

m.ru/pdf/articles/praktmetrologi.pdf

5. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями – М.: Дрофа, 2006 – 176 с.
6. Статников Р.Б., Матусов И.Б. О недопустимых, допустимых и оптимальных решениях в задачах проектирования. Проблемы машиностроения и надежности машин. 2012. № 4.
7. Транспорт России информационно-статистический бюллетень январь–декабрь 2013 года. Министерство транспорта РФ.  
[http://www.mintrans.ru/upload/iblock/d20/stat\\_sbormik\\_2013.pdf](http://www.mintrans.ru/upload/iblock/d20/stat_sbormik_2013.pdf)
8. Du W. Y., Yelich S.W. Resistive and capacitive based sensing technologies. Sensors & Transducers Journal 90, 100-116. 2008.
9. Greco, Salvatore, Ehr Gott, Matthias, Figueira, José Rui. Trends in Multiple Criteria Decision Analysis. Berlin: Springer. 2010 – 412 с. : ил.
10. National Physical Laboratory (25 Mar 2010) [http://www.npl.co.uk/reference/faqs/how-many-different-types-of-force-transducer-are-there-\(faq-force\)#strainingaugelcs](http://www.npl.co.uk/reference/faqs/how-many-different-types-of-force-transducer-are-there-(faq-force)#strainingaugelcs)
11. Park Y., Kümme R., Roeske D., Kang D. Column-type multi-component force transducers and their evaluation for dynamic measurement. Measurement Science and Technology.
12. Patterson, M. Force, Pressure and Torque (January 2007) <http://academic.udayton.edu/markpatterson/ECT459/Piezoelectric%20and%20PiezoSensors.pdf>
13. The Route to Measurement Transducers. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Germany. 2008 – 88 p.
14. Statnikov R.B., Matusov J., Statnikov A. Multicriteria Engineering Optimization Problems: Statement, Solution and Applications. Journal of Optimization Theory and Applications, 2012; 155(2): 355-375.
15. Statnikov R.B., Statnikov A. The Parameter Space Investigation Method Toolkit. Boston / London, Artech House, 2011. 214 p.
16. Stefanescu D. M. Handbook of force transducers. Principles and components. – Berlin: Springer. 2011 – 612 с. : илл.

### **Анализ результатов математического моделирования криволинейного движения полноприводного трехосного автомобиля с заблокированным межосевым приводом ведущих колес**

к.т.н. проф. Лепешкин А.В., д.т.н. проф. Катанаев Н.Т., Медведев А.С., Симочкин А.В.  
Университет машиностроения  
(495) 223-05-23, доб. 1426, [lep@mami.ru](mailto:lep@mami.ru)

*Аннотация.* В статье проведены результаты математического моделирования криволинейного движения трехосного полноприводного автомобиля «Гидроход-49061» с полнопоточной гидрообъемной трансмиссией (ГОТ) без использования автоматической адаптивной системы управления при заблокированной межосевой связи ведущих колес и симметричном повороте управляемых колес передней и задней осей. При этом анализируется влияние неравномерности распределения веса автомобиля между его осями на параметры, характеризующие работу ведущих колес и гидроприводов, входящих в ГОТ.

*Ключевые слова:* полноприводная многоосная колесная машина, гидрообъемная трансмиссия, математическое моделирование криволинейного движения,

В данной статье анализируется влияние на параметры, характеризующие криволинейное движение многоосного полноприводного автомобиля, неравномерности распределения веса между его осями.

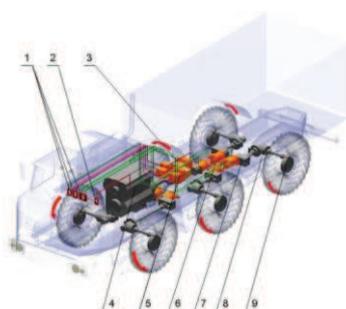
В качестве объекта исследований рассматривается трехосный полноприводный автомобиль «Гидроход-49061» с полнопоточной гидрообъемной трансмиссией (ГОТ) снаряжен-

ной массы 12 тонн с управляемыми колесами передней и задней оси (рисунки 1 и 2) [1].

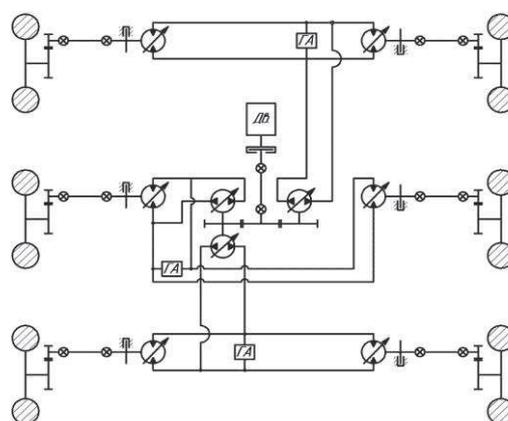


**Рисунок 1. Автомобиль «Гидроход-49061»**

Гидрообъемная трансмиссия автомобиля «Гидроход-49061»



- 1 – микропроцессоры управления насосами и гидромоторами;
- 2 – микропроцессор управления двигателем;
- 3 – редуктор насосной станции;
- 4 – ДВС;
- 5 – насос;
- 6 – гидромотор;
- 7 – редуктор гидромотора;
- 8 – бортовой редуктор;
- 9 – колесный редуктор

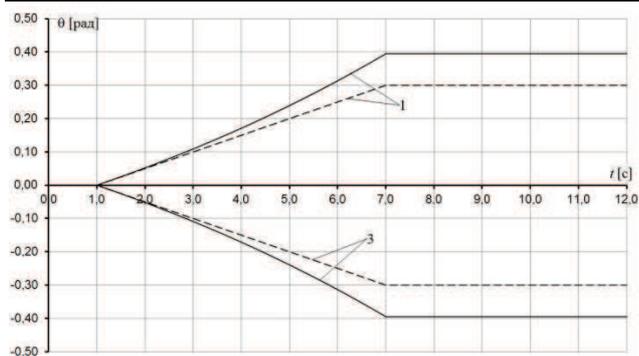


**Рисунок 2. Принципиальная схема ГОТ автомобиля «Гидроход-49061» [1]:**  
*Дв* – двигатель, *ГА* – вспомогательные гидроагрегаты

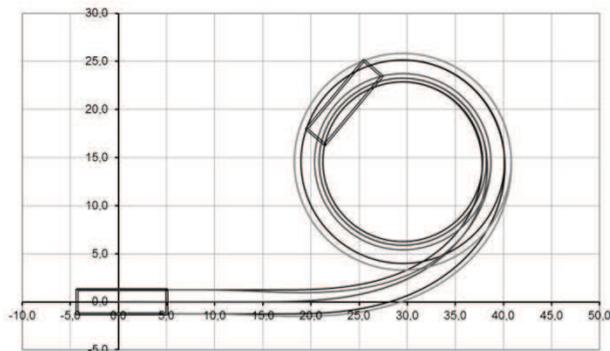
ГОТ этого автомобиля (рисунок 2) включает три одинаковых объемных гидропривода (по одному на каждую ось автомобиля). Каждый из этих гидроприводов содержит один регулируемый насос с приводом от вала двигателя машины и два включенных параллельно регулируемых гидромотора, обеспечивающих индивидуальный привод колес этой оси. Работы по созданию такого автомобиля проводились ОАО «НАМИ-Сервис» совместно с АМО ЗИЛ при участии МГТУ «МАМИ» (ныне Университет машиностроения).

Анализ проводился на разработанной математической модели движения этого автомобиля в условиях недеформируемой опорной поверхности, на которую в виде программного комплекса `Hydrohod_blok_asf.exe` получено Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 16157 от 06.09.2010 г. в Объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование» [2]. Проверка, проведенная как по результатам тестовых расчетов, так и по результатам испытаний [3], показала, что данная математическая модель адекватно отражает процессы, сопровождающие работу моделируемого объекта.

Поставленная цель исследований достигнута в результате моделирования процесса входа в левый поворот рассматриваемого автомобиля и движения его по траектории постоянного радиуса. Для этого использовалось симметричное управление величинами углов поворота управляемых колес передней и задней оси, изменения которых во времени приведены на рисунке 3. Здесь сплошной линией показан характер изменения углов поворота управляемых колес левого борта (внутренних по отношению к центру поворота) и пунктирной линией – изменения углов поворота управляемых колес правого борта (внешних по отношению к центру поворота). При этом положительные значения принимают углы поворота колес передней оси 1 автомобиля, а отрицательные – задней оси 3. Максимальное значение угла поворота условного среднего колеса оси при моделировании достигало  $\sim 20^\circ$  за 6 секунд.



**Рисунок 3. Графики изменения углов поворота управляемых колес автомобиля**



**Рисунок 4. Траектория движения рассматриваемого автомобиля**

На рисунке 4 приведена получившаяся в результате моделирования траектория движения рассматриваемого автомобиля на скорости 6 м/с. График иллюстрирует траектории габаритных точек автомобиля (вершин прямоугольника, условно характеризующего автомобиль) и его центра масс в принятой неподвижной системе координат. По горизонтальной шкале в этой системе откладывалась продольная координата  $X$  этих точек, а по вертикальной – соответствующая ей поперечная координата  $Y$  по отношению к принятому изначально направлению движения автомобиля. Величины перемещений по координатным осям графика определены в метрах.

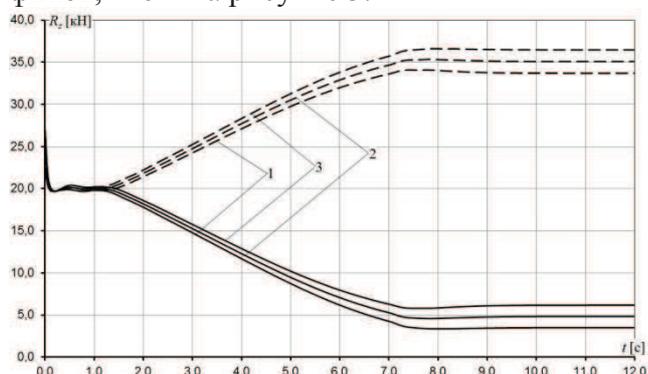
Из графика видно, что автомобиль (показан в начальном положении и в одном из положений во время движения по кругу) за время моделирования успел совершить полный оборот по кругу радиусом  $\sim 10$  метров. На это ему потребовалось около 20 секунд расчетного времени движения.

Такой, практически одинаковый, вид траектории получился при обоих рассмотренных вариантах изначального распределения веса между осями анализируемого автомобиля:

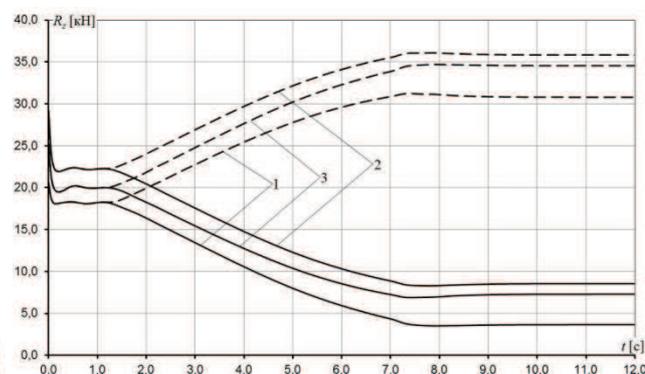
- 1) равномерное – по 20 кН на каждое колесо автомобиля;
- 2) неравномерное – 18 кН на колеса передней оси, 22 кН на колеса средней оси, 20 кН на колеса задней оси.

Заметим, что такое неравномерное распределение веса было зафиксировано у опытного образца рассматриваемого автомобиля «Гидроход-49061» при проведении испытаний на Центральном автомобильном полигоне (НИЦИАМТ ФГУП НАМИ) в г. Дмитрове Московской области. Анализ показал, что это распределение веса может быть получено на данном автомобиле при соответствующей настройке торсионной подвески его колес.

На рисунках 5, 6 и 7 показаны графики изменения усилий, возникающих в пятне контакта колес рассматриваемого автомобиля с опорной поверхностью, при левом повороте в отмеченных вариантах распределения веса. Здесь принят тот же принцип обозначения графиков, что и на рисунке 3.



**а) при равномерном распределении**

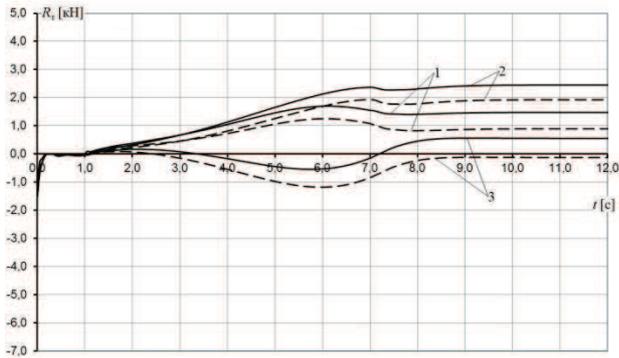


**б) при неравномерном распределении**

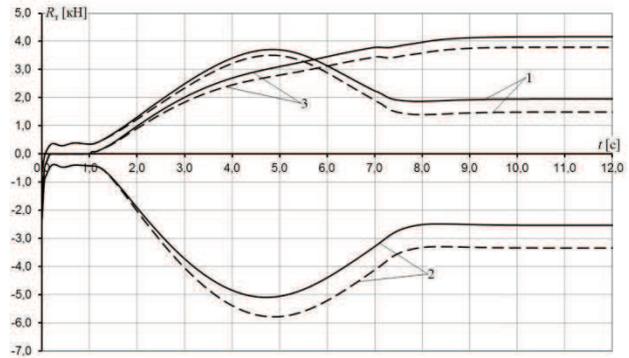
**Рисунок 5. Изменения нормальных к опорной поверхности усилий в пятне контакта**

Анализ графиков показывает, что характер изначального распределения веса между ко-

лесами рассматриваемого автомобиля оказывает существенное влияние на работу этих колес при криволинейном движении.

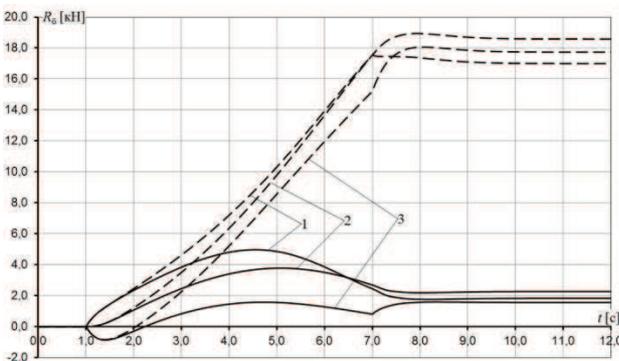


а) при равномерном распределении

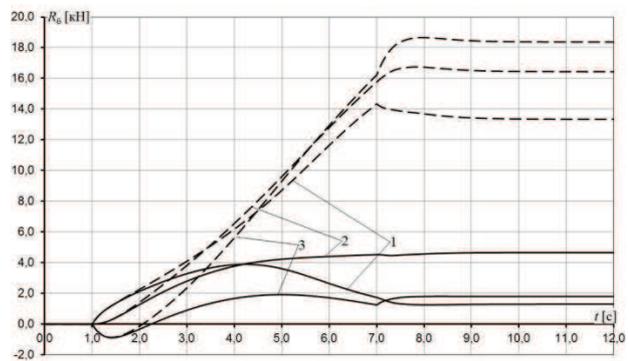


б) при неравномерном распределении

Рисунок 6. Изменения продольных сил тяги, создающихся в пятне контакта



а) при равномерном распределении

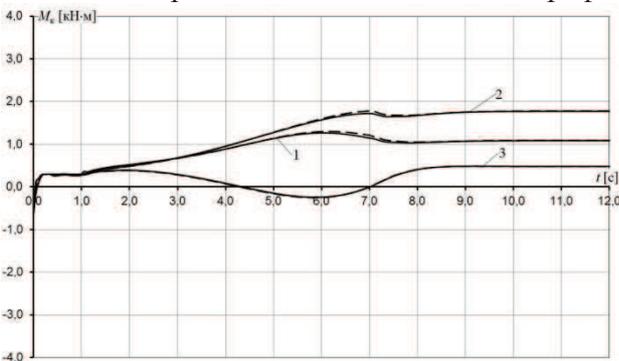


б) при неравномерном распределении

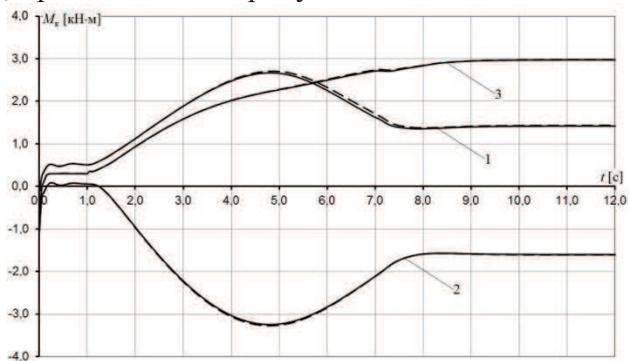
Рисунок 7. Изменения боковых сил, создающихся в пятне контакта

Наиболее существенно это сказалось на величине создающихся в пятне контакта продольных сил тяги. Так, при равномерном распределении веса изменение величин сил тяги колес существенно меньше, чем при неравномерном. При этом при равномерном распределении максимальную силу тяги создают колеса средней оси автомобиля, а при принятом неравномерном распределении они работают в тормозном режиме, что существенно нагружает колеса передней и задней оси (имеет место межосевая циркуляция мощности в трансмиссии).

Подтверждением этого являются графики, приведенные на рисунке 8.



а) при равномерном распределении



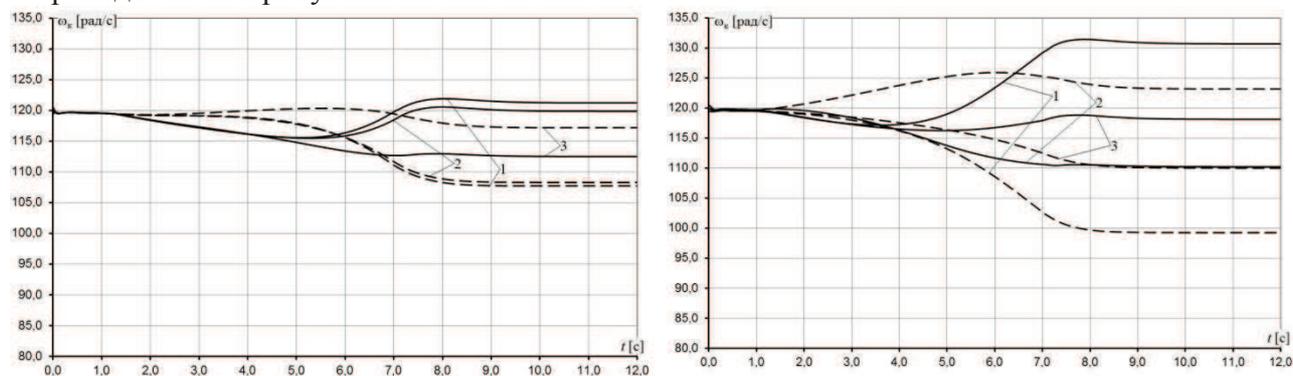
б) при неравномерном распределении

Рисунок 8. Изменения моментов, реализуемых на колесах

Причина этого прежде всего связана с тем, что при одинаковой радиальной жесткости колес большая по величине вертикальная нагрузка уменьшает кинематический радиус качения колес средней оси, что приводит при одинаковой частоте вращения к недостаточной по величине окружной скорости этих колес и к переходу их в тормозной режим качения. Оче-

видно, что для исключения этого система управления гидрообъемной трансмиссии должна соответственно скорректировать передаточное отношение привода колес средней оси автомобиля. В рассмотренном случае этой коррекции не было, и фактически в гидроприводе колес средней оси образовался недостаток рабочей жидкости, поступающей от насоса.

Рассуждая аналогично, можно объяснить графики изменения угловых скоростей вращения валов гидромоторов, обеспечивающих привод колес рассматриваемого полноприводного автомобиля, получившиеся в результате проведенного математического моделирования и приведенные на рисунке 9.



а) при равномерном распределении

б) при неравномерном распределении

**Рисунок 9. Изменения угловых скоростей вращения валов гидромоторов**

Таким образом, проведенный анализ результатов математического моделирования движения трехосного полноприводного автомобиля «Гидроход-49061» с полнопоточной гидрообъемной трансмиссией подтвердил известный вывод [1, 4] о том, что в изменяющихся условиях движения многоприводных колесных машин для улучшения их маневренности и тягово-энергетических показателей необходимо автоматическое адаптивное регулирование приводов их ведущих колес.

В качестве основы для построения таких систем автоматического адаптивного управления гидрообъемными трансмиссиями многоприводных колесных машин можно рассматривать корректирующие алгоритмы, предложенные в работе [5].

Примером реализации такого решения может служить устройство, описание которого приведено в патенте РФ [6].

### Литература

1. Шухман С.Б., Соловьёв В.И., Прочко Е.И. Теория силового привода колёс автомобилей высокой проходимости. Под общ. ред. д.т.н. проф. С.Б. Шухмана. – М., Агробизнесцентр, 2007. – 336 с.
2. Лепешкин А.В. Математическая модель движения автомобиля «Гидроход-49061» с гидрообъемной трансмиссией в условиях недеформируемой опорной поверхности. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФАП № 16157 от 06.09.2010. М., ВНИИЦ, 2010, № 50201001473.
3. Лепешкин А.В., Курмаев Р.Х. Повышение точности математической модели движения колесной машины на основании использования результатов ее испытаний. Известия МГТУ «МАМИ». – М., МГТУ «МАМИ», № 1 (7), 2009, с. 46-56.
4. Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля (прикладные вопросы оптимизации конструкции шасси). – М., Юнити-ДАНА, 2001. – 230 с.
5. Бахмутов С.В., Лепешкин А.В., Шухман С.Б., Курмаев Р.Х. Корректирующие алгоритмы для системы управления гидрообъемной трансмиссией полноприводного АТС при прямолинейном его движении. «Автомобильная промышленность», 2010, № 1, с. 14-18.
6. Бахмутов С.В., Лепешкин А.В., Шухман С.Б., Курмаев Р.Х. Устройство автоматического адаптивного управления бесступенчатой гидрообъемной трансмиссией многоприводного колесного транспортного средства. Патент РФ на изобретение № 2398149 от 27.08.2010.