рассогласовании передаточного отношения (возникающего в результате различия рабочих объемов гидромоторов по осям) добиться разницы мощности, передаваемой каждым контуром. При этом изменяются силы тяги, реализуемые колесами каждой из осей.
- при открытых клапанах кольцевания гидрообъемной трансмиссии (имитация полного дифференциального привода) регулировать рабочие объемы гидромоторов каждой оси таким образом, чтобы изменять распределение мощности по осям. При этом также изменяются силы тяги, реализуемые колесами каждой из осей.

В рамках проведенного эксперимента смоделированы режимы движения со следующим распределением тяги между осями автомобиля.

*Варианты распределения тяги между осями:*

- наибольшая тяга реализуется задней осью, с линейным уменьшением в направлении передней оси<sup>5</sup>;
- равномерное распределение тяги между осями – базовый оценочный режим движения;

<sup>3</sup> исследования проведены при поддержке ОАО «Инновационная фирма 'НАМИ-Сервис'» (ген. директор д.т.н., проф. С.Б.Шухман), специалистами которого был разработан и построен ходовой образец экспериментального автомобиля с гидрообъемной трансмиссией «Гидроход».

<sup>4</sup> описание экспериментального автомобиля см. в приложении 1 к статье.

<sup>5</sup> при прямолинейном движении по ровному покрытию

- наибольшая тяга реализуется передней осью, с линейным уменьшением в направлении задней оси (зеркальная установка относительно первого режима).

Передаточные отношения гидравлических контуров на каждом из режимов движения подбирались таким образом, чтобы обеспечить равенство кинематических скоростей (без учета гидравлических и скоростных потерь) на протяжении всего объема эксперимента, для возможности проведения сравнительного анализа результатов.

Помимо базового режима движения с открытыми клапанами кольцевания гидрообъемной трансмиссии (аналогично полному дифференциальному приводу механической трансмиссии), проводилась дублирующая серия заездов с разобщенными гидравлическими контурами привода осей (имитация блокировки межосевого дифференциала). При этом режиме движения величина межосевого рассогласования была уменьшена из-за повышенной нагрузки в узлах трансмиссии вследствие возникающей в ней циркуляции мощности.

Также в рамках данных испытаний был введен дополнительный изменяемый параметр – давление воздуха в шинах. Каждая серия заездов дублировалась при избыточном давлении воздуха в шинах 1,5 и 2,5 атмосферы.

### **Виды испытаний**

Дорожные испытания проводились на режимах движения с плавным («спираль») и ударным («рывок руля») приложением управляющего воздействия. Методы испытаний «рывок руля» и «спираль» являются стандартными и регламентируются отраслевым стандартом ОСТ 37.001.471-88 «Управляемость и устойчивость автотранспортных средств. Методы испытаний». В связи с особенностями исследовательской работы (оценивается влияние параметров трансмиссии на управляемость автомобиля) данные испытания проводятся с поворотом рулевого колеса в одну сторону и с одной скоростью движения (скорость перед началом маневра 30 км/ч установлена в соответствии с конструктивными особенностями испытываемого автомобиля), но с разными предустановками трансмиссии. Величина рассогласования передаточного отношения в приводах передней (задней) оси относительно средней для дифференциального привода составляет 50% (без учета объемных потерь в гидросистеме), для заблокированного привода – 25%.

### **Результаты испытаний**

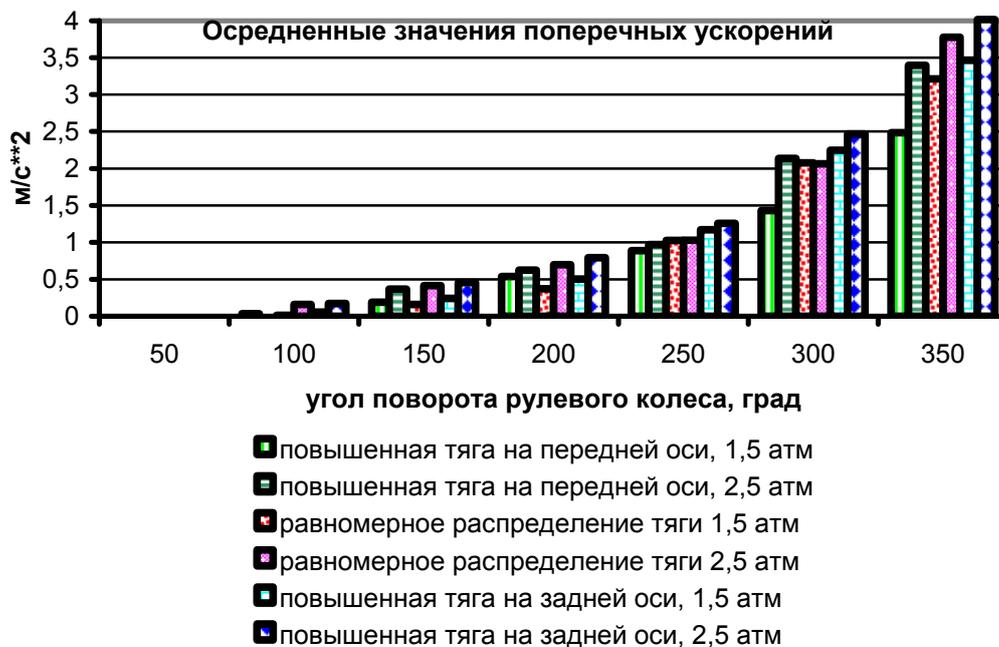
1. В результате проведения серии экспериментальных заездов было подтверждено влияние перераспределения тяги между ведущими осями автомобиля на показатели его управляемости и устойчивости как в случае заблокированного, так и в случае дифференциального привода. Выявленное влияние носит закономерный и повторяющийся характер по итогам всех заездов. При изменении давления воздуха в шинах общий характер зависимости не меняется, а влияние различных параметров суммируется.

На рис. 1 представлена гистограмма, показывающая значения поперечных ускорений центра масс автомобиля при определенных углах поворота рулевого колеса (при плавном характере изменения управляющего воздействия – испытание «спираль»). Данная диаграмма построена по результатам группы заездов испытания «спираль», в которых изменяемыми параметрами являлись рабочие объемы гидромоторов и давление воздуха в шинах. Данные по статистически повторяемым заездам (проводилось по 3 заезда с одинаковыми условиями) осреднены с коррекцией по скорости движения. Из графика видно, что наибольшие поперечные ускорения при равных углах поворота рулевого колеса достигаются при несимметричном приводе с преимуществом тяги на задней оси.

2. Показатели статической поворачиваемости определялись по методике испытаний «спираль». Оценивалось значение поперечных ускорений центра масс (на уровне средней оси автомобиля) при заданных углах поворота руля. При этом наблюдается увеличение поворачиваемости с переходом от смещения тяги в сторону переднего моста к смещению тяги в сторону заднего. В зоне чувствительности к рулевому воздействию разница между этими режимами составляет 0,5-1 м/с<sup>2</sup> или до 35% от максимального значения (см. рис. 1). Характер зависимости одинаков для дифференциального и заблокированного привода, но в заблокированном режиме разница достигает меньших значений (до 0,5 м/с<sup>2</sup> и 25% соответственно). Та-

кое различие может объясняться меньшим рассогласованием трансмиссии, задаваемым в заблокированном режиме. Также оценивалось влияние давления воздуха в шинах. При увеличении давления с 1,5 атм. до 2,5 атм. поперечное ускорение возрастает в среднем на 0,3 – 0,4 м/с<sup>2</sup> (см. рис. 1).

3. Оценка динамических показателей управляемости и устойчивости проводилась по результатам эксперимента «рывок руля». При этом оценивалось время реакции автомобиля (по времени достижения заданного уровня поперечного ускорения от его максимального значения для каждого заезда) и величина заброса поперечного ускорения относительно установившегося значения.



**Рис. 1. Значения поперечных ускорений для заданного угла поворота рулевого колеса при различных режимах работы гидрообъемной трансмиссии и двух значениях давления воздуха в шинах. Вид испытания – «спираль», тип привода – дифференциальный.**



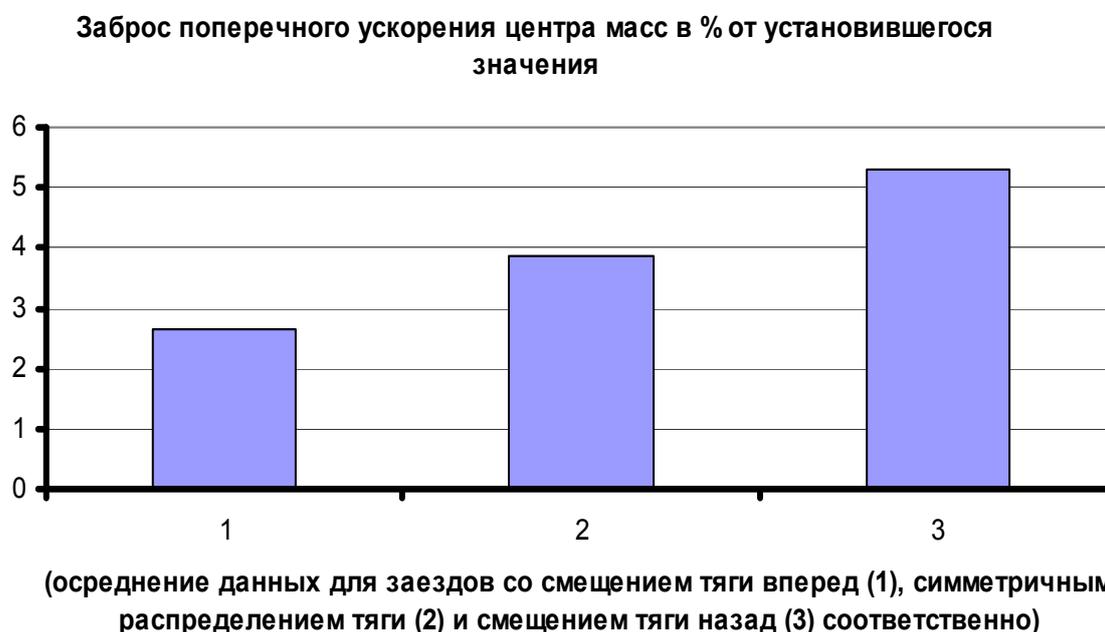
**Рис. 2. Сравнительная характеристика управляемости при испытании «рывок руля», дифференциальном приводе и давлении воздуха в шинах 1,5 атм. Оцениваемый параметр – время достижения заданного значения поперечного ускорения центра масс.**

На рис. 2 представлена гистограмма, отражающая время реакции автомобиля ( $t_{50}$ ,  $t_{60}$ ,  $t_{70}$ ,  $t_{80}$ ,  $t_{90}$ ,  $t_{pic}$ ,  $t_{obr}$  – время обратного заброса) на скачкообразное управляющее воздействие при испытании «рывок руля» при дифференциальном приводе и давлении воздуха в шинах 1,5 атм.

Наименьшее время реакции достигается при режиме работы трансмиссии со смещением тяги в сторону задней оси. Разница между режимами со смещением тяги в сторону передней и задней осей составляет от 5 до 10% (рис. 2).

Время реакции при дифференциальном и заблокированном режимах отличается незначительно. Также при одинаковых настройках трансмиссии и увеличении давления воздуха в шинах время 90% реакции снижается на 10-15%.

Средний уровень заброса поперечного ускорения также увеличивается при увеличении давления воздуха в шинах в 1,5-2 раза. При этом заброс поперечного ускорения для режима работы трансмиссии со смещением тяги в сторону задней оси – наибольший и составляет около 5%, (рис. 3). Средняя величина заброса поперечного ускорения в процентах от установившегося значения составляет 4-8%.



**Рис. 3. Сравнительная характеристика управляемости при испытании «рывок руля», дифференциальном приводе и давлении воздуха в шинах 1,5 атм. Оцениваемый параметр – заброс поперечного ускорения центра масс относительно его установившегося значения в процентном выражении.**

#### Выводы

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования по оценке возможностей изменения показателей управляемости автомобиля за счет перераспределения тяги между ведущими колесами позволили сделать следующие выводы:

1) Сравнение показателей управляемости и устойчивости автомобиля с несимметричным приводом со смещением тяги в сторону передней или задней оси соответствует теоретическому обоснованию различия криволинейного движения передне- и заднеприводных автомобилей соответственно. Эти данные могут быть использованы для оптимизации криволинейного движения многоосных полноприводных автомобилей, имеющих возможность перераспределения тяги между ведущими колесами.

2) По результатам проведенного исследования можно говорить о необходимости внедрения системы автоматического управления трансмиссией с возможностью выбора критериев управления по условиям движения. Анализ полученных зависимостей не выявил однозначного преимущества фиксированного перераспределения тяги на рассмотренных режимах движения.

Дальнейшие теоретические исследования планируется осуществлять на математической модели данного автомобиля с использованием методов многокритериальной оптимизации, что позволит сформулировать законы управления и параметры гидрообъемной трансмиссии для дальнейшего проектирования.

Конечная цель работы – проведение параметрической многокритериальной оптимизации трансмиссии по показателям управляемости и устойчивости, тягово-скоростным и топливно-экономическим характеристикам.

*Приложение 1.*

«Гидроход» (рис. 4) представляет собой полноприводный автомобиль типа бхб с полнопоточной гидрообъемной трансмиссией с электронной системой управления.



**Рис. 4. Экспериментальный автомобиль «Гидроход», испытания на управляемость и устойчивость, Дмитров, 2005.**

Приводной двигатель внутреннего сгорания автомобиля развивает максимальную мощность  $N_e = 187$  кВт (252 л.с.). Гидрообъемная трансмиссия (ГОТ) состоит из 3-х аксиально-плунжерных регулируемых, реверсивных и обратимых насосов и 6-ти аксиально-поршневых регулируемых и обратимых гидромоторов фирмы "Bosch Rexroth" (Германия). Каждый насос связан с 2-мя параллельно включенными гидромоторами, приводящими в движение колеса одной условной оси. ГОТ выполнена по закрытой схеме. Все три насоса имеют общий привод от двигателя через редуктор, образуя насосную станцию.

***Многокритериальная параметрическая оптимизация в задачах совершенствования характеристик управляемости и устойчивости автотранспортных средств***

д.т.н., проф. Бахмутов С.В., к.т.н., доц. Ахмедов А.А.  
МГТУ «МАМИ»

*Представлена математическая модель для выполнения многокритериальной параметрической оптимизации легкового автомобиля по критериям управляемости и устойчивости. Представлена методика постановки и решения задачи многокритери-*